

**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* 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**

**TUPÃ-SP**

**2019**

**BRUNO CÉSAR GÓES**

**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**

Dissertação 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 Mestre 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

**Coorientador:**

Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes

Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel

**TUPÃ-SP  
2019**

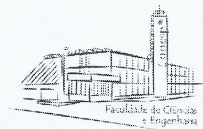
Ficha catalográfica

G553m Góes, Bruno César.  
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 / Bruno César Góes. - Tupã, 2019.  
87 f.

Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2019.

Orientador Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho  
Orientador Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes  
Orientadora Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel

1. Lógica *Fuzzy*. 2. Modelagem matemática. 3. Cultura de cobertura. 4. Sorgo. 5 Milheto. I. Título. II. Autor.



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** MODELAGEM FUZZY DO ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E DAS VARIÁVEIS NUTRICIONAIS DE COBERTURAS VEGETAIS DE PREPARO PARA SISTEMA DE PLANTIO DIRETO EM RESPOSTA À DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO

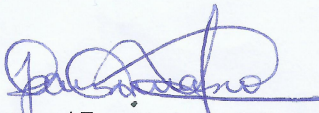
**AUTOR:** BRUNO CÉSAR GÓES

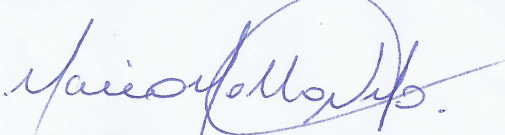
**ORIENTADOR:** LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

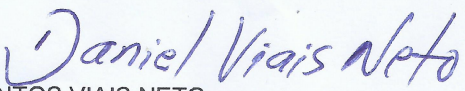
**COORIENTADORA:** CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

**COORIENTADOR:** RENATO JAQUETO GOES

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

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL   
Coordenadoria do Curso de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP  
- Tupã/SP

Prof. Dr. MARIO MOLLO NETO   
Coordenadoria do Curso de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP  
- Tupã/SP

Prof. Dr. DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO   
Coordenadoria do Curso de Tecnologia em Agronegócio / Faculdade de Tecnologia - FATEC - Presidente Prudente/SP

Tupã, 14 de janeiro de 2019

***Dedico,***

*Aos meus pais, Antônio e Roseli, aos meus irmãos Juninho e Caio, à minha esposa Élide e ao meu filho Bruninho por todo apoio, incentivo e paciência para realização dessa etapa da minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço à DEUS por me permitir à conclusão de uma etapa tão grandiosa e desejada em minha vida, nunca me deixando desanimar frente aos obstáculos encontrados ao longo desse caminho.

Aos meus pais, Antônio e Roseli, por todo incentivo e carinho por eles demonstrados ao longo da vida, sempre acreditando em minha capacidade. Por toda educação familiar e escolar que me foram concedidas, permitindo-me estudar em uma das melhores universidades, e hoje realizando esta conquista desse tão sonhado título acadêmico. A eles, minha eterna gratidão.

Aos meus irmãos, Juninho e Caio por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e aconselhando-me em minhas decisões, além de sempre acreditarem no meu potencial.

A minha esposa, Élide, por sua tamanha importância em minha vida. Sempre perseverando ao meu lado nessa difícil caminhada em busca da realização dos meus sonhos. Por todo carinho, amor e compreensão demonstrados ao longo dessa jornada, sendo fundamentais para a realização dessa conquista.

Ao meu filho, Bruninho, no qual eu tenho como a fonte de maior amor e inspiração, para batalhar em busca dos sonhos, superando e vencendo os mais diversos desafios.

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.

A Profa. Dra. Camila Pires Cremasco, por todo apoio e orientação, sempre acreditando em minha capacidade, incentivando a trilhar no caminho do meio acadêmico.

Ao meu amigo Jhonatan Piazzetin, pela amizade, companheirismo e incentivo durante o desenvolvimento de pesquisa do Mestrado, além do convívio proporcionado ao longo do ano de 2018 pelas disciplinas em comum cursadas na FCA em Botucatu.

E ao meu Coorientador Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes, pelas inúmeras vezes nas quais foram sanadas minhas dúvidas para que pudesse escrever a dissertação.

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.

GÓES, Bruno César. **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 em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Tupã, 2019.

## RESUMO

O Sistema Plantio Direto (SPD) tem como característica a ocupação permanente do terreno agrícola com culturas vegetais além da manutenção da palhada sob a superfície do solo. Entretanto, para eficácia do SPD, é necessário adotar culturas de coberturas adequadas com a região a ser implementado, levando-se em consideração fatores edafoclimáticos e tipos de solo, para que dessa forma, haja a formação e manutenção da palhada sobre a superfície do solo. O sorgo possui como principais características, à tolerância de período de seca, e alto volume de produção de matéria seca, importantes para adoção dos sistemas de sucessão de culturas. O milho, além da alta resistência à períodos de estresse hídrico, possui alta concentração de produção de biomassa. A taxa de decomposição da cobertura vegetal é regulada pela relação Carbono e Nitrogênio ( $C/N$ ) específico de cada cultura. Nesse contexto, o presente trabalho visou analisar com modelos matemáticos os efeitos do nitrogênio sobre as culturas, sorgo e milho, com finalidade de posterior uso como coberturas vegetais, sob níveis diferentes de nitrogênio em relação às variáveis de produtividade de matéria seca, teor de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S) e Molibdênio (Mo) e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S e Mo com elaboração do modelo *fuzzy*. Foi realizada a comparação entre os modelos *fuzzy* (gaussiano e triangular) e de regressão polinomial por meio de testes estatísticos de ajustes de modelos e determinação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Dessa forma, concluiu-se que o melhor rendimento para os teores dos nutrientes analisados fora apresentado pela cobertura vegetal de milho, já por sua vez, a cobertura vegetal de sorgo, apresentou os melhores rendimentos sobre os acúmulos dos nutrientes, pois obteve a maior produtividade de matéria seca em relação ao milho. Analiticamente, verificou-se os melhores parâmetros estatísticos para a modelagem *fuzzy* triangular em comparação ao modelo *fuzzy* gaussiano e regressão polinomial de grau dois. No entanto, em relação ao comportamento da curva das modelagens matemáticas, o modelo gaussiano mostrou-se mais condizente com a realidade dos fenômenos agrônômicos, em grande parte devida a suavização da curva sobre o conjunto dos dados.

**Palavras-chave:** lógica *fuzzy*, modelagem matemática, cultura de cobertura, sorgo, milho.

GÓES, Bruno César. **Fuzzy modeling of dry matter accumulation and nutritional variables of crop cover crops for no - tillage system in response to different nitrogen rates.** 2019. 87 f. Dissertation (Master in Agribusiness and Development) – School of Sciences and Engineering, São Paulo State University (UNESP), Tupã, 2019.

### ABSTRACT

The Direct Planting System (DPS) has as a characteristic the permanent occupation of the agricultural land with plant crops besides the maintenance of the straw under the soil surface. However, for DPS efficacy, it is necessary to adopt adequate cover crops with the region to be implemented, taking into account edaphoclimatic factors and soil types, so that the formation and maintenance of the straw on the soil surface. Sorghum has as main characteristics, to the tolerance of drought period, and high volume of dry matter production, important for the adoption of crop succession systems. Millet, besides the high resistance to periods of water stress, has high concentration of biomass production. The rate of decomposition of the vegetal cover is regulated by the relation Carbon and Nitrogen ( $C/N$ ) specific of each culture. In this context, the present work aimed to analyze with mathematical models the effects of nitrogen on crops, sorghum and millet, with the purpose of later use as plant cover, under different levels of nitrogen in relation to the variables of dry matter yield content, Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Sulfur (S) and Molybdenum (Mo) and accumulation of N, P, K, Ca, Mg, S and Mo with elaboration of the *fuzzy* model. The comparison between the *fuzzy* (gaussian and triangular) and polynomial regression models was carried out by means of statistical tests of model adjustments and determination of the coefficient of determination ( $R^2$ ). Thus, it was concluded that the best yield for the nutrient contents analyzed was presented by the plant cover of millet, and in turn, the vegetative cover of sorghum, presented the best yields on the accumulation of nutrients, as it obtained the highest productivity of dry matter in relation to millet. Analytically, the best statistical parameters for triangular *fuzzy* modeling were verified in comparison to the gaussian *fuzzy* model and degree two polynomial regression. However, in relation to the behavior of the mathematical modeling curve, the Gaussian model proved to be more in keeping with the reality of agronomic phenomena, due in large part to the smoothing of the curve over the data set.

**Keywords:** *fuzzy* logic, mathematical modeling, cover crop, sorghum, millet.



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Definição das funções de pertinência triangulares da variável de entrada. ....	23
<b>Tabela 2</b> - Delimitadores da função de pertinência triangular da variável de entrada. ....	25
<b>Tabela 3</b> - Delimitadores da função de pertinência gaussiana da variável de entrada. ....	25
<b>Tabela 4</b> - Características dos delimitadores para a variável de saída do sistema baseado em regras <i>fuzzy</i> , com funções de pertinência triangular. ....	26
<b>Tabela 5</b> - Associação do conjunto <i>fuzzy</i> de entrada com o conjunto <i>fuzzy</i> de saída. ....	27
<b>Tabela 6</b> - Passos de amalgamação do milho. ....	39
<b>Tabela 7</b> - Correlação de Pearson entre as variáveis para a cobertura vegetal milho com nível de significância de 5%. ....	40
<b>Tabela 8</b> . Passos de amalgamação do sorgo. ....	41
<b>Tabela 9</b> - Correlação de Pearson entre as variáveis para a cobertura vegetal sorgo com nível de significância de 5%. ....	42
<b>Tabela 10</b> - Delimitadores das funções de pertinência da variável de saída produtividade de matéria seca para a cobertura vegetal de milho. ....	44
<b>Tabela 11</b> - Delimitadores das funções de pertinência da variável de saída produtividade de matéria seca para a cobertura vegetal de sorgo. ....	44
<b>Tabela 12</b> - Base de regras do sistema <i>fuzzy</i> para a variável produtividade de matéria seca. .	44
<b>Tabela 13</b> - Validação do modelo <i>fuzzy</i> nas funções triangulares e gaussianas das coberturas vegetais de milho e sorgo. ....	45
<b>Tabela 14</b> - Análise de variância e teste Tukey das coberturas vegetais para a produtividade de matéria seca em relação a doses de nitrogênio. ....	47
<b>Tabela 15</b> - Interação entre coberturas vegetais e doses de nitrogênio referente ao acúmulo de matéria seca. ....	47
<b>Tabela 16</b> - Delimitadores das funções de pertinência de saída de tipo triangular para as variáveis de saída da cultura de cobertura de milho. ....	53
<b>Tabela 17</b> - Base de regras do SBRF para a cobertura vegetal de milho. ....	54
<b>Tabela 18</b> - Validação dos modelos <i>fuzzy</i> para as variáveis de saída dos teores de nutrientes da cultura de milho. ....	55
<b>Tabela 19</b> - Validação dos modelos <i>fuzzy</i> para as variáveis de saída dos acúmulos de nutrientes da cultura de milho. ....	56
<b>Tabela 20</b> - Análise de variância e teste de Tukey das coberturas vegetais sob efeito de doses de nitrogênio para os teores de nutrientes. ....	59

<b>Tabela 21</b> - Análise de variância e teste de Tukey das coberturas vegetais sob efeito de doses de nitrogênio para os acúmulos de nutrientes.....	62
<b>Tabela 22</b> - Interação entre coberturas vegetais e doses de nitrogênio referente ao acúmulo de nitrogênio.....	62
<b>Tabela 23</b> - Interação entre coberturas vegetais e doses de nitrogênio referente ao acúmulo de fósforo. ....	63
<b>Tabela 24</b> - Interação entre coberturas vegetais e doses de nitrogênio referente ao acúmulo de potássio.....	63
<b>Tabela 25</b> - Interação entre coberturas vegetais e doses de nitrogênio referente ao acúmulo de cálcio. ....	64
<b>Tabela 26</b> - Interação entre coberturas vegetais e doses de nitrogênio referente ao acúmulo de magnésio.....	64
<b>Tabela 27</b> - Interação entre coberturas vegetais e doses de nitrogênio referente ao acúmulo de enxofre.....	64
<b>Tabela 28</b> - Interação entre coberturas vegetais e doses de nitrogênio referente ao acúmulo de molibdênio.....	65
<b>Tabela 29</b> - Delimitadores das funções de pertinência de saída de tipo triangular para as variáveis de saída da cultura de cobertura de sorgo.....	70
<b>Tabela 30</b> - Base de regras do SBRF para a cobertura vegetal de sorgo.....	71
<b>Tabela 31</b> - Validação dos modelos <i>fuzzy</i> para as variáveis de saída dos teores de nutrientes da cultura de sorgo.....	72
<b>Tabela 32</b> - Validação dos modelos <i>fuzzy</i> para as variáveis de saída dos acúmulos de nutrientes da cultura de sorgo.....	73

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Valores de precipitação e temperatura em Selvíria-MS. ....	17
<b>Figura 2</b> - Características da função de pertinência Gaussiana. ....	20
<b>Figura 3</b> - Exemplo de função de pertinência do tipo triangular. ....	21
<b>Figura 4</b> - Sistema <i>fuzzy</i> para avaliação das variáveis nutricionais da cobertura vegetal com funções de pertinência gaussianas de entrada. ....	22
<b>Figura 5</b> - Sistema <i>fuzzy</i> para avaliação das variáveis nutricionais da cobertura vegetal com funções de pertinência triangulares de entrada. ....	22
<b>Figura 6</b> - Funções de pertinência triangulares da variável de entrada doses de nitrogênio. ....	24
<b>Figura 7</b> - Funções de pertinência gaussianas da variável de entrada doses de nitrogênio. ....	24
<b>Figura 8</b> - Exemplo da análise de dendrograma. ....	31
<b>Figura 9</b> - Produtividade da matéria seca (MS) das coberturas vegetais, milho e sorgo, sob diferentes doses de nitrogênio ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). ....	32
<b>Figura 10</b> - Teor de N, P e K das coberturas vegetais, milho e sorgo, sob diferentes doses de nitrogênio ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). ....	33
<b>Figura 11</b> - Teor de cálcio das coberturas vegetais, milho e sorgo, sob diferentes doses de nitrogênio ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). ....	34
<b>Figura 12</b> - TMg das coberturas vegetais, milho e sorgo, sob diferentes doses de nitrogênio ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). ....	34
<b>Figura 13</b> - TS e TMo das coberturas vegetais, milho e sorgo, sob diferentes doses de nitrogênio ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). ....	35
<b>Figura 14</b> - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) das coberturas vegetais, milho e sorgo, sob diferentes doses de nitrogênio ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). ....	36
<b>Figura 15</b> - ACa e AMg das coberturas vegetais de milho e sorgo, sob diferentes doses de nitrogênio ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). ....	37
<b>Figura 16</b> - AS e AMo das coberturas vegetais, milho e sorgo, sob diferentes doses de nitrogênio ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). ....	37
<b>Figura 17</b> - Dendrograma das variáveis da cobertura vegetal de milho. ....	38
<b>Figura 18</b> - Dendrograma das variáveis da cobertura vegetal de sorgo. ....	41
<b>Figura 19</b> - Função de pertinência da produtividade de matéria seca do milho. ....	43
<b>Figura 20</b> - Função de pertinência da produtividade de matéria seca do sorgo. ....	43

<b>Figura 21</b> - Comparação entre as funções ( <i>fuzzy</i> triangular, <i>fuzzy</i> gaussiana, polinomial) para a variável de saída produtividade de matéria seca.....	46
<b>Figura 22</b> - Funções de pertinência de saída dos teores de nutrientes para a cultura de cobertura vegetal do milho.....	48
<b>Figura 23</b> - Funções de pertinência de saída dos acúmulos de nutrientes para a cultura de cobertura vegetal do milho. ....	50
<b>Figura 24</b> - Comparação das curvas dos modelos desenvolvidos das variáveis de saída, TN, TP, TK, TCa, TMg, TS e TMo, para a cultura de cobertura vegetal do milho. ....	57
<b>Figura 25</b> - Comparação das curvas dos modelos desenvolvidos das variáveis de saída, AN, AP, AK, ACa, AMg, AS e AMo, para a cultura de cobertura vegetal do milho.....	60
<b>Figura 26</b> - Funções de pertinência de saída dos teores de nutrientes para a cultura de cobertura vegetal do sorgo.....	65
<b>Figura 27</b> - Funções de pertinência de saída dos acúmulos de nutrientes para a cultura de cobertura vegetal do sorgo. ....	67
<b>Figura 28</b> - Comparação das curvas dos modelos desenvolvidos das variáveis de saída, TN, TP, TK, TCa, TMg, TS e TMo, para a cultura de cobertura vegetal do sorgo.....	74
<b>Figura 29</b> - Comparação das curvas dos modelos desenvolvidos das variáveis de saída, AN, AP, AK, ACa, AMg, AS e AMo, para a cultura de cobertura vegetal do sorgo. ....	77

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	16
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
3.1 Descrição do experimento.....	17
3.1.1 Variáveis analisadas .....	18
3.2 Método de modelagem <i>fuzzy</i> .....	19
3.2.1 Conjuntos <i>fuzzy</i> da variável de entrada .....	23
3.2.2 Método de construção dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saída .....	25
3.2.3 Método de elaboração da base de regras .....	26
3.2.4 Método de inferência e <i>defuzzyficação</i> .....	27
3.3 Análise de regressão .....	27
3.4 Métodos de análise do grau de ajuste do modelo .....	28
3.4.1 Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) .....	28
3.4.2 Raiz do erro quadrático médio ( <i>RMSE</i> ) .....	29
3.4.3 Erro absoluto médio ( <i>MAE</i> ).....	29
3.5 Intervalo de confiança.....	29
3.6 Análise multivariada.....	30
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
4.1 Intervalo de confiança das variáveis das coberturas vegetais .....	32
4.1.1 Produtividade de matéria seca e teor de nutrientes .....	32
4.1.2 Acúmulo de nutrientes.....	35
4.2 Análise multivariada.....	38
4.3 Modelagem <i>fuzzy</i> das coberturas vegetais .....	42
4.3.1 Modelagem <i>fuzzy</i> da produtividade de matéria seca do milho e sorgo .....	43
4.3.2 Modelagem das variáveis da cobertura vegetal do milho.....	48
4.3.3 Modelagem das variáveis da cobertura vegetal do sorgo.....	65
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	79
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	80

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de preparo convencional do solo tem como objetivo aumentar a produtividade da cultura com o uso de técnicas de aração e gradagens revolvendo camadas do solo reduzindo a compactação, além da utilização de corretivos e fertilizantes para preservar suas características físicas e químicas (SILVA et al., 2011; PÖHLITZ et al., 2018).

Em virtude do movimento da agricultura sustentável, iniciado em meados da década de 1970, que consiste na conservação do solo e dos recursos naturais promovendo o aumento de produtividade das culturas agrícolas (LANDRES, 2005; SIQUEIRA NETO et al., 2010), grandes números de agricultores estão substituindo o sistema de preparo convencional do solo pela Agricultura de Conservação (AC), constituída dos princípios de: (1) minimização de perturbação do solo, (2) maximização da superfície vegetal do solo e (3) e a manutenção da atividade biológica, seja por meio da rotação de culturas ou por culturas de cobertura (DERPSCH et al., 2014).

Nesse contexto, aplica-se o Sistema Plantio Direto (SPD), o qual tem por característica a ocupação permanente do terreno agrícola com culturas vegetais além da manutenção da palhada sob a superfície do solo (COELHO et al., 2013; GOLABI; EL-SWAIFY; IYEKAR, 2014; BRANCO et al., 2017). Tais aplicações atenuam o processo de erosão do solo, aumentam a atividade microbiana promovida pela reciclagem dos nutrientes oriundos da decomposição da matéria orgânica que é gerada pela palhada e aumenta a capacidade de armazenamento de água no solo evitando perdas pelo processo de evaporação (DONK et al., 2010; RIBAS et al., 2015). Contudo, o reflexo no aumento de produção aferida em lucros pelo SPD, é influenciado diretamente pela gestão anterior do solo, na qual proporcionará ao produtor o gerenciamento de uma maior área de cultivo além da redução de custos com insumos e maquinários agrícolas, resultando no aumento de produtividade da cultura (DELAUNE; SIJ, 2012; RUSU, 2014).

Dessa forma, observou-se um aumento expressivo da área de cultivo sob SPD no mundo passando de 45 milhões de hectares em 1999 para quase 156 milhões de hectares no ano de 2015 (DERPSCH et al., 2010; FAO, 2017; PÖHLITZ et al., 2018), liderado pelos Estados Unidos com uma área equivalente a 35,6 milhões de hectares de SPD representando 22,8% da área mundial cultivada, seguido pelo Brasil e Argentina, com áreas de 31,8 milhões de hectares e 29,1 milhões de hectares respectivamente, contabilizando mais de 62% da área cultivada no mundo sob SPD, pelos três países (FAO, 2016).

No Brasil, a tecnologia agrícola do SPD começou a ser adotada no início dos anos de 1970, porém ganhou expressividade a partir da década de 1990, aumentando a área cultivada de 1 milhão de hectares para quase 31,8 milhões de hectares em 2015, o que representa aproximadamente 45% do terreno agrícola do país (FEBRAPDP, 2012; GIAROLA et al., 2013; FAO, 2016), além de tornar-se uma referência mundial no uso da tecnologia do Sistema de Plantio Direto (MOTTER; ALMEIDA, 2015).

Em consonância, verifica-se o grande número de trabalhos correlatos sobre SPD nos últimos anos, a exemplo de Mitchell et al. (2017), no qual verificaram-se a melhora dos aspectos químicos, físicos e biológicos do solo, utilizando culturas de coberturas sob SPD; Rusu (2014) avaliou a eficiência energética da produção sob SPD, resultando no aumento de produtividade comparado ao sistema convencional de cultivo e Damian et al. (2017) analisaram a variabilidade de culturas de coberturas sobre SPD no rendimento da cultura sucessora, para o caso, a influência na produtividade da soja.

Entretanto, para eficácia do SPD, é necessário adotar culturas de coberturas adequadas com a região a ser implementado o Sistema Plantio Direto, levando-se em consideração fatores edafoclimáticos e tipos de solo, para que dessa forma, haja a formação e manutenção da palhada sobre a superfície do solo (KLIEMANN; BRAGA; MARQUES, 2006; GOES, 2016).

O sorgo é uma planta pertencente à família das gramíneas, distribuindo-se em regiões tropicais áridas e semiáridas dos continentes africano, asiático e americano, adaptadas para regiões quentes e secas (QI et al., 2018). É ampla a variedade de utilização da cultura do sorgo, como exemplos na produção de ração para animais (INÁCIO et al., 2017; SELLE et al., 2018), produção de biocombustíveis (CASTRO et al., 2017; APPIAH-NKANSAH et al., 2018) além da sua utilização para consumo humano (LOPES et al., 2018).

Suas principais características estão associadas à tolerância de período de seca, além do alto volume de produção de matéria seca, sendo esses, fatores determinantes para sua utilização como cultura de cultivo em sistemas de sucessão de culturas (PEDREIRA et al., 2003; ARAYA et al., 2018), conforme observado nos trabalhos de Correia e Durigan (2008), no qual avaliaram a fertilidade do solo sob influência de coberturas vegetais (sorgo) e Sales et al. (2016) na avaliação da qualidade física do solo sob sistema de plantio direto e convencional, utilizando o sorgo como cultura de cobertura.

O milheto, assim como o sorgo, é uma planta pertencente à família das gramíneas, cujas características são típicas de regiões quentes e secas (NIELSEN; VIGIL, 2017), com características de alta resistência à períodos estresse hídrico além de possuir o sistema radicular

profundo, que o torna como boa opção para uso como cultura de cobertura, acrescentada à sua alta produção de biomassa (TRINDADE et al., 2017). Seu uso como cultura de cobertura foi avaliado nos trabalhos de Tribouillois, Constantin e Justes (2018) sobre modelagem da emergência das coberturas vegetais e Calonego et al. (2017), que verificaram a produtividade da soja em função da compactação do solo utilizando coberturas vegetais sob SPD.

Assim, as coberturas vegetais tem por finalidade elevar a capacidade de absorção e acúmulo de nutrientes e o aumentar o potencial de produção de fitomassa, melhorando a interação solo-planta quanto à ciclagem e disponibilidade dos nutrientes do solo (ALBUQUERQUE et al., 2013), podendo também ser utilizada para controle de plantas daninhas em culturas (ALVAREZ; STEINBACH; DE PAEPE, 2017), conforme aferidos por García-González et al. (2018), no qual proporcionou melhorias na qualidade do solo com uso de coberturas vegetais em solos degradados. As culturas de coberturas possibilitam também ao produtor a redução de custos com fertilizantes nitrogenados, resultando em ganhos econômicos (PRECHSL et al., 2017), conforme observado no trabalho de Jahanzad et al. (2017), apresentando uma melhora no rendimento de tubérculos de batata e concentração dos nutrientes minerais por meio das culturas de cobertura.

A disponibilidade de nutrientes é fundamental durante o processo de formação, maturação e desenvolvimento das sementes, uma vez que as mesmas, utilizam deles como reserva de fonte energética para constituição das membranas (TEIXEIRA et al., 2005). A sua deficiência pode acarretar em problemas estruturais das membranas, comprometendo a atividade metabólica e enzimática das sementes (MORTVEDT; RÖMHELD; MARSCHNER, 1991).

No entanto, para a formação de matéria seca da cultura de cobertura, a velocidade de decomposição da matéria orgânica depende de características específicas e do volume aplicado da cultura adotada, além da disponibilidade de fauna já existente no solo e das condições edafoclimáticas de cada região, principalmente as taxas de temperatura do ar e precipitação pluvial (BRESSAN et al., 2013; SOUZA et al., 2014). Contudo, a taxa de decomposição da cobertura vegetal é regulada pela relação Carbono e Nitrogênio (C/N) específico de cada cultura, sendo fator determinante para a eficiência de conservação do solo (SOUZA et al., 2014; GOES, 2016).

Nesse contexto, as culturas de coberturas potencializam a liberação de Nitrogênio (N) mineral por meio da mineralização de seus resíduos, influenciando diretamente na relação C/N da cobertura vegetal, a qual controla a taxa de liberação de N incorporados ao solo tornando-se disponíveis para a cultura sucessora (TRIBOUILLOIS et al., 2015). Por sua vez, a



relação C/N é responsável pela taxa de decomposição da matéria orgânica, de maneira que quanto menor esta relação C/N, ou seja, maior concentração de N, maior será a velocidade do processo de decomposição, por outro lado, quando for baixa a concentração do N, e conseqüentemente, alta a relação C/N, o processo de decomposição ocorrerá lentamente, permanecendo por maior tempo a palhada sobre a superfície do solo (CALVO; FOLONI; BRANCALIÃO, 2010).

Dessa maneira, o presente estudo teve como objetivo analisar com modelos matemáticos os efeitos do nitrogênio sobre as culturas do sorgo e do milho, com finalidade para uso como coberturas vegetais, sob níveis diferentes de nitrogênio em relação às variáveis de produtividade de matéria seca (MS), teor e acúmulo de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S) e Molibdênio (Mo).

É de grande abordagem a aplicação de modelos matemáticos na área das ciências agrárias, uma vez que se trata de uma área de cunho experimental, datada de riqueza de dados e experimentação, como consta em Guo, Westra e Maier (2016), no qual utilizaram modelos matemáticos para determinação da evapotranspiração, em Mahn (2017), que modelou matematicamente o efeito da fertilização com selênio na cultura de brócolis.

No entanto, nas modelagens matemáticas, é comum a ocorrência de erros nos modelos de regressão, seja devido à mudanças abruptas no relacionamento entre as variáveis, dependente e independente (LU; CHANG, 2018) ou por erros de medição durante a observação dos experimentos (BOUKEZZOULA; GALICHET; COQUIN, 2018), no qual, muitas vezes ocorridos por informações imprecisas (LI et al., 2016). Nesse contexto, foi introduzida por Zadeh (1965) a modelagem matemática *fuzzy*, cujo intuito, é prever áreas na qual as informações são imprecisas, aproximando-se com a realidade, a ocorrência dos experimentos (LI et al., 2016; GARG; AGGARWAL; SOKHAL, 2017).

Em virtude da aplicabilidade dos modelos matemáticos nas ciências agrárias, é de maneira condizente suas aplicações por meio de modelagem *fuzzy*, a exemplos de Kisi (2013) para determinação da evapotranspiração de referência utilizando a modelagem *fuzzy*, Gabriel Filho et al. (2016) aplicando os modelos *fuzzy* para avaliação da massa corporal de bovinos e Putti et al. (2017a) para determinação da produtividade do trigo com diferentes doses de efluentes.

# RESSALVA

Atendendo  
solicitação do(a)  
autor(a), o texto  
completo desta  
dissertação será  
disponibilizado  
somente a partir de  
14/01/2021.

## 5 CONCLUSÕES

De modo geral, as coberturas vegetais responderam de maneira satisfatórias às diferentes dosagens de nitrogênio, apresentando-se como potenciais coberturas vegetais em posterior uso para plantio direto. A cultura do milho apresentou os maiores rendimentos para os teores dos nutrientes, porém menor produtividade de matéria seca, já o sorgo por sua vez, em decorrência do maior rendimento de matéria seca, este apresentou valores superiores dos acúmulos dos nutrientes em relação ao milho para variações das diferentes doses de nitrogênio.

Assim, verificou-se em relação a produtividade de matéria seca, o maior rendimento para cultura do milho, quando adubada ao nível de  $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de nitrogênio, conforme as curvas das modelagens *fuzzy* para funções de tipo gaussiana e triangular, valor superior ao encontrado por Goes (2016), que de acordo com o modelo de regressão polinomial de 2º grau, foi constatado o valor de  $65,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Muito embora, para algumas variáveis a modelagem *fuzzy* gaussiana não tenha se destacado em relação aos parâmetros de testes de ajustes sobre os modelos de regressão polinomial; por outro lado, o comportamento da curva ao longo do aumento do nível de nitrogênio, em decorrência da suavização da mesma, representou-se de maneira mais condizente com a realidade dos fenômenos agrônômicos.

Nesse ponto, a modelagem *fuzzy* representa com maior veracidade a ocorrência dos fenômenos agrônômicos, no qual a modelagem *fuzzy* gaussiana mostrou-se melhor ajustada ao comportamento da curva condizente com a realidade, tendo como base a função *fuzzy* triangular para fins de parâmetros de validação dos modelos geados.

As modelagens *fuzzy* apresentaram de maneira geral, os melhores resultados comprado aos modelo de regressão polinomial de 2º grau, para os testes de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), ao teste da raiz do erro quadrático médio (*RMSE*) e ao erro absoluto médio (*MAE*).

Torna-se de grande utilidade ao produtor rural, a observação em relação ao comportamento das curvas de modelagens *fuzzy*, com a finalidade de obter o conhecimento a respeito do maior rendimento em relação ao nutriente desejado em função dos níveis diferentes de nitrogênio utilizado para adubação, agregando-se ao fato de proporcionar uma economia em relação aos gastos com fertilizantes, que por sua vez, resultando em uma maior produtividade da cultura.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W. 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.
- ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S.; DE PAEPE, J. L. Cover Crop Effects on Soils and Subsequent Crops in the Pampas: A Meta-Analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 170, p. 53–65, 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, 2018.
- ARAYA, A. et al. Grain Sorghum Production Functions under Different Irrigation Capacities. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 261–271, 2018.
- BARNSTON, A. G. Correspondence among the correlation, RMSE, and Heidke forecast verification measures; refinement of the Heidke score. **Notes and Correspondence**, v. 7, p. 699–709, 1992.
- 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.
- BENINI, L. C.; MENEGUETTE JUNIOR, M. Uma Abordagem para modelagem de dados com o uso de Sistemas Neuro-Fuzzy: Aplicações Geoespaciais. **Notas em Matemática Aplicada**, v. 43, p. 88, 2009.
- 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.
- BOUKEZZOULA, R.; GALICHET, S.; COQUIN, D. From Fuzzy Regression to Gradual Regression: Interval-Based Analysis and Extensions. **Information Sciences**, v. 441, p. 18–40, 2018.
- BRANCO, R. B. F. et al. Nitrogen Fertilization of Vegetables Cultivated under No-Tillage after Cover Crops. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 103–110, 2017.
- BRAUN, M. R.; ALTAN, H.; BECK, S. B. M. Using Regression Analysis to Predict the Future Energy Consumption of a Supermarket in the UK. **Applied Energy**, v. 130, p. 305–313, 2014.
- BRESSAN, S. B. et al. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 371–378, 2013.
- CALONEGO, J. C. et al. Soil Compaction Management and Soybean Yields with Cover Crops under No-till and Occasional Chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, p. 31–37, 2017.

- CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIAÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 77–86, 2010.
- 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.
- CASELA, C. R. et al. Cultivares de sorgo. **Informativo Agropecuário**, v. 12, n. 144, p. 40–42, 1996.
- CASTRO, E. et al. Potential for Ethanol Production from Different Sorghum Cultivars. **Industrial Crops and Products**, v. 109, p. 367–373, 2017.
- CAYCHO-RODRÍGUEZ, T. Considerations for the Correct Interpretation of Confidence Intervals in Nursing Research. **Enfermería Clínica (English Edition)**, fev. 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2445147918300213>>. Acesso em: 13 maio. 2018.
- CENTURION, J. F. Balanço hídrico na região de Ilha Solteira. **Científica**, v. 10, n. 1, p. 57–61, 1982.
- COELHO, M. E. H. et al. Coberturas do solo sobre a amplitude térmica e a produtividade de pimentão. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 369–378, 2013.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob Sistema de Plantio Direto (SPD). **Bioscience Journal**, v. 24, n. 4, p. 12, 2008.
- CREMASCO, C. P. **Aplicação da lógica fuzzy para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura**. 2008. 97 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- 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, 2010.
- DAMIAN, J. M. et al. Monitoring Variability in Cash-Crop Yield Caused by Previous Cultivation of a Cover Crop under a No-Tillage System. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 142, p. 607–621, 2017.
- DELAUNE, P. B.; SIJ, J. W. Impact of Tillage on Runoff in Long Term No-till Wheat Systems. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 32–35, 2012.
- DEMING, S. N.; MORGAN, S. L. Analysis of Variance (ANOVA) for Linear Models. In: **Experimental design**. a chemometric approach. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 1993. 11p. 436.
- 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, n. 1, 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. 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.

EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - SPI, 2006.

FAO. **AQUASTAT Main Database** United Nations, , 2016. . Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>>. Acesso em: 6 abr. 2018.

FAO. **Conservation Agriculture Adoption Worldwide** United Nations, , 2017. . Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

FEBRAPDP. **Evolução área do Sistema Plantio Direto no Brasil** Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação, , 2012. . Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/area-de-pd>>. Acesso em: 7 abr. 2018.

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.

FUMO, N.; RAJE BISWAS, M. A. Regression Analysis for Prediction of Residential Energy Consumption. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 332–343, 2015.

GABRIEL FILHO, L. R. A. et al. Application of Fuzzy Logic for the Evaluation of Livestock Slaughtering. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 4, p. 813–825, 2011.

GABRIEL FILHO, L. R. A. et al. Software to Assess Beef Cattle Body Mass through the Fuzzy Body Mass Index. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 179–193, 2016.

GARCÍA-GONZÁLEZ, I. et al. Cover Crops to Mitigate Soil Degradation and Enhance Soil Functionality in Irrigated Land. **Geoderma**, v. 322, p. 81–88, 2018.

GARG, B.; AGGARWAL, S.; SOKHAL, J. Crop Yield Forecasting Using Fuzzy Logic and Regression Model. **Computers & Electrical Engineering**, p. 1–21, 2017.

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.

GOES, R. J. **Doses de nitrogênio em coberturas vegetais e molibdênio foliar na soja em sucessão**. 2016. 77 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Sistema de Produção, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

GOLABI, M. H.; EL-SWAIFY, S. A.; IYEKAR, C. Experiment of “No-Tillage” Farming System on the Volcanic Soils of Tropical Islands of Micronesia. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 2, p. 30–38, 2014.

GRECH, V.; CALLEJA, N. WASP (Write a Scientific Paper): Multivariate Analysis. **Early Human Development**, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378378218302494>>. Acesso em: 7 maio. 2018.

- GUO, D.; WESTRA, S.; MAIER, H. R. An R Package for Modelling Actual, Potential and Reference Evapotranspiration. **Environmental Modelling & Software**, v. 78, p. 216–224, 2016.
- HAMMOU, F.; HAMMOUCHE, K.; POSTAIRE, J.-G. Convexity Dependent Anisotropic Diffusion for Mode Detection in Cluster Analysis. **Neurocomputing**, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092523121830448X>>. Acesso em: 9 maio. 2018.
- HUBIG, M.; MUGGENTHALER, H.; MALL, G. Confidence Intervals in Temperature-Based Death Time Determination. **Legal Medicine**, v. 17, n. 1, p. 48–51, jan. 2015.
- INÁCIO, D. F. S. et al. The Use of Sorghum Silage in Feeding Weanling Horses: Body Development. **Livestock Science**, v. 215, p. 46–48, 2017.
- JAHANZAD, E. et al. Improving Yield and Mineral Nutrient Concentration of Potato Tubers through Cover Cropping. **Field Crops Research**, v. 212, p. 45–51, 2017.
- KISI, O. Applicability of Mamdani and Sugeno Fuzzy Genetic Approaches for Modeling Reference Evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 504, p. 160–170, 2013.
- KLIEMANN, H. J.; BRAGA, A. J. P.; MARQUES, P. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 21–28, 2006.
- LANDRES, J. N. **Plantio Direto: Histórico, características e benefícios do Plantio Direto**. Brasília, DF: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS, 2005.
- LEITE, D. F. et al. Modelagem evolutiva granular fuzzy. **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**, v. 10, p. 7, 2011.
- 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.
- LINTON, O. Confidence Intervals and Sets. In: **Probability, Statistics and Econometrics**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 199–210.
- LOPES, R. C. S. O. et al. Evaluation of the Health Benefits of Consumption of Extruded Tannin Sorghum with Unfermented Probiotic Milk in Individuals with Chronic Kidney Disease. **Food Research International**, v. 107, p. 629–638, 2018.
- LU, K.-P.; CHANG, S.-T. A Fuzzy Classification Approach to Piecewise Regression Models. **Applied Soft Computing**, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1568494618302370>>. Acesso em: 5 maio. 2018.
- MAHN, A. Modelling of the Effect of Selenium Fertilization on the Content of Bioactive Compounds in Broccoli Heads. **Food Chemistry**, v. 233, p. 492–499, 2017.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Universidade Comell: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MAMAN, N. et al. Pearl Millet and Grain Sorghum Yield Response to Water Supply in Nebraska. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 6, p. 1618, 2003.

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.

MESKINI-VISHKAEI, F.; DAVATGAR, N. Evaluation of Different Predictor Models for Detailed Soil Particle-Size Distribution. **Pedosphere**, v. 28, n. 1, p. 157–164, 2018.

**MINITAB**. 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: 9 jan. 2019.

MISHRA, S.; DATTA-GUPTA, A. Multivariate Data Analysis. In: **Applied Statistical Modeling and Data Analytics**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 97–118.

MITCHELL, J. P. et al. Cover Cropping and No-Tillage Improve Soil Health in an Arid Irrigated Cropping System in California's San Joaquin Valley, USA. **Soil and Tillage Research**, v. 165, p. 325–335, 2017.

MORTVEDT, J. J.; RÖMHELD, V.; MARSCHNER, H. Function of Micronutrients in Plants. In: **Micronutrients in Agriculture**. MORTVEDT, J. J. (Ed.): Soil Science Society of America, 1991. p. 297–328.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G. de (ed.). **Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015.

MUÑOZ-ROMERO, S.; GÓMEZ-VERDEJO, V.; PARRADO-HERNÁNDEZ, E. A Novel Framework for Parsimonious Multivariate Analysis. **Pattern Recognition**, v. 71, p. 173–186, 2017.

NIELSEN, D. C.; VIGIL, M. F. Water Use and Environmental Parameters Influence Proso Millet Yield. **Field Crops Research**, v. 212, p. 34–44, 2017.

OSTERTAGOVÁ, E. Modelling Using Polynomial Regression. **Procedia Engineering**, v. 48, p. 500–506, 2012.

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.

PEREIRA FILHO, I. A. et al. Manejo da cultura do milheto. **Embrapa Milho e Sorgo**, p. 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 em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

PESSOA, A. C. S. **Atividades de nitrogenase e redutase do nitrato e produtividade do feijoeiro em resposta à adubação com molibdênio e fósforo**. 1998. 151 f. Tese (Doutorado em Solos) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.



- PIMENTA, A. H. de M. **Geração genética de classificador fuzzy intervalar do tipo 2**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- PÖHLITZ, J. et al. Computed Tomography and Soil Physical Measurements of Compaction Behaviour under Strip Tillage, Mulch Tillage and No Tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 205–216, 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 em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 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, 2017a.
- PUTTI, F. F. et al. A Fuzzy Mathematical Model to Estimate the Effects of Global Warming on the Vitality of *Laelia Purpurata* Orchids. **Mathematical Biosciences**, v. 288, p. 124–129, 2017b.
- QI, Y. et al. Optimization of Starch Isolation from Red Sorghum Using Response Surface Methodology. **LWT**, v. 91, p. 242–248, 2018.
- RIBAS, G. G. et al. Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 817–828, out. 2015.
- ROUSSON, V.; GOÇONI, N. F. An  $\chi^2$ -Square Coefficient Based on Final Prediction Error. **Statistical Methodology**, v. 4, n. 3, p. 331–340, 2007.
- RUSU, T. Energy Efficiency and Soil Conservation in Conventional, Minimum Tillage and No-Tillage. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 4, p. 42–49, 2014.
- 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.
- SANTOS, J. F. D. **Sistema inteligente fuzzy para auxílio ao diagnóstico de níveis de risco da gestação integrado à plataforma de telemedicina preneonatal**. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.
- 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.
- SILVA, J. C. da et al. Análise comparativa entre os sistemas de preparo do solo: aspectos técnicos e econômicos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 11, 2011.

- SILVA NETO, G. C. D. **Um método para solução de problemas de otimização multiobjetivo em ambiente fuzzy**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.
- 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.
- SOUZA, A. P. de et al. Taxas de decomposição de resíduos vegetais submetidos a lâminas de irrigação. **Irriga**, v. 19, n. 3, p. 512–526, 2014.
- TAMUS, Z. Á. Regression Analysis to Evaluate the Reliability of Insulation Diagnostic Methods. **Journal of Electrostatics**, v. 71, n. 3, p. 564–567, 2013.
- TEIXEIRA, I. R. et al. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 83–88, 2005.
- TRIBOUILLOIS, H. et al. Modelling Agroecosystem Nitrogen Functions Provided by Cover Crop Species in Bispecific Mixtures Using Functional Traits and Environmental Factors. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 207, p. 218–228, 2015.
- TRIBOUILLOIS, H.; CONSTANTIN, J.; JUSTES, E. Analysis and Modeling of Cover Crop Emergence: Accuracy of a Static Model and the Dynamic STICS Soil-Crop Model. **European Journal of Agronomy**, v. 93, p. 73–81, 2018.
- TRINDADE, J. da S. et al. Produtividade do milho em três densidades de semeadura e duas alturas de corte. **Ciência Animal Brasileira**, v. 18, p. 1–10, 2017.
- XU, R.; WUNSCHII, D. Survey of Clustering Algorithms. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 16, n. 3, p. 645–678, 2005.
- YAMANISHI, J. et al. Multivariate Analysis for Scanning Tunneling Spectroscopy Data. **Applied Surface Science**, v. 428, p. 186–190, 2018.
- ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338–353, 1965.
- ZHAO, Y.; MENG, X.; YANG, H. Jackknife Empirical Likelihood Inference for the Mean Absolute Deviation. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 91, p. 92–101, 2015.