

Efeitos da mobilidade humana em modelos epidêmicos de doenças transmitidas por vetores

Victor de Castro Arthuso, Wesley Cota

Departamento de Física – Universidade Federal de Viçosa (UFV)

ODS 3 – Saúde e Bem-Estar Pesquisa

Introdução

A dengue é a arbovirose aguda com maior incidência no mundo; entre 2014 e 2023, 6.190 mortes foram causadas por ela no Brasil, e há evidências de que a mobilidade geográfica humana influencia significativamente sua propagação. Aqui, o modelo epidemiológico compartimental SIR-SI é utilizado para simulações da dinâmica de transmissão da dengue, para se observar o efeito da mobilidade humana. O estudo é realizado através de simulações em metapopulações sintéticas, e o sistema é tratado como uma rede complexa, composta por espaços geográficos, em que os vértices representam diferentes núcleos desses espaços e as arestas o fluxo de humanos entre um espaço e outro. Observa-se assim a dinâmica de transmissão com base em fatores climáticos e na população de vetores de cada local, assim como na proporção de pessoas que se movem entre eles. Para as simulações, são utilizados métodos desenvolvidos na linguagem de programação Fortran, e foram feitas, até o momento, simulações em redes compostas de duas regiões e de regiões distribuídas em um “grafo estrela”.

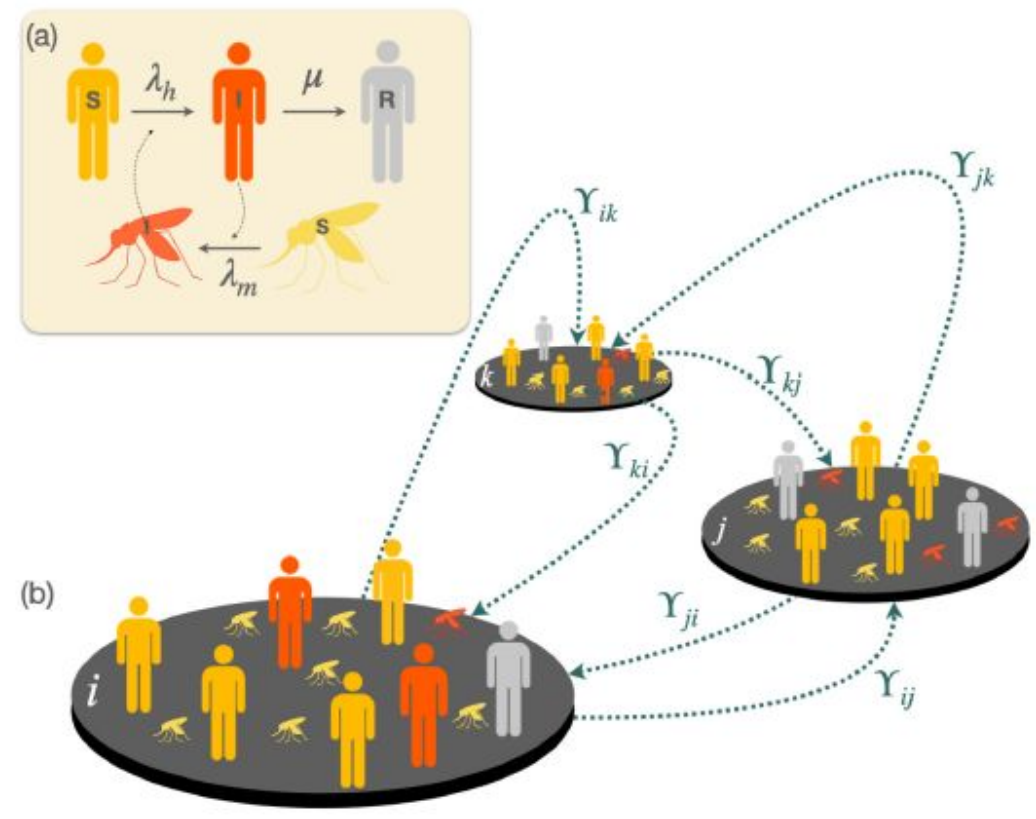


Figura 1 - Representação gráfica do modelo SIR-SI [1].

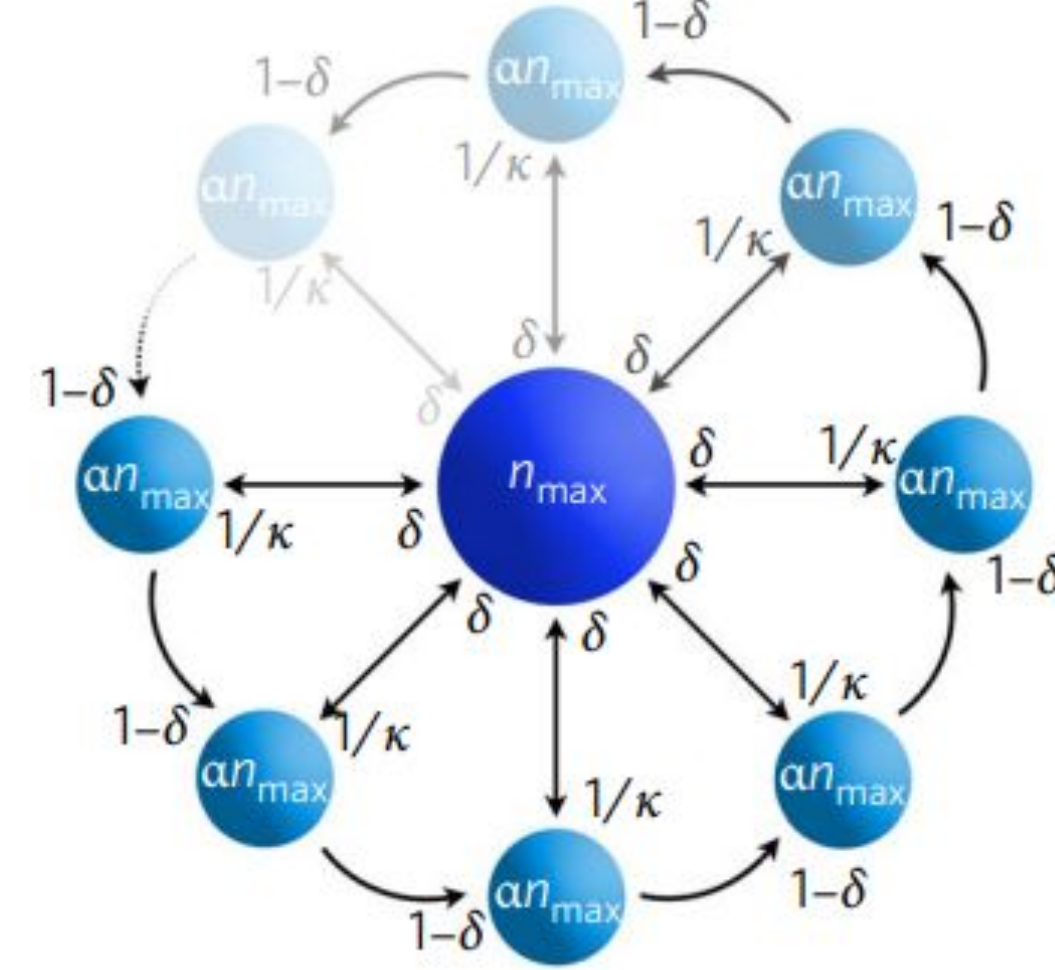


Figura 2 - Representação de uma rede em formato de “grafo estrela” [2].

Objetivos

O trabalho tem como objetivo o estudo do impacto da mobilidade em modelos de epidemias transmitidas por vetores em redes sintéticas, com perspectiva de aplicação em dados reais do Brasil.

Metodologia

Modelagem Compartimental SIR-SI

$$\begin{aligned} \dot{S}_m^i &= \Lambda_m^i - \frac{\beta^i \lambda_m^i I_{he}^i}{N_{he}^i} S_m^i - \delta_m^i S_m^i \\ \dot{I}_m^i &= \frac{\beta^i \lambda_m^i I_{he}^i}{N_{he}^i} S_m^i - \delta_m^i I_m^i \\ \dot{S}_h^i &= \Lambda_h^i - S_h^i \sum_{j=1}^n \beta^j \lambda_h^j \gamma_{ij} \frac{I_m^j}{N_{he}^j} - \delta_h^i S_h^i \\ \dot{I}_h^i &= S_h^i \sum_{j=1}^n \beta^j \lambda_h^j \gamma_{ij} \frac{I_m^j}{N_{he}^j} - (\mu + \delta_h^i) I_h^i \\ \dot{R}_h^i &= \mu I_h^i - \delta_h^i R_h^i \end{aligned}$$

Parâmetros do Modelo

Parâmetro	Descrição
β	Taxa média de picadas por unidade de tempo do mosquito.
λ_h	Probabilidade de transmissão de mosquitos infectados para humanos suscetíveis por picada.
λ_m	Probabilidade de transmissão de humanos infectados para mosquitos suscetíveis por picada.
δ_m	Taxa de mortalidade natural dos mosquitos.
μ	Taxa de recuperação dos humanos.
δ_h	Taxa de mortalidade natural dos humanos.
Λ_m	Taxa de recrutamento de mosquitos suscetíveis.
Λ_h	Taxa de recrutamento de humanos suscetíveis.

Parâmetros de Mobilidade

$$\begin{aligned} N_{he}^i &= \sum_{j=1}^n \gamma_{ji} N_h^j \\ I_{he}^i &= \sum_{j=1}^n \gamma_{ji} I_h^j \end{aligned} \quad \gamma_{ij} = \begin{cases} p \frac{W_{ij}}{\sum_{l \neq i} W_{il}}, & i \neq j \\ 1 - p, & i = j \end{cases}$$

Apoio Financeiro



Resultados

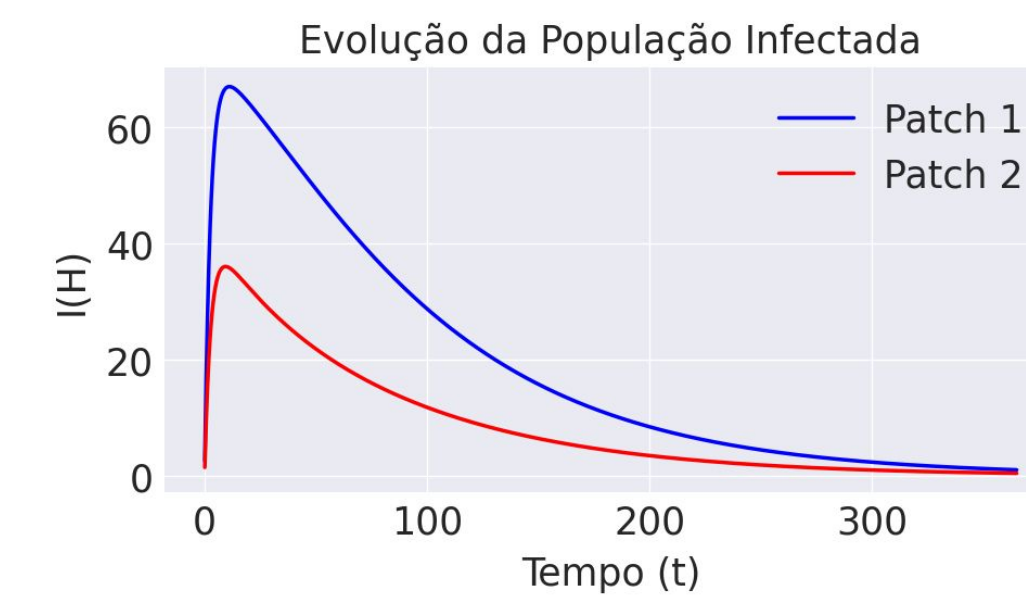


Figura 3 - Número de infectados em função do tempo, em um cenário de dois patches com percentagem de deslocamento $p = 0.1$ em ambos.

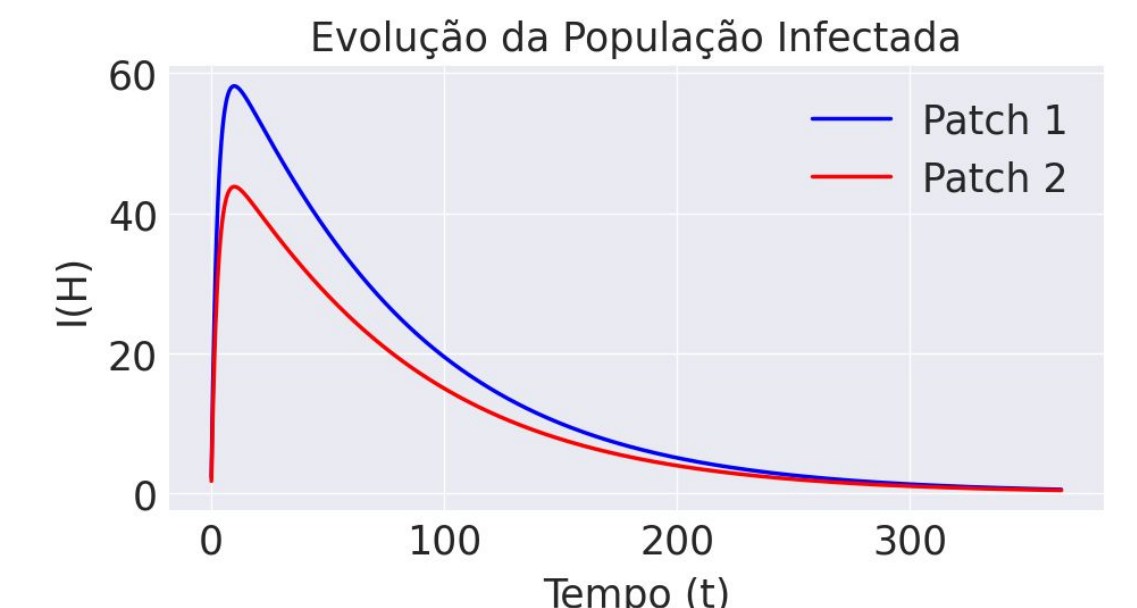


Figura 4 - Número de infectados em função do tempo, em um cenário de dois patches com percentagem de deslocamento $p = 0.3$ em ambos.

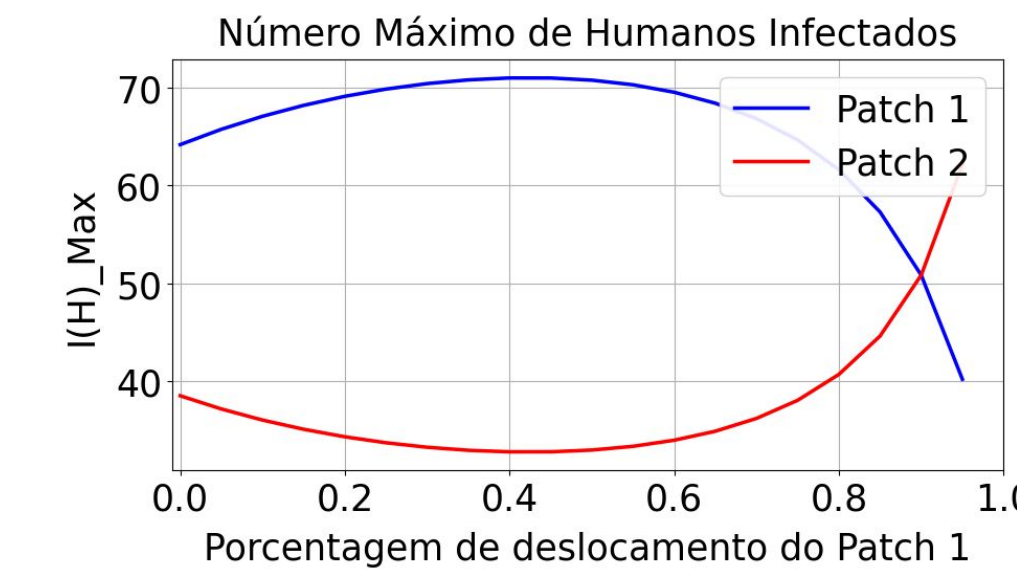


Figura 5 - Número máximo de infectados em função da percentagem de deslocamento p da região 1, em um cenário de dois patches.

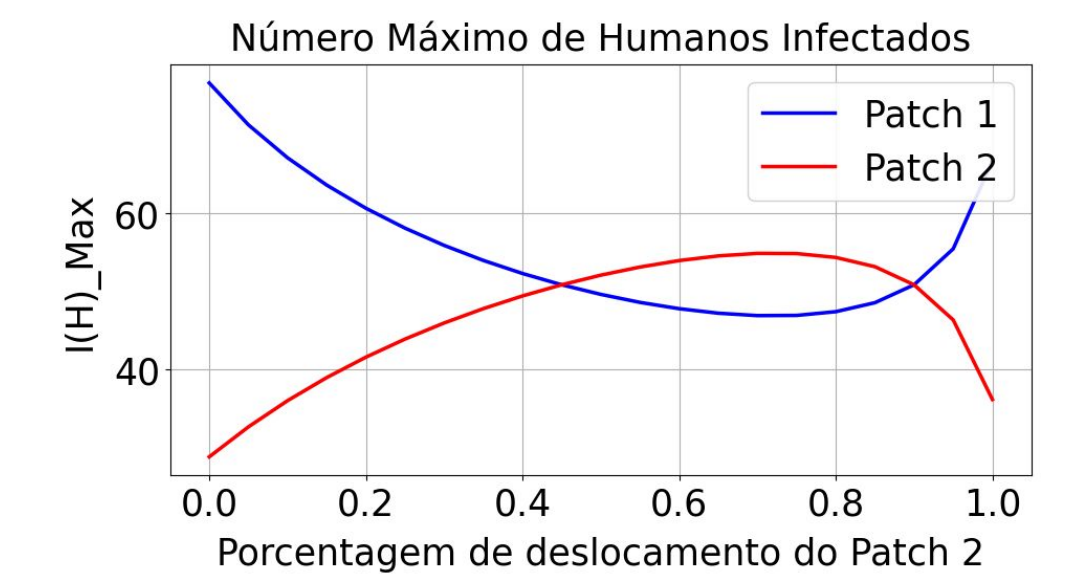


Figura 6 - Número máximo de infectados em função da percentagem de deslocamento p da região 2, em um cenário de dois patches.

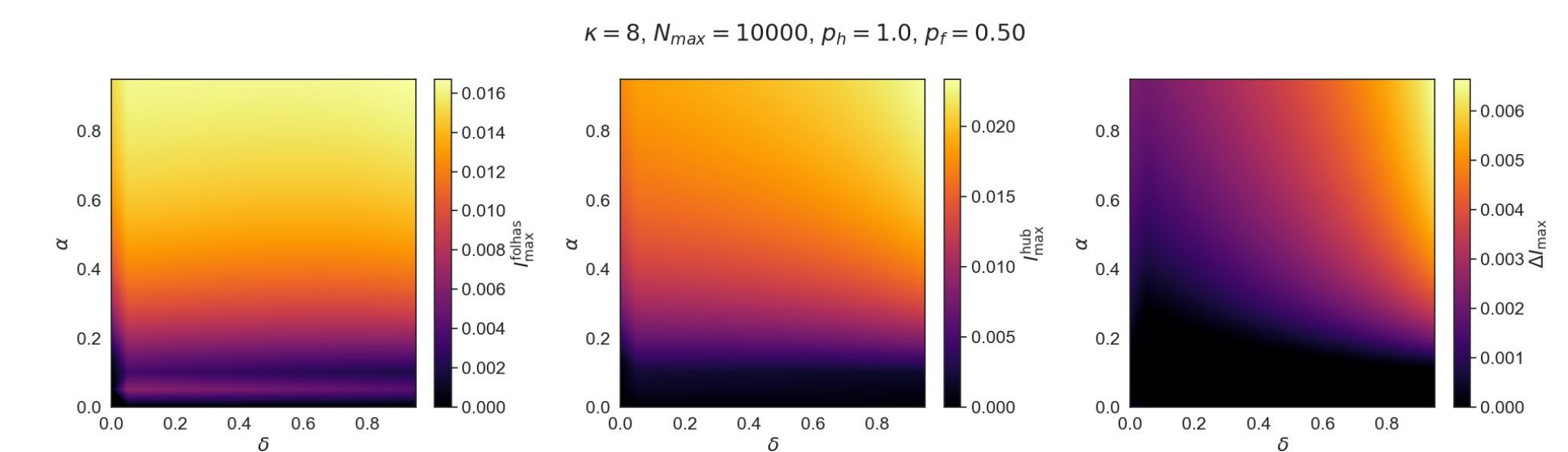


Figura 7 - Número máximo de infectados em função de α (assimetria nas populações) e σ (grau de mobilidade das folhas), em um cenário de grafo estrela com mobilidade máxima no hub e média nas folhas.

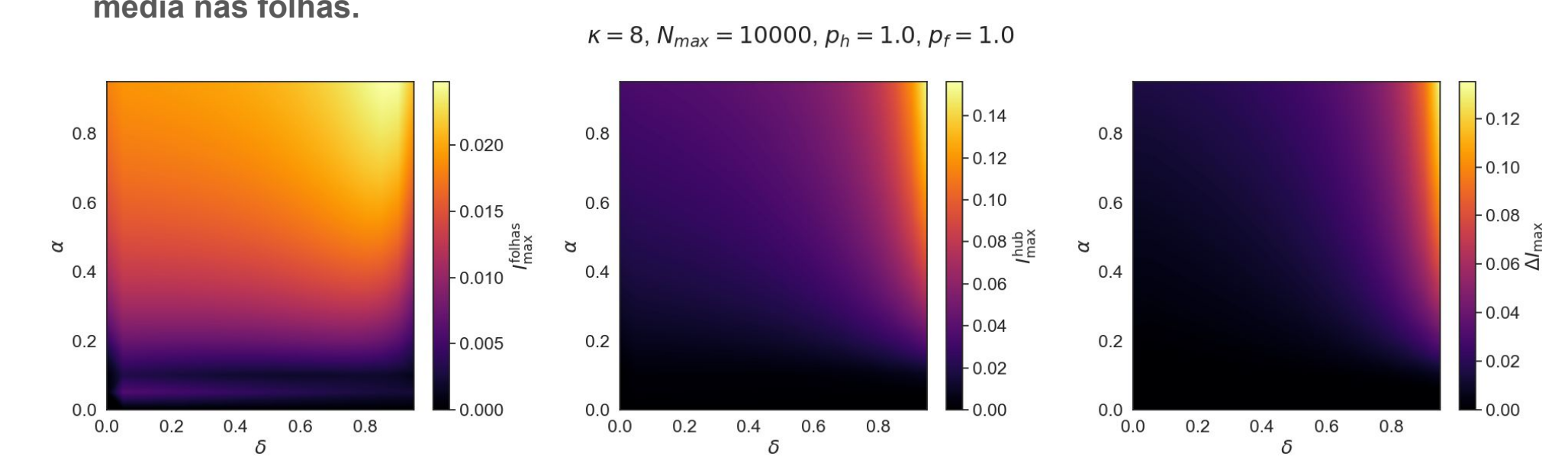


Figura 8 - Número máximo de infectados em função de α (assimetria nas populações) e σ (grau de mobilidade das folhas), em um cenário de grafo estrela com mobilidade máxima no hub e nas folhas.

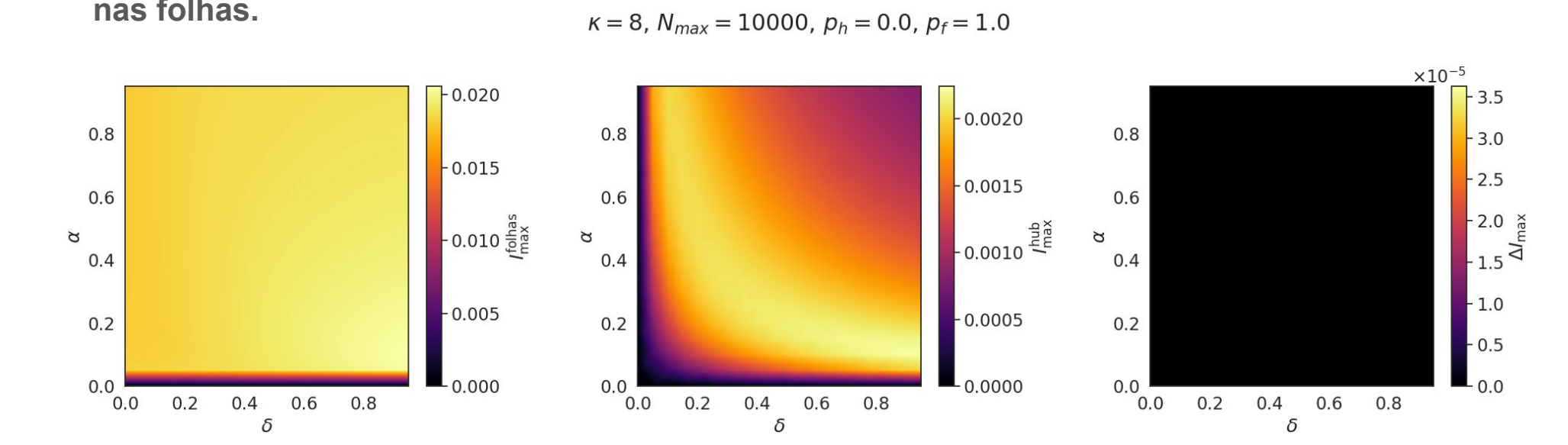


Figura 9 - Número máximo de infectados em função de α (assimetria nas populações) e σ (grau de mobilidade das folhas), em um cenário de grafo estrela com mobilidade máxima nas folhas e nula no hub.

Conclusões

- Foi possível analisar e evidenciar o efeito de grandezas como temperatura e proporção de vetores por habitante no modelo SIR-SI.
- Foi observado que o aumento da temperatura impulsiona a proliferação das infecções, assim como o aumento da taxa de vetores por habitante.
- Tanto nas metapopulações compostas de 2 patches, quanto nas organizações em grafo estrela, foi observado que o aumento dos parâmetros citados tem efeito também na proliferação da doença de um patch para o outro, evidenciando o efeito da mobilidade humana na dinâmica de transmissão.

Bibliografia

- [1] OSPINA-AGUIRRE, C.; SORIANO-PAÑOS, D.; OLIVAR-TOST, G.; GALINDO-GONZÁLEZ, C. C.; GÓMEZ-GARDEÑES, J. Effects of human mobility on the spread of dengue in the region of caldas, colombia. PLOS Neglected Tropical Diseases, v. 17, n. 11, p. e0011087, 2023.
- [2] GÓMEZ-GARDEÑES, J.; SORIANO-PAÑOS, D.; ARENAS, A. Critical regimes driven by recurrent mobility patterns of reaction–diffusion processes in networks. **Nature Physics**, v. 14, n. 4, p. 391-395, 2018.