



Estudo teórico dos filtros Bayesianos SIR(Sampling Importance Resample) e ASIR(Auxiliary Sampling Importance Resample) com aplicação em dados de crescimento celular.

Yasmim Alves Galvão¹, Dr. José Mir Justino da Costa.²

¹Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Estatística, Av. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 6200, Coroado I, 69080-900, Manaus AM, Brasil.

* yasmimgalvao0411@gmail.com

Palavras-Chave: Filtro de partículas, SIR, ASIR, Crescimento celular

Introdução

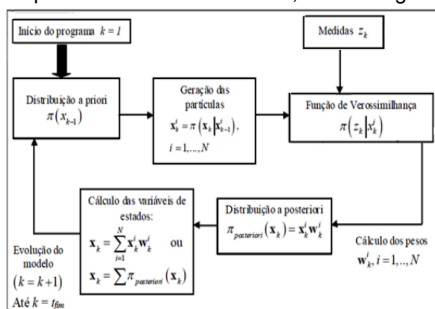
O câncer é um dos principais problemas de saúde no Brasil, com cerca de **704 mil novos casos anuais (2023-2025, INCA)**, concentrados sobretudo nas regiões Sul e Sudeste. Os tipos mais incidentes são pele não melanoma, mama, próstata, cólon e reto, pulmão e estômago.

Os números evidenciam a importância de compreender o crescimento de células cancerígenas e desenvolver ferramentas de análise capazes de identificar padrões e realizar previsões. Modelos matemáticos como o **exponencial, logístico e Gompertz** são usados para descrever o crescimento tumoral, mas possuem limitações, como ajustes inadequados para alguns tipos de câncer, baixa robustez diante de ruídos entre outros tipos de limitações.

Para superar essas restrições, destacam-se os **filtros de partículas SIR (Sampling Importance Resampling) e ASIR (Auxiliary Sampling Importance Resampling)**, que são capazes de lidar com dinâmicas não lineares e fornecer **estimativas mais robustas**. Este estudo realiza uma análise teórica e prática desses filtros em dados simulados e reais de crescimento celular, comparando o desempenho por meio de RMSE, AIC e BIC. Para o Modelo de evolução foi considerado o Modelo Logístico Generalizado e a estimativas obtidas via filtro SIR e ASIR foram consideradas bastante satisfatórias, com base nas métricas adotadas. Observou-se também que o aumento do número de partículas conferiu melhor ajuste entre dados medidos e estimados.

Material e Métodos

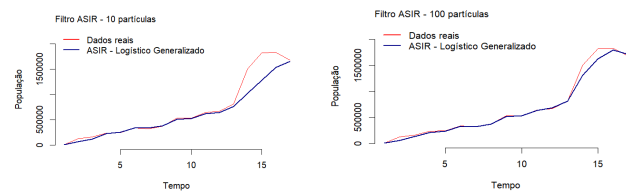
1. Foi realizada a aplicação do filtro SIR e ASIR em dados reais de crescimento celular, ao qual foram retirados da tese de doutorado que fala sobre o problema de estimativa de estado e de estimativa simultânea de modelos e parâmetros em crescimento de tumores. Os dados foram coletados a partir de ensaios de proliferação celular realizados in vitro com duas linhagens celulares: DU-145, que são as células de próstata e RAW 264.7 de macrófagos. As quantificações foram feitas por ensaios colorimétricos MTT, que mede a atividade metabólica da célula, os resultados foram quantificados em números estimados de células.
2. O Modelo Logístico Generalizado usado como modelo de evolução foi: $dN/dT = (\alpha/\gamma)N(1 - (N/K))^\theta$
3. Os passos do filtro SIR e ASIR, são os seguinte:



Resultados e Discussão

Os filtros foram aplicados em dados simulados e reais com diferentes números de partículas (10,50,100,500,1000). Para ambos os tipos de dados, os dois filtros mostraram um ótimo desempenho, mas o filtro ASIR combinado com o logístico generalizado como modelo de evolução, se sobressaiu com boas estimativas utilizando poucas partículas e também baixo RMSE, AIC e BIC comparado ao filtro SIR.

Resultados do filtro ASIR para 10 e 100 partículas:



Conclusões

O estudo se mostrou eficaz para mostrar o desempenho dos filtros SIR e ASIR para modelar o crescimento celular, permitindo estimar estados latentes em sistemas dinâmicos.

Ambos apresentaram bom desempenho, mas o ASIR mostrou-se superior, mostrando maior precisão e estabilidade. A combinação com o modelo logístico generalizado resultou nas melhores estimativas, representando de forma mais fiel o comportamento complexo das células.

Os resultados reforçaram o potencial dos métodos bayesianos para abordar temas de previsão e análise de fenômenos biológicos complexos.

Agradecimentos

CNPQ pelo suporte financeiro e ao professor José Mir e minha família pelo apoio.

Referências

- [1] da Costa, J. M. J. (2015). Problema de Estimativa de Estado e de Estimativa Simultânea de Modelos e Parâmetros em Crescimento de Tumores. PhD thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [2] Ristic, B., Arulampalam, S., e Gordon, N. (2003). Beyond the Kalman filter: Particle filters for tracking applications. Artech house.
- [3] de Oliveira Santos, M., de Lima, F. C. d. S., Martins, L. F. L., Oliveira, J. F. P., de Almeida, L. M., e de Camargo Cancela, M.(2023).
- [4] Estimativa de incidência de câncer no Brasil, 2023-2025. Revista Brasileira de Cancerologia, 69(1).

