



Modelagem fuzzy na produção de bioetanol de capim-elefante *Fuzzy modeling in elephant grass bioethanol production*

Emmanuel Zullo Godinho¹, Fernando de Lima Caneppele², Beatriz Sauer Vígaro de Freitas³

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, Brasil

² Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

³ Colégio Estadual Professor João Queiroz Marques, São Paulo, Brasil

Contato: profemmanuelzullo@gmail.com

Palavras-Chave

variação de temperatura
celulase
biomassa
lógica nebulosa
BRS Capiacu

Key-word

temperature variation
cellulase
biomass
fuzzy logic
BRS Capiacu

RESUMO

Visando o aumento na sustentabilidade mundial, o mundo busca utilizar fontes renováveis para a produção de energia e poder alterar a matriz energética mundial. Uma biomassa que está se destacando é o capim-elefante para a produção de bioetanol. Em virtude disso, o presente trabalho objetivou analisar os efeitos do uso de diferentes temperaturas, concentração da celulase e porcentagem da biomassa na produção do bioetanol a partir da biomassa do capim-elefante, utilizando modelagem fuzzy. As análises dos efeitos das variáveis de entrada foram realizadas por meio de superfícies tridimensionais e mapas de contorno das variáveis de saída. Tal modelagem visou gerar resultados também em diversos pontos não aferidos experimentalmente, possibilitando assim, analisar todos os cenários para a produção de bioetanol de capim-elefante. Em geral, conclui-se, pelas observações de todos os mapas de contorno gerados, que a região próxima a 41°C de temperatura, combinado com concentração da biomassa entre 5 a 16% e uma concentração da celulase entre 9 a 14 FPU/g de biomassa, retornando assim uma melhor resposta da variável biométrica estudada (bioetanol).

ABSTRACT

Aiming at increasing global sustainability, the world seeks to use renewable sources for energy production and be able to change the world's energy matrix. One biomass that is standing out is elephant grass for the production of bioethanol. As a result, this study aimed to analyze the effects of using different temperatures, cellulase concentration, and percentage of biomass in the production of bioethanol from elephant grass biomass, using fuzzy modeling. The analyzes of the effects of the input variables were performed using three-dimensional surfaces and contour maps of the output variables. Such modeling also aimed to generate results in several points not experimentally measured, thus enabling the analysis of all scenarios for the production of bioethanol from elephant grass. In general, it is concluded, from the observations of all the generated contour maps, that the region close to 41°C of temperature, combined with a biomass concentration between 5 to 16% and a cellulase concentration between 9 to 14 FPU/g of biomass, thus returning a better response of the studied biometric variable (bioethanol).

Informações do artigo

Recebido: 17 de novembro, 2021

Aceito: 10 de março, 2022

Publicado: 30 de abril, 2022

Introdução

Mudanças climáticas, crise hídrica e o consumo excessivo de fontes não renováveis para produção de energia são fatores predominantes para que a Organização das Nações Unidas (ONU) juntamente com as nações possa trabalhar em conjunto para deliberar novos horizontes para o globo terrestre (BLOIS et al., 2017).

Por isso, a produção de energia a partir de fontes renováveis, como a fotovoltaica (sol), a eólica (vento), os biodigestores (dejetos de animais) e os biocombustíveis (cana-de-açúcar e capim-elefante) veem se destacando para a busca de um mundo mais sustentável (BYRT et al., 2011).

Dentro dos biocombustíveis produzidos no Brasil, o bioetanol de capim-elefante apresenta melhores resultados em quanto se analisa biomassa x produção de bioetanol (GODINHO et al., 2019). Altas produções juntamente com a alta adaptabilidade no plantio do Norte ao Sul do país, confirma o uso do capim-elefante como uma biomassa de destaque (PENSRI et al., 2016).

Para que este processo seja eficiente e eficaz, os processos devem estar alinhados com o custo x benefício da produção, principalmente quando se fala em bioetanol, pois para, utiliza-se no processo industrial a biomassa, celulases, temperaturas específicas (BYRT et al., 2011).

Por isso, a otimização nos processos produtivos é fundamental. Para a realização de tal análise, a fim de investigar a otimização de recursos utilizados na área agrícola, tem-se a lógica *fuzzy*, uma teoria matemática que permite a modelagem aproximada ao raciocínio humano, pois imita a habilidade humana de tomar decisões em um ambiente de incerteza e imprecisão, trabalhando com informações qualitativas e descritas de forma não exata (CANEPPELE et al., 2021).

Estas teorias relacionam conjuntos e a lógica *fuzzy* e tratam a incerteza e a ambiguidade como fontes determinísticas (GABRIEL et al., 2011). Os pesquisadores da lógica Bayesiana trabalham com probabilidades, os estudiosos da lógica *fuzzy* visualizam diferentes quantidades de pertinência a eventos que não são prováveis, mas são eventos reais (GÓES et al., 2021).

Com isso, o objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos do uso de diferentes temperaturas, concentrações da celulase e biomassa na produção do bioetanol a partir do capim-elefante, utilizando modelagem *fuzzy*.

Tal modelagem visou gerar resultados também em diversos pontos não aferidos experimentalmente, avaliando assim, diversos cenários no processo produtivo da fermentação.

Material e Métodos

Experimento agrônômico

O modelo *fuzzy* foi elaborado com base em dados experimentais reais de laboratório, onde foi utilizado o capim-elefante de cultivar Capiacu. O plantio do capim ocorreu no mês de julho de 2018 com a colheita em janeiro de 2019.

O solo do local conforme dados a seguir, comprova que o solo não necessitou de correções com calcário e/ou com uma adubação específica, com as seguintes características: K = 1,06 cmolc dm⁻³; Ca = 10,81 cmolc dm⁻³; Mg = 2,10 cmolc dm⁻³; P = 49,40 mg dm⁻³ pelo extrator de mehlich⁻¹; Al = 0,2 cmolc dm⁻³; H + Al = 3,71 cmolc dm⁻³; pH em H₂O = 5,54 e saturação de bases = 76,06%, mesmo assim o produtor fez uma aplicação antecipada na área de 200 kg/ha de compostagem orgânica bovina, 30 dias antes do plantio. Este plantio ocorreu no sitio Brizantha de latitude 24°53'33,0 Sul e longitude 54°01'52,0 Oeste de altitude 392 m, localizado no município de Marechal Cândido Rondon/PR. O manejo do capim-elefante se deu em um modelo simples e sem aplicações de nenhum tipo de agrotóxico de mercado. Não houve necessidade do uso de irrigação no local do plantio, pois as condições climáticas foram adequadas para o desenvolvimento da cultura.

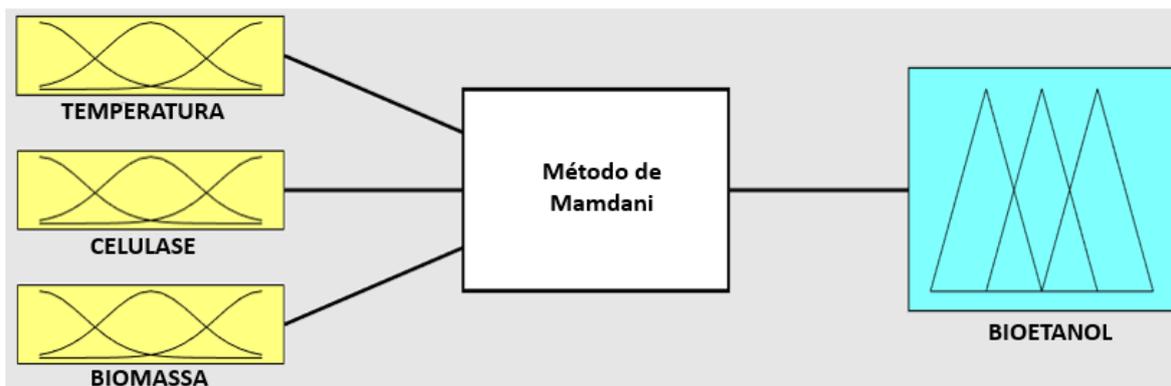
A colheita ocorreu 6 meses após o plantio, realizada manualmente com um facão simples. Após colhida, a biomassa foi levada para o laboratório da Universidade Estadual do Oeste do Paraná UNIOESTE, onde a biomassa foi pré-tratada com hidróxido de sódio (NaOH) a uma temperatura de 100°C e uma concentração de 2% (p/v) de NaOH, onde foi utilizado o banho-maria para o aquecimento da biomassa com o reagente alcalino em questão, com o objetivo deixar a celulose mais exposta facilitando assim a hidrólise enzimática e posterior o processo fermentativo.

Modelagem *fuzzy*

O sistema baseado em regras *fuzzy* (SBRF) é representado na Figura 1, com variáveis de entrada: Temperatura (%), Concentração da Celulase (FPU/g de biomassa) e Biomassa (%) e a variável de saída Bioetanol (g/L). Para a variável Temperatura, tem-se 3 conjuntos *fuzzy*: Baixa (B), Média (M) e Alta (A) de acordo com a Tabela 1. Para a Celulase foram definidos 5 conjuntos *fuzzy*: Baixíssima (BB), Baixa (B), Média (M), Alta (A) e Altíssima (AA) (Tabela 2). Enquanto que para a variável Biomassa foram definidos 3 conjuntos *fuzzy*: Baixa (B), Média (M) e Alta (A) (Tabela 3).

Os valores numéricos apresentados foram baseados nos dados de experimentos realizados por (WAHYUONO et al., 2015; SAMSUDIN e MAT DON, 2015; DUTRA et al., 2018; SANTOS et al., 2018).

Figura 1. Sistema baseado em regras fuzzy para determinar o diâmetro da raiz do rabanete



Fonte: Autores (2021)

Tabela 1. Definição das funções de pertinência do tipo triangular dos conjuntos fuzzy da variável de entrada Temperatura

Conjuntos fuzzy	Tipo	Delimitadores Temperatura
B	Triangular	[30 35 40]
M	Triangular	[35 40 45]
A	Triangular	[40 45 50]

Legenda: B: Baixa; M: Média; A: Alta

Fonte: Autores (2021)

Tabela 2. Definição das funções de pertinência dos tipos trapezoidal e triangular dos conjuntos fuzzy da variável de entrada Celulase

Conjuntos fuzzy	Tipo	Delimitadores Celulase
BB	Trapezoidal	[-500 4 6 9]
B	Triangular	[6 9 12]
M	Triangular	[9 12 15]
A	Triangular	[12 15 17]
AA	Trapezoidal	[15 18 21 500]

Legenda: BB: Baixíssima; B: Baixa; M: Média; A: Alta; AA: Altíssima

Fonte: Autores (2021)

Tabela 3. Definição das funções de pertinência do tipo triangular dos conjuntos fuzzy da variável de entrada Biomassa

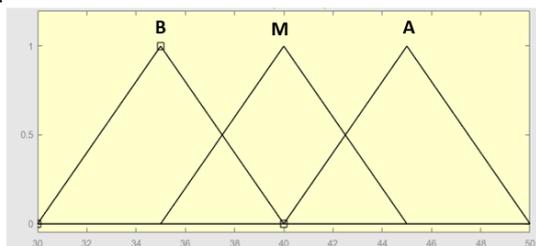
Conjuntos fuzzy	Tipo	Delimitadores Biomassa
B	Triangular	[5 10 15]
M	Triangular	[10 15 20]
A	Triangular	[15 20 25]

Legenda: B: Baixa; M: Média; A: Alta

Fonte: Autores (2021)

As funções de pertinência das variáveis de entrada foram definidas de acordo com a metodologia proposta a partir da determinação dos dados provenientes dos experimentos citados anteriormente (Figuras 2, 3 e 4).

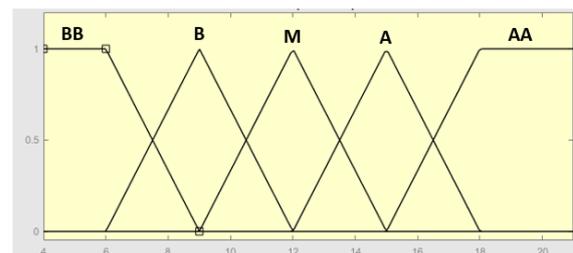
Figura 2. Funções de pertinência triangular da variável de entrada Temperatura



Legenda: B: Baixa; M: Média; A: Alta

Fonte: Autores (2021)

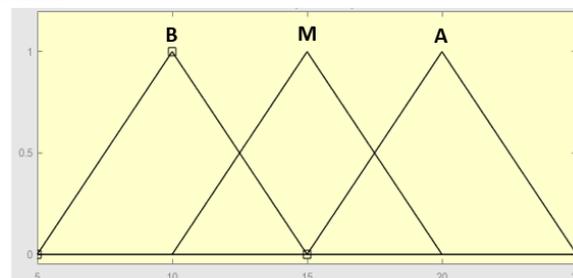
Figura 3. Funções de pertinência triangular da variável de entrada Celulase



Legenda: BB: Baixíssima; B: Baixa; M: Média; A: Alta; AA: Altíssima

Fonte: Autores (2021)

Figura 4. Funções de pertinência triangular da variável de entrada Biomassa



Legenda: B: Baixa; M: Média; A: Alta

Fonte: Autores (2021)

A variável analisada no processo foi a produção de bioetanol (g/L) da biomassa do capim-elefante novo (baixa concentração de lignina e alta de celulose), onde utilizou a mesma metodologia referenciados por (PEREIRA et al., 2016).

Para a determinação das funções de pertinência triangulares e trapezoidais, utilizou-se semelhante metodologia desenvolvida em (GABRIEL FILHO et al., 2015; MARTÍNEZ et al., 2020; GÓES et al., 2021).

A função de pertinência triangular consiste em utilizar 3 parâmetros (a, b, m), com $a \leq m \leq b$, com μ : $0 \rightarrow$ se $x \leq a$; $(x - a)/(m - a) \rightarrow$ se $a < x \leq m$; $(b - x)/(b - m) \rightarrow$ se $m < x \leq b$ e $0 \rightarrow x \geq b$ (GABRIEL FILHO et al., 2012). Para a função de pertinência trapezoidal utiliza-se 4 parâmetros (a, b, m, n), com $a \leq m \leq n \leq b$, com μ : $0 \rightarrow$ se $x \leq a$; $(x - a)/(m - a) \rightarrow$ se $a < x \leq m$; $1 \rightarrow m < x \leq n$; $(b - x)/(b - n) \rightarrow$ se $n < x \leq b$ e $0 \rightarrow x > b$ (GABRIEL FILHO et al., 2016; PUTTI et al., 2017a).

A definição das funções de pertinência das variáveis de saída é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4. Delimitadores genéricos da função de pertinência da variável de saída bioetanol

Conjuntos <i>fuzzy</i>	Tipo	Delimitadores Bioetanol
B	Triangular	[30 35 40]
M	Triangular	[35 40 45]
A	Triangular	[40 45 50]

Legenda: B: Baixa; M: Média; A: Alta

Fonte: Autores (2021)

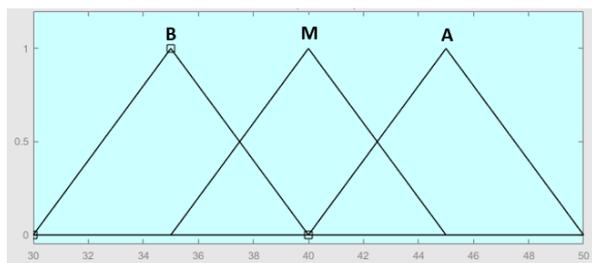
A base de regras consistiu-se em 45 (3x5x3) combinações entre os conjuntos *fuzzy* das 3 variáveis de entrada (Temperatura x Concentração x Biomassa), conforme metodologia desenvolvida em (PUTTI et al., 2014). O método de inferência e defuzzificação utilizado foi o Método de Mamdani.

O *software* utilizado para a programação das estruturas desenvolvidas foi o Matlab®, com a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do software.

Resultados e Discussões

A partir dos resultados estabelecidos na Tabela 4, foram elaboradas as funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* das variáveis de saída (Figura 5).

Figura 5. Funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* da variável de saída na produção de bioetanol de capim-elefante submetido a diferentes temperaturas, concentrações de celulase e biomassa



Legenda: B: Baixa; M: Média; A: Alta

Fonte: Autores (2021)

A base de regras do sistema *fuzzy* é estabelecida de acordo com a Tabela 5, na qual todas possíveis combinações entre conjuntos *fuzzy* de entrada possuem uma resposta na variável de saída.

Tabela 5. Base de regras do sistema *fuzzy* na produção de bioetanol de capim-elefante

Variáveis de entrada			Variável saída
Temperatura	Celulase	Biomassa	Bioetanol
B	BB	B	M
B	BB	M	M
B	BB	A	B
B	B	B	A
B	B	M	A
B	B	A	B
B	M	B	B
B	M	M	B
B	M	A	B
B	A	B	M
B	A	M	M
B	A	A	M
B	AA	B	B
B	AA	M	B
B	AA	A	B
M	BB	B	A
M	BB	M	A
M	BB	A	M
M	B	B	A
M	B	M	A
M	B	A	M
M	M	B	M
M	M	M	M
M	M	A	B
M	A	B	M
M	A	M	M
M	A	A	B
M	AA	B	A
M	AA	M	A
M	AA	A	A
A	BB	B	M
A	BB	M	M
A	BB	A	M
A	B	B	B
A	B	M	B
A	B	A	B
A	M	B	M
A	M	M	M
A	M	A	M
A	A	B	A
A	A	M	A
A	A	A	A
A	AA	B	M
A	AA	M	M
A	AA	A	M

Variáveis de entrada: Temperatura (°C); Celulase (FPU/g de biomassa); Biomassa (%). Variável de saída: Bioetanol (g/L)

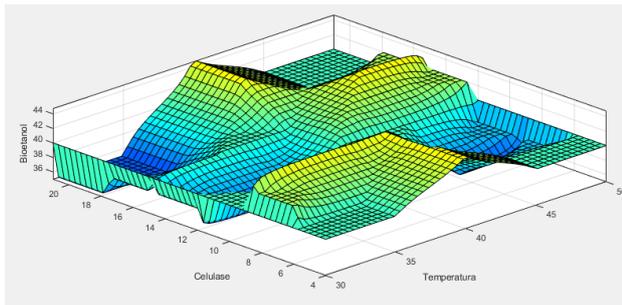
Fonte: Autores (2021)

Resultados aplicados pela lógica *fuzzy*

Os resultados práticos foram discutidos a partir dos mapas de contorno e superfícies geradas de acordo com a variável analisada.

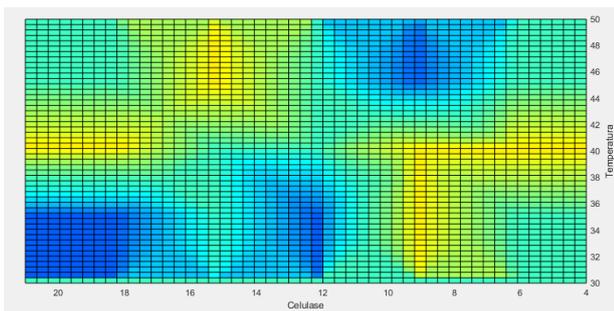
Verificou-se na produção de bioetanol utilizando a temperatura e celulase (Figuras 6 e 7), tal como SANTOS et al. (2018), que a melhor produção de bioetanol ocorreu a uma temperatura. Tais valores ocorreram para temperaturas entre 40 e 42°C e concentração de celulase entre 9 a 14 FPU/g de biomassa.

Figura 6. Superfície tridimensional do bioetanol (Temperatura x Celulase)



Fonte: Autores (2021)

Figura 7. Mapa de contorno do bioetanol (Temperatura x Celulase)



Fonte: Autores (2021)

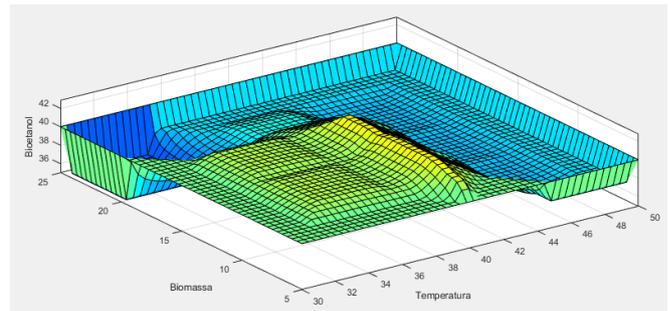
DUTRA et al. (2018) analisaram o efeito da temperatura na produção de bioetanol de capim-elefante, sendo que os melhores resultados ocorreram com temperaturas acima de 50°C. Nesse estudo, o cultivo avaliado, apresentou melhores resultados de temperatura entre 40 a 42°C com as concentrações de celulase entre 9 a 14 FPU/g de biomassa.

Enquanto SANTOS et al. (2018), os maiores valores para a produção de bioetanol de capim-elefante se deram a partir da temperatura entre 70 até 90°C. Em contrapartida, SAMSUDIN et al. (2015) observaram temperaturas próximas ao experimento e concentrações de celulase diferentes do analisado.

BASSO et al. (2014), observaram que a produção de bioetanol está diretamente relacionado com o pré-tratamento aplicado, não somente a temperatura e a concentração da celulase. Similar a estes resultados CARDONA et al. (2014), constataram que além do pré-tratamento, a hidrólise enzimática é um fator importante para a produção do bioetanol do capim-elefante, obtendo resultados próximos ao encontrado neste experimento analisado. Além disso, CASTRO e ROBERTO (2014), verificaram que os melhores resultados na produção de bioetanol utilizando o fungo *Kluyveromyces marxianus* foram nas temperaturas entre 40 a 60°C com uma dosagem de celulase a 12 FPU/g de biomassa.

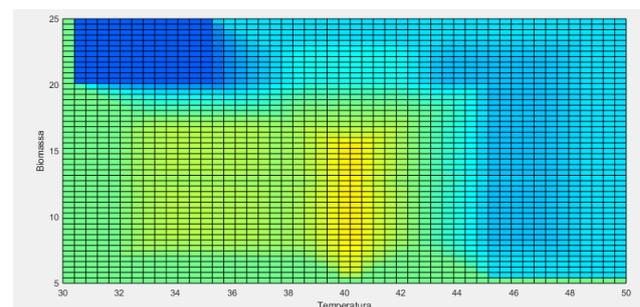
Os maiores valores da produção de bioetanol, quando correlacionados biomassa x temperatura (Figuras 8 e 9), resultaram em melhores produções a uma temperatura de 41°C e concentrações de biomassa entre 5 a 16%. ADITIYA et al. (2016) também constataram que maiores resultados na produção de bioetanol, foram encontrados em temperaturas acima de 40°C com uma porcentagem acima de 10% no volume da biomassa.

Figura 8. Superfície tridimensional do bioetanol (Biomassa x Temperatura)



Fonte: Autores (2021)

Figura 9. Mapa de contorno do bioetanol (Biomassa x Temperatura)



Fonte: Autores (2021)

Conforme apresentado na Figura 7, a melhor temperatura para a produção de bioetanol foi de 41°C, com a porcentagem de biomassa entre 5 a 16%. De maneira similar, NGUYEN et al. (2017), constataram melhores resultados na eficiência da produção de bioetanol quando a temperatura no processo produtivo entre 40 a 42°C.

Tais observações estão em consonância com os resultados obtidos por MOHAPATRA et al. (2016), que verificaram que há uma relação positiva entre a relação entre a biomassa em relação a temperatura e a porcentagem da celulose para a produção de bioetanol do capim-elefante.

Conclusão

Conclui-se, pelas observações de todos os mapas de contornos gerados, que a região próxima a 41°C de temperatura, combinado com concentração da biomassa entre 5 a 16% e uma concentração da celulase entre 9 a 14 FPU/g de biomassa, retornando assim uma melhor resposta da variável biométrica estudada (bioetanol).

Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

Referências

- ADITIYA, H. B. et al. Second generation bioethanol production: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 631-653, 2016.
- BASSO, V.; MACHADO, J. C.; LÉDO, F. J. S.; CARNEIRO, J. C.; FONTANA, R. C.; DILLON, A. J. P.; CAMASSOLA, M. Different elephant grass (*Pennisetum purpureum*) accessions as substrates for enzyme production for the hydrolysis of lignocellulosic materials. **Biomass and Bioenergy**, v. 71, p. 155-161, 2014.
- BLOIS, H. D. et al. Silvicultura: Cenários Prospectivos para Geração de Energia Elétrica. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 1, p. 140-159, 2017.
- BYRT, C. S.; GROF, C. P. L.; FURBANK, R. T. C4 plants as biofuel feedstocks: optimising biomass production and feedstock quality from a lignocellulosic perspective. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 53, p. 120-135, 2011.
- CANEPPELE, F. de L. et al. Aplicações da lógica fuzzy no desenvolvimento do morango no Oeste do Paraná. **Revista Sodebras**, v. 16, n. 184, p. 2019-2022, 2021.
- CARDONA, E.; RIOS, J.; PEÑA, J.; RIOS, L. Effects of the pretreatment method on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentability of the cellulosic fraction from elephant grass. **Fuel**, v. 118, p. 41-47, 2014.
- CASTRO, R. C. A.; ROBERTO, I. C. Selection of a thermotolerant *Kluyveromyces marxianus* strain with potential application for cellulosic ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation. **Appl Biochem Biotechnol**, v. 172, p. 1553-1564, 2014.
- DUTRA, E. D. et al. Alkaline hydrogen peroxide pretreatment of lignocellulosic biomass: status and perspectives. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 8, n. 1, p. 225-234, 2018.
- GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; CHACUR, M. G. M. Application of fuzzy logic for the evaluation of livestock slaughtering. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 813-825, 2011.
- GABRIEL FILHO, L. R. A.; HALMEMAN, M. C. R.; SERAPHIM, O. J.; HALMEMAN, R. J.; CREMASCO, C. P. **Aplicação da lógica fuzzy para avaliação da eficiência e racionalidade de usinas sucroalcooleiras**. In:
- GABRIEL FILHO, L. R. A.; PIGATTO, G. A. S.; LOURENZANI, A. E. B. S. Fuzzy rule-based system for evaluation of uncertainty in cassava chain. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 350-367, 2015.
- GABRIEL FILHO, L. R. A.; PUTTI, F. F.; CREMASCO, C. P.; BORDIN, D.; CHACUR, M. G. M.; GABRIEL, L. R. A. Software to assess beef cattle body mass through the fuzzy body mass index. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 179-193, 2016.
- GODINHO, E. Z. et al. Pré-tratamento hidrotérmico alcalino e alcalino-oxidativo sobre os teores de celulose e lignina em biomassa de capim elefante BRS Capiaçú. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 6, n. 3, p. 51-65, 2019.
- GÓES, B. C.; GOES R. J.; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Fuzzy modeling of vegetable straw cover crop productivity at different nitrogen doses. **Modeling Earth Systems and Environment**, Cham, v. 7, p. 1-7, 2021.
- MARTÍNEZ, M. P.; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; BRAGA JUNIOR, S. S.; BEDNASKI, A. V.; QUEVEDO-SILVA, F.; PADGETT, R. C. M. L. Fuzzy inference system to study the behavior of the green consumer facing the perception of greenwashing. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 242, n. 1, p. 116064, 2020.
- MOHAPATRA, S. et al. Application of pretreatment, fermentation and molecular techniques for enhancing bioethanol production from grass biomass – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 1007-1032, 2016.
- NGUYEN, Q. A.; YANG, J.; BAE, H. J. Bioethanol production from individual and mixed agricultural biomass residues. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 718-725, 2017.
- PENSRI, B. et al. Potential of Fermentable Sugar Production from Napier cv. Pakchong 1 Grass Residue as a Substrate to Produce Bioethanol. **Energy Procedia**, v. 89, p. 428-436, 2016.
- PEREIRA, A. V.; LEDO, F. J. da S.; MORENZ, M. J. F.; LEITE, J. L. B.; SANTOS, A. M. B. dos; MARTINS, C. E.; MACHADO, J. C. **BRS Capiaçú: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem**. Juiz de Fora/MG: Embrapa Gado de leite, 2016. 6p. (Embrapa Gado de leite. Circular Técnica, 79).
- PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; BONINI NETO, A.; BONINI, C. S. B.; REIS, A. R. A Fuzzy mathematical model to estimate the effects of global warming on the vitality of *Laelia purpurata* orchids. **Mathematical Biosciences**, New York, v. 288, p. 124-129, 2017a.
- PUTTI, F. F.; ABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA, A. O.; LUDWIG, R.; REMASCO, C. P. Fuzzy logic to evaluate vitality of *Catasetum fimbriatum* species (Orchidaceae). **Irriga, Botucatu**, v. 19, n. 3, p. 405-413, 2014.
- SAMSUDIN, M. D. M.; MAT DON, M. Assessment of bioethanol yield by *S. cerevisiae* grown on oil palm residues: Monte Carlo simulation and sensitivity analysis. **Bioresource Technology**, v. 175, p. 417-423, 2015.
- SANTOS, C. C. et al. Elephant grass leaves have lower recalcitrance to acid pretreatment than stems, with higher potential for ethanol production. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 193-200, 2018.
- WAHYUONO, R. A.; HAKIM, M. N.; SANTOSO, S. A. Feasibility Study on the Production of Bioethanol from Tapioca Solid Waste to Meet the National Demand of Biofuel. **Energy Procedia**, v. 65, p. 324-330, 2015.