

Uma abordagem fuzzy para controle ótimo

Magda S. Peixoto¹,

DFQM, CCTS – UFSCar, 18.052-780, Sorocaba/SP.

Laécio C. Barros² Estevão E. Laureano³

DMA, IMECC – Unicamp, 13.083-859, Campinas/SP.

Resumo. Este trabalho propõe um controle ótimo utilizando transformada fuzzy, com o objetivo de minimizar a quantidade de inseticida aplicada em uma plantação. Este modelo é aplicado ao controle do pulgão-da-soja. As medidas de controle não são introduzidas antes de atingir o limiar econômico. O pulgão-da-soja tornou-se a praga de insetos mais devastadora de soja nos Estados Unidos. O Brasil é o segundo maior exportador de soja no momento, depois dos EUA e antes da Argentina. De acordo com a Secretaria de Agricultura dos EUA, estima-se que o Brasil será o maior exportador de soja em 2023. Considerando a importância econômica da soja para o Brasil, é fundamental que estejamos preparados, com propostas efetivas de controle e combate a pragas, especificamente, ao pulgão-da-soja, enquanto essa praga ainda não chegou ao nosso país e, portanto, ainda não causou danos a agricultura nacional.

Palavras-chave: Conjuntos fuzzy; transformada fuzzy; pulgão-da-soja.

1. Introdução

O pulgão-da-soja, *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae), é nativo da Ásia, sendo considerado, uma das mais importantes pragas da soja. Atualmente, essa praga está amplamente distribuída nos países da Ásia, na Austrália e na América do Norte. Antes da introdução do pulgão-da-soja nos EUA, a soja na região do Meio-Oeste Americano era relativamente livre de pragas importantes, mas, após a entrada e explosão populacional do afídeo que se espalhou

¹Projeto Fapesp número 2016/04299-9. magda@ufscar.br

²laeciocb@ime.unicamp.br

³eelaureano@ime.unicamp.br

rapidamente, têm sido detectados sérios prejuízos econômicos. Foi introduzido nos EUA por volta do ano de 2003, sendo descoberto pela primeira vez na América do Norte em Wisconsin no final de julho de 2000 (Wu et al., 2004) e continua sendo a praga de insetos de soja mais significativa na região Centro-Norte dos EUA (Kock et al., 2019).

Inseticidas são amplamente utilizados para o controle de *A. glycines* (Queiroz et al., 2020; Dean et al., 2019; Hodgson, 2019; Valmorbidia et al., 2019; Myers et al., 2005). Um limiar econômico foi desenvolvido para o controle químico, isto é, quando um tratamento com inseticida é necessário, e varia de 250 a 273 pulgões por planta (Ragsdale et al., 2004, 2007). As medidas de controle não são introduzidas antes de atingir o limiar econômico.

Além dos fatores abióticos, como temperatura, os fatores bióticos podem afetar o desenvolvimento da população da praga, principalmente inimigos naturais. Estudos têm mostrado que o percevejo *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae), é um importante predador do pulgão-da-soja (Grettenberger e Tooken, 2020; Samaranyake e Costamagna, 2019; Ragsdale et al., 2007).

Em Peixoto et al. (2015a) utilizamos um sistema baseado em regras fuzzy (SBRF) (Barros et al., 2017; Barros e Bassanezi, 2010) para elaborar um modelo do tipo presa-predador para estudar a interação entre o pulgão-da-soja (presa) e seu predador - *Orius insidiosus*, considerando fatores bióticos (predador) e abióticos (temperatura). Propomos o uso de um SBRF ao invés das usuais equações diferenciais que caracterizam os modelos determinísticos clássicos. Nosso principal objetivo foi a tomada de decisão no controle de praga pelo uso de inseticida, em sistemas do tipo presa-predador. É natural que se decida a quantidade de inseticida a ser aplicada em função da quantidade de pulgões (presas) presente nas plantas, ou seja, quanto maior a densidade populacional de afídeos, maior a quantidade de inseticida necessária. Assim optamos por modelar a quantidade de inseticida a ser aplicada por meio de um sistema baseado em regras fuzzy, dependendo da quantidade de pulgões presente nas plantas. Em Peixoto et al. (2015b) propomos um controle biológico fuzzy, ou seja, um controle biológico por meio de um sistema baseado em regras fuzzy. Em Peixoto et al. (2018) utilizamos programação linear fuzzy para propor um controle químico do pulgão-da-soja.

Como ainda não há uma recomendação precisa para maximizar o controle desse inseto, nos encoraja a propor modelagens matemáticas utilizando Teoria dos Conjuntos Fuzzy para o controle dessa praga.

Num sistema de controle convencional são adotadas medidas de controle (geralmente se utiliza o método químico) quando o organismo está presente, independentemente de outros fatores (Picanço, 2010).

A presente proposta de controle têm a finalidade de manter a população de pragas num nível de equilíbrio abaixo de danos econômicos. Propomos um modelo de controle ótimo de pragas, considerando aspectos de incertezas, via Transformada Fuzzy (Perlieva, 2006) e aplicamos ao nosso problema.

O modelo inclui um sistema predador-presa fuzzy, a fim de descrever a interação entre a presa, *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) – o pulgão-da-soja – e seu predador, *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) (Peixoto et al., 2015a).

2. O modelo

Inicialmente, apresentamos uma proposta de Controle Ótimo utilizando Transformada Fuzzy (Perlieva, 2006) no funcional a ser minimizado.

As Transformadas Fuzzy, ou F-transformadas, foram introduzidas por Perlieva (2006). A ideia básica de transformadas é estabelecer uma correspondência entre o conjunto das funções contínuas em um intervalo real e o conjunto dos vetores n -dimensionais reais (Campos, 2015). Considerem A_1, A_2, \dots, A_n funções que constituem uma partição fuzzy de um intervalo real $[a, b]$ e f qualquer função em $C[a, b]$. Dizemos que $[F_1, F_2, \dots, F_n]$ dados por:

$$F_k = \frac{\int_a^b f(x)A_k(x)dx}{\int_a^b A_k(x)dx}, k = 1, 2, \dots, n$$

é a F-transformada de f com respeito a A_1, A_2, \dots, A_n .

Para isso, vamos considerar um modelo do tipo presa-predador fuzzy elaborado em Peixoto et al. (2015a), utilizando a variável de controle $u(t)$ como taxa de aplicação de um inseticida, que mata a presa e o predador.

Queremos minimizar a quantidade de inseticida. Para isso iremos considerar a variável de controle do problema de controle ótimo $u(t)$. A variável $u(t)$ irá nos informar a quantidade de inseticida que devemos liberar em cada instante de tempo. Assim, iremos adotar o seguinte índice de performance:

$$J = \int_{t_0}^{t_f} u(t)dt, \quad (2.1)$$

em que

$$u(t) = \frac{\int_{t_0}^{t_f} f_k(x(t))A_k(x(t))dt}{\int_{t_0}^{t_f} A_k(x(t))dt}, k = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

sendo A_1, A_2, \dots, A_n as funções de pertinência do conjunto de presas e $f_k(x(t))$ a função de crescimento populacional de presas (na ausência de predação) para cada A_k , $k = 1, 2, \dots, n$, ou seja, cada função f_k foi construída considerando o evolução populacional da presa na ausência de predadores para cada A_k , $k = 1, \dots, n$, $t_0 \leq t \leq t_f$.

Vamos adotar A_1, A_2, A_3, A_4 as funções de pertinência de quantidade de pulgão-da-soja definidos em Peixoto et al. (2015a) (ver Fig. 1), sendo $f_1(x(t)) = 0$, $f_2(x(t)) = 244,38e^{0,0186x(t)}$, $f_3(x(t)) = 999,88e^{0,0182x(t)}$ e $f_4(x(t)) = 1987,8e^{0,0188x(t)}$, ou seja, cada função f_k foi construída considerando o evolução populacional do pulgão-da-soja na ausência de predadores para cada A_k , $k = 1, 2, 3, 4$.

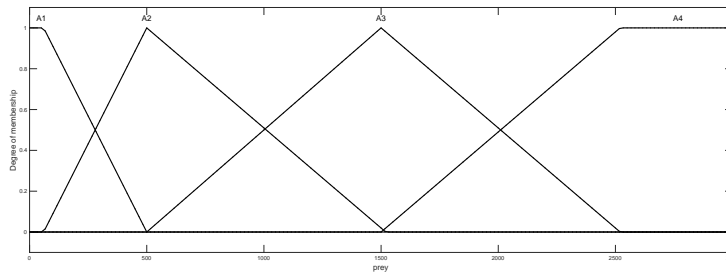


Figura 1: Conjuntos fuzzy para quantidade de pulgões por planta.

3. Resultados e conclusões

De acordo com nossa proposta, o uso de inseticida apenas ocorrerá quando a quantidade de pulgões ultrapassar o nível de limiar econômico, ou seja, for maior que 250 pulgões por planta e a quantidade de inseticida a ser aplicada será diretamente proporcional a quantidade de pulgões presentes na planta conforme as definições acima.

Utilizamos tempo inicial $t_0 = 0$ e tempo final $t_f = 30$, visto a alta taxa de crescimento populacional de afídeos. Para implementação do modelo utilizamos o *Toolbox Fuzzy* do software *MATLAB*.

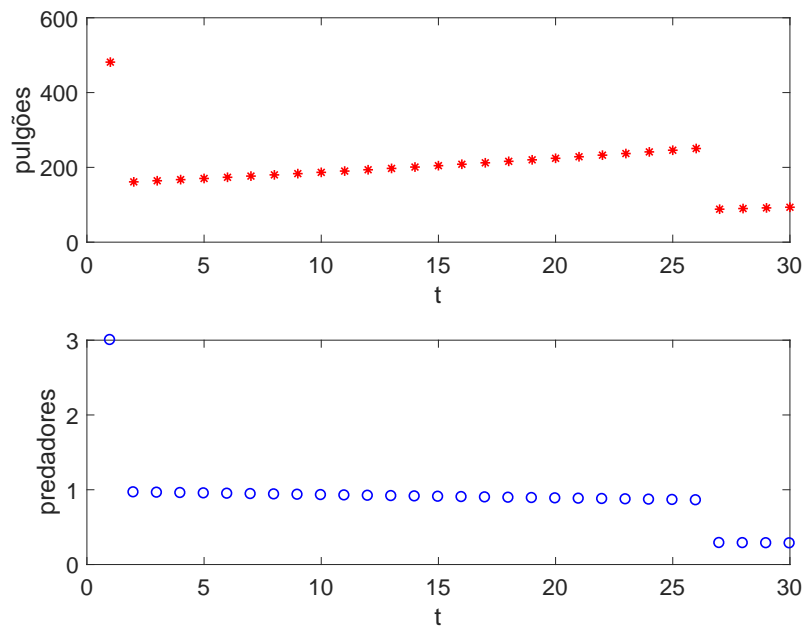


Figura 2: A evolução do contingente populacional de pulgões por planta .

Se considerarmos inicialmente uma população alta de pulgões foi necessário liberar bastante inseticida no período inicial. Observamos ainda que, após os primeiros dias de controle, foi utilizada menor quantidade de inseticida. Da mesma forma, um número baixo de pulgões indica um uso menor inseticida já na fase inicial do controle. O uso de inseticida também provoca uma queda na população de predadores. Como exemplo, partimos de uma quantidade inicial de 475 pulgões e 3 predadores por planta. As aplicações de inseticida ocorreram em 2 momentos ($t = 1, 26$) com $u = 0,7; 0,65$, respectivamente (ver Fig. 2).

O modelo propõe quando e quanto as quantidades de pesticidas a serem aplicadas. Por um lado, as variações de controle ótimo podem ser difíceis de se colocar em prática, visto que é necessário conhecer a quantidade aproximada de pulgões por planta e, portanto, pensar na viabilidade de liberar inseticida no tempo, seguindo exatamente como preconiza o controle u . Por outro lado, a preocupação com o meio ambiente tem sido cada vez mais importante e é necessário pensar em estratégias com menor uso de pesticidas.

Agradecimentos

A primeira autora agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), projeto número 2016/04299-9, e o segundo autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), projeto número 306546/2017-5, pelo apoio financeiro.

Referências

- Barros, L. C. e Bassanezi, R. C. (2010). *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*, volume 5 of *Coleção Textos Didáticos*. IMECC–Unicamp.
- Barros, L. C., Bassanezi, R. C., e Lodwick, W. A. (2017). *A First Course in Fuzzy Logic, Fuzzy Dynamical Systems, and Biomathematics*. Springer.
- Campos, G. A. (2015). A transformada fuzzy aplicada em problema de valor inicial com condição inicial incerta. Dissertação de Mestrado, IMECC–Unicamp, Campinas/SP.
- Dean, A. N., Pritchard, S., Tyndall, J. C., Hodgson, E. W., e O’Neal, M. E. (2019). Evaluating soybean aphid-resistant varieties in different environments to estimate financial outcomes. *Journal of Economic Entomology*, 113:940–948.
- Grettenberger, I. M. e Tooken, J. F. (2020). Cultivar mixtures of soybeans have inconsistent effects on herbivore and natural-enemy populations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 292.
- Hodgson, E. W. (2019). Insecticide evaluation for soybean aphid. *Integrated Crop Management News*.
- Kock, R. L., Queiroz, O. S., Aita, R. C., Hodgson, E. W., Potter, B. D., Nyoike, T., e Ellers-Kirk, C. D. (2019). Efficacy of afidopyropen against soybean aphid (hemiptera: Aphididae) and toxicity to natural enemies. *Pest Manag. Sci.*, 76:375–383.
- Myers, S. W., Hogg, D. B., e Wedberg, J. L. (2005). Determining the optimal timing of foliar insecticide applications for control of soybean aphid (hemiptera:aphididae) on soybean. *Journal of Economic Entomology*, 98:2006–2012.

- Peixoto, M. S., Barros, L. C., Bassanezi, R. C., e Fernandes, O. A. (2015a). An approach via fuzzy systems for dynamics and control of the soybean aphid. In *Proceedings of the 2015 Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology, June 30th to July 3rd*, Gijón, Asturias, Spain. Atlantis Press.
- Peixoto, M. S., Barros, L. C., Bassanezi, R. C., e Fernandes, O. A. (2015b). A study on the dynamics and control of the soybean aphid. In *Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS) held jointly with 2015 5th World Conference on Soft Computing (WConSC), August 17–19*, Redmond/WA, USA. IEEE.
- Peixoto, M. S., Carvalho, S. M. S., Barros, L. C., Bassanezi, R. C., Laureano, E. E., e Lodwick, W. A. (2018). *A control to soybean aphid via fuzzy linear programming*, página 1. Data Science and Knowledge Engineering for Sensing Decision Support (FLINS 2018), Belfast.
- Perlieva, I. (2006). Fuzzy transforms: Theory and applications. *Fuzzy sets and systems*, 157:993–1023.
- Picanço, M. C. (2010). *Manejo Integrado de Pragas*. Universidade Federal de Viçosa.
- Queiroz, O. S., Nyoike, T. W., e Kocha, R. L. (2020). Baseline susceptibility to adidyropyren of soybean aphid (hemiptera: Aphididae) from the north central united states. *Crop Protection*, 129.
- Ragsdale, D. W., McCorcack, B. P., Venette, R. C., Potter, B. D., MacRae, I. V., Hodgson, E. W., e O'Neil, M. E. (2007). Economic threshold for soybean aphid (hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 100(4):1258–1267.
- Ragsdale, D. W., Voegtlin, D. J., e O'Neil, R. J. (2004). Soybean aphid biology in north america. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 97(2):204–208.
- Samaranayake, K. G. L. I. e Costamagna, A. C. (2019). Adjacent habitat type affects the movement of predators suppressing soybean aphids. *PLoS One*, 14(6).
- Valmorbida, I., Muraro, D. S., Hodgson, E. W., e O'Neil, M. E. (2019). Soybean aphid (hemiptera: Aphididae) response to lambda-cyhalothrin varies

with its virulence status to aphid-resistant soybean. *Pest Manag Sci*, páginas 1–8.

Wu, Z., Schenk-Hamlin, D., Zhan, W., Ragsdale, D. W., e Heimpel, G. E. (2004). The soybean aphid in China: A historical review. *Annals of the Entomological Society of America*, 97:209–218.