

Aplicação da Lógica Fuzzy em um Estudo do Risco de Dengue em Sorocaba

Graciele P. Silveira ¹

Departamento de Física, Química e Matemática, UFSCar, Sorocaba, SP

1 Introdução

A dengue é uma doença infecciosa grave, causada por um arbovírus transmitido pelo mosquito *Aedes aegypti*, que ocorre principalmente em áreas tropicais e subtropicais.

De acordo com o Ministério da Saúde [2], entre os dias 03 e 23 de janeiro de 2016, foram registrados 73.872 casos notificados de dengue no Brasil, sendo que desse total 61,3% na região Sudeste.

Na cidade de Sorocaba, em 2015 foram registrados até o dia 12 de junho, 14.556 casos de dengue confirmados por exame laboratorial e 38.316 casos prováveis de dengue por critério clínico-epidemiológico, totalizando 52.872 casos [4]. Quanto aos óbitos, 33 foram confirmados e 13 encontravam-se sob investigação.

Segundo boletins epidemiológicos da Secretaria de Saúde, os padrões de transmissão de dengue vêm mostrando alterações na cidade. Em anos anteriores, entre os meses de julho a novembro, existiu um período silencioso, mas nos últimos anos observa-se a ocorrência de casos mesmo nestes meses de temperaturas mais amenas e baixa pluviosidade [5].

Neste trabalho propomos a construção de um modelo bidimensional do tipo Takagi-Sugeno para o risco de dengue em Sorocaba, baseada em estudos desenvolvidos anteriormente [3]. Tal pesquisa encontra-se em andamento.

2 Modelagem Matemática da Dengue

No processo de inferência fuzzy de Takagi-Sugeno-Kang o consequente de cada regra é dado explicitamente por uma função dos valores de entrada desta regra [1]. Pesquisadores vêm desenvolvendo essa ideia, no sentido de se elaborar regras cujos consequentes sejam dados por equações diferenciais parciais.

O objetivo é estudar o risco de dengue no município de Sorocaba, por isso vamos considerá-lo como variável fuzzy, atribuir termos linguísticos, a saber *Baixo*, *Médio* e *Alto*, e construir funções de pertinências para representá-lo.

¹gracimat@gmail.com

Seja $r(x, y, t)$ o risco de dengue. As regras fuzzy foram elaboradas a partir dos estudos realizados em [3] e a seguir tem-se um exemplo.

$$\begin{aligned} \text{Regra 1:} \quad & \text{Se } r(x, y, t) \text{ é Baixo (B)} \\ & \text{então } \frac{\partial r(x, y, t)}{\partial t} = \kappa_B \left[\frac{\partial^2 r(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 r(x, y, t)}{\partial y^2} \right] + a_{Br}(x, y, t). \end{aligned}$$

A inferência fuzzy é dada pela expressão (no caso em que $M = 3$)

$$\frac{\partial r(x, y, t)}{\partial t} = \sum_{i=1}^M \mu_i(r(x, y, t)) \left[\kappa_i \left(\frac{\partial^2 r(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 r(x, y, t)}{\partial y^2} \right) + a_i r(x, y, t) \right].$$

Os parâmetros κ_i representam a difusão espacial do risco no domínio e estão sendo estimados por meio de um sistema baseado em regras fuzzy - SBRF - que leva em conta fatores ambientais reais, que influenciam a dinâmica do *Aedes aegypti*. As variáveis de entrada do SBRF são *precipitação pluviométrica*, *densidade de habitantes humanos* e *densidade de infestação larvária*, cujas funções de pertinências estão sendo estudadas.

Para resolver numericamente a equação resultante do processo de inferência, um acoplamento de ferramentas numéricas fez-se necessário [3]. Foram usados esquemas numéricos híbridos para a discretização espacial, WENO-5 (esquemas essencialmente não oscilatórios ponderados, de quinta ordem) para regiões não suaves do mapa, esquemas de diferenças finitas de alta ordem para as regiões suaves e um esquema lifting foi introduzido como medida de suavidade, na determinação das regiões suaves ou não.

Para a evolução temporal escolheu-se o método de Runge-Kutta TVD (Valor Total Decrescente) de terceira ordem. As implementações estão em fase de aprimoramento (ambiente MATLAB 2014). Com base no estudo feito em [3], a ideia é que se considere como condição inicial um mapa de risco de dengue no domínio. Para se obter tal mapa, calculamos o risco relativo, a partir das informações dos boletins epidemiológicos.

As primeiras implementações computacionais mostram que o risco de dengue, sem uma intervenção drástica na diminuição da infestação larvária, cresce de modo alarmante. Os próximos passos são obter formas de melhor avaliar os parâmetros e investigar medidas de controle da infestação larvária no sistema, para analisar a evolução do risco.

Referências

- [1] L. C. Barros, R. C. Bassanezi, *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*, UNICAMP-IMECC, Campinas, 2010.
- [2] BRASIL, *Boletim Epidemiológico*, v. 47, no. 6, 2016.
- [3] G. P. Silveira, L. C. Barros, Analysis of the dengue risk by means of a Takagi-Sugeno-style model, *Fuzzy Sets and Systems*, 2015. DOI: 10.1016/j.fss.2015.03.003.
- [4] SOROCABA, *Boletim Epidemiológico*, v.3, no. 14, 2015.
- [5] SOROCABA, *Boletim Epidemiológico*, v. 2, no. 24, 2014.