

Modelação da distribuição global do *Aedes aegypti*

César Capinha^(a), Jorge Rocha^(b), Carla Sousa^(c)

^(a) Centro de Biologia Ambiental, Universidade de Lisboa, cesarcapinha@outlook.com

^(b) Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, jorge.rocha@campus.ul.pt

^(c) Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa, CASousa@ihmt.unl.pt

Resumo

O *Aedes aegypti* é o principal vetor da dengue em todo o mundo. Por causa da natureza doméstica deste mosquito, a importância relativa do Macroclima na modelação da sua distribuição tem sido um assunto controverso. Neste trabalho capturaram-se as condições macroclimáticas dos locais ocupados pelo *A. aegypti* no século passado e avaliou se a capacidade desta informação para prever a distribuição observada da espécie. Também foi projetada a distribuição futura da espécie (2010-2039) sob dois cenários de mudança climática. Os resultados indicam que o macroclima é em grande parte responsável pela definição do limite de alcance máximo do *A. Aegypti*, e continuará a ser no futuro. Paralelamente, muita da variedade da espécie em regiões temperadas e subtropicais é sustentada pelos ambientes artificiais. Globalmente, estas análises sugerem que, se os ambientes domésticos normalmente explorados por esta espécie estiverem disponíveis, a sua distribuição pode expandir-se consideravelmente num futuro próximo.

Palavras chave: *Aedes aegypti*, dengue, mudanças climáticas, vetores urbanos, distribuição global

1. Introdução

O *Aedes aegypti* (L.) é o principal vetor da febre-amarela, dengue, e de inúmeros outros arbovírus. Acreditando-se ser originalmente da África Ocidental, este mosquito tem-se dispersado devido à ação humana desde o século XV. Desde então, invadiu a maioria das regiões tropicais, subtropicais e temperadas suaves do planeta (Lounibos, 2010). A escassez de água e os extremos térmicos são restrições conhecidas ao seu estabelecimento, originando preocupações face ao facto das futuras alterações climáticas poderem alterar a sua distribuição e das doenças associadas (Padmanabha *et al.*, 2010; Lozano-Fuentes *et al.*, 2012).

Devido à importância médica do *Ae aegypti*, alguns estudos anteriores tentaram prever a sua distribuição observada ou potencial em virtude de condições futuras (Beebe *et al.*, 2009; Kearney *et al.*, 2009). Estas previsões, visam principalmente informar os decisores sobre novas áreas sob risco de doença arboviral, permitindo assim uma adotar oportunamente medidas preventivas. Duas abordagens podem ser adotadas: (1) modelos baseados na fisiologia e (2) modelos correlativos (Buckley *et al.*, 2010; Kearney *et al.*, 2010).

Como as duas abordagens têm limitações, há um crescente reconhecimento de que uma melhor consistência preditiva é alcançada analisando ambos os modelos (Buckley *et al.*, 2010; Kearney *et al.*, 2010).

2. Objectivos

A maioria dos estudos anteriores que tentam explicitamente prever a distribuição potencial de *Ae aegypti*, está confinada às escalas regionais (Beebe *et al.*, 2009; Kearney *et al.*, 2009). Até à data, os modelos correlativos do

Ae aegypti à escala global, permanecem ausentes. Por conseguinte, é nosso objetivo fornecer aqui tal avaliação. Usámos *alpha-shapes* para delimitar as condições climáticas em todo o mundo ocupadas por *Ae aegypti*, com base na sua distribuição conhecida de 1901 a 2000 – que retrata fidedignamente os seus limiares de distribuição.

Complementarmente, também foi avaliado como a aptidão climática global para este mosquito pode mudar no futuro próximo (2010-2039) face a dois cenários do clima futuro. Usando uma linha independente de pesquisa, esperamos que os nossos resultados vão complementar anteriores predições de base fisiológica relativamente: 1) à importância relativa do Macroclima na modelação da distribuição global do *Ae aegypti* e 2) ao impacto das alterações climáticas globais na sua distribuição potencial futura.

3. Metodologia

Compilámos um conjunto de dados de registos de ocorrência de *Aedes aegypti* no mundo a partir de um grande número de fontes, incluindo o *Global Biodiversity Information Facility* e trabalhos científicos. Só mantivemos as ocorrências referindo-se a existência de populações viáveis de 1901 a 2000. Foi avaliada a viabilidade de populações ou diretamente – i.e. a partir da fonte – ou deduzida de outros trabalhos descrevendo a distribuição regional da espécie. Todos os registos, consistindo apenas em nomes de lugares, foram traduzidos para coordenadas geográficas usando o *Google Earth*.

Usámos sete variáveis climáticas para caracterizar o clima global. Estas representam temperaturas sazonais e extremas (temperatura média do trimestre mais quente, temperatura média do trimestre mais frio, temperatura máxima do mês mais quente e temperatura mínima do mês mais frio) e disponibilidade de água (precipitação anual, precipitação do trimestre mais chuvoso e precipitação do trimestre mais seco). Extraímos estes dados da base de dados *Worldclim* para o período 1950-2000 (Hijmans *et al.*, 2005).

Nos últimos anos, têm sido aplicadas várias técnicas de delimitação dos climas ocupados com base em dados de distribuição de espécies. Neste estudo, utilizamos *alpha-shapes* (Edelsbrunner & Mücke, 1994), um método que tem sido aplicado com sucesso em problemas de delimitação de fronteiras (Albou *et al.*, 2009).

Usámos este método para projetar o envelope macroclimático do *Ae aegypti* no espaço geográfico. Para o efeito, projetámos inicialmente todas as combinações climáticas existentes de 1901 a 2000 no espaço tridimensional da *alpha-shape* (envelope macroclimático). Qualquer área tendo uma combinação climática incidente na *alpha-shape* foi classificada como estando dentro do envelope macroclimático da espécie. Todas as outras áreas foram classificadas como estando fora. Também realizámos esta classificação para cada cenário climático futuro (A2a e B2b).

4. Resultados

Avaliámos o desempenho de nossa abordagem preditiva usando 221 registros não correlacionados espacialmente, correspondendo a presenças ($n = 133$) e ausências ($n = 88$) da espécie em cidades do continente americano (Figura 1). Quando comparado com esses dados, o nosso modelo mostrou uma capacidade preditiva marginalmente boa ($TSS = 0,61$).

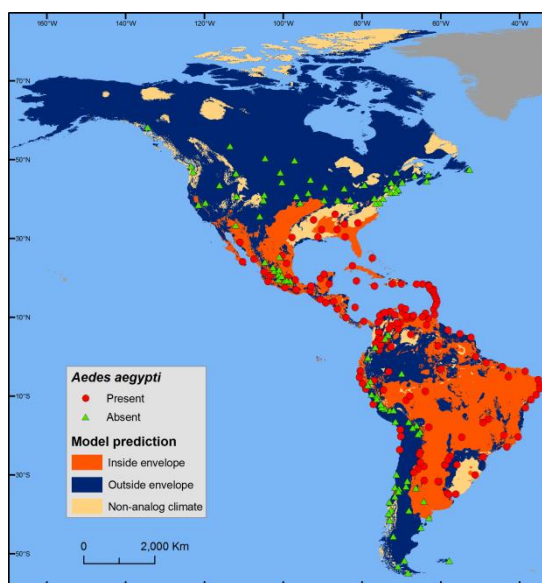


Figura 1 – Amostra de validação dos resultados

Em geral, os macroclimas por nós aferidos para o *Ae aegypti* concordam bem com a sua distribuição observada durante o século passado. As condições climáticas encontradas a latitudes superiores a $N \approx 45^\circ$ ou $S \approx 35^\circ$ permanecem quase unanimidade desocupadas pela espécie (Figura 2). Abaixo desses extremos, a espécie abrangeu principalmente combinações climáticas típicas de áreas tropicais, mas também climas quentes temperados, como os encontrados no Sudoeste e Sudeste dos Estados Unidos, Uruguai, Nordeste da Argentina, Bacia do Mediterrâneo, Norte da Índia, e China e Austrália Orientais.

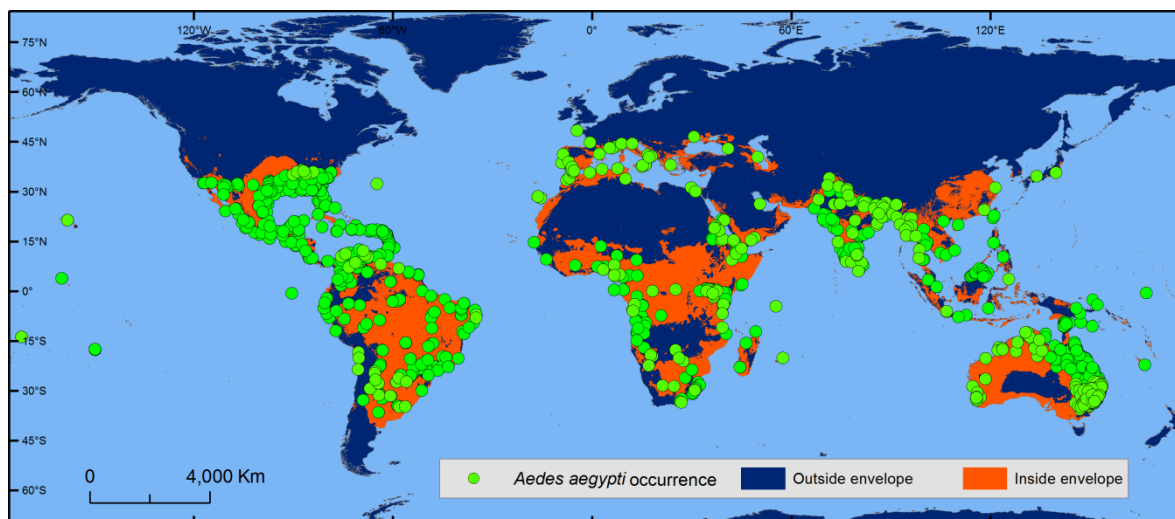


Figura 2 – Modelo da situação actual

Também é de notar a inclusão de alguns macroclimas semiáridos a áridos dentro do envelope da espécie. Estes têm correspondência geográfica principalmente na Austrália e a Península da Somália, bem como nas zonas costeiras da Península Arábica e no Paquistão. No entanto, a maioria dos climas áridos quentes permanecem desocupados (e.g. os desertos do Saara, Árábico, Kalahari e Thar e o interior da Austrália), bem como os climas de altitudes mais elevadas (e.g. cadeias de montanhas do México, América Central e do Sul, África do Sul ou Nova Guiné).

Independentemente do cenário de clima futuro, para o período 2010-2039, o envelope macroclimático da espécie vai abranger novas áreas relativamente amplas (Figuras 3 e 4). No hemisfério Norte, estas áreas concentram-se em grande parte nas regiões europeias e Norte-central e Nordeste dos Estados Unidos, entre $N \approx 36^\circ$ a $N \approx 48^\circ$, enquanto no hemisfério Sul, em geral, prevê-se que emergam entre $S \approx 12^\circ$ e $S \approx 36^\circ$, abrangendo grandes regiões no Oeste da África do Sul e Austrália Central. Também é perceptível uma alta variabilidade em relação à altitude na qual essas novas áreas vão surgir. Apesar de poderem ser encontradas algumas diferenças entre os dois cenários climáticos futuros, a maioria das novas ocorrências em áreas de altitude elevada (≥ 1000 metros) irão presumivelmente situar-se entre $S \approx 9^\circ$ a $S \approx 21^\circ$ e $N \approx 6^\circ$ a $N \approx 9^\circ$ e no paralelo $N \approx 33^\circ$. Por outro lado, nos extremos latitudinais são previstas ocorrências exclusivamente a baixas altitudes.

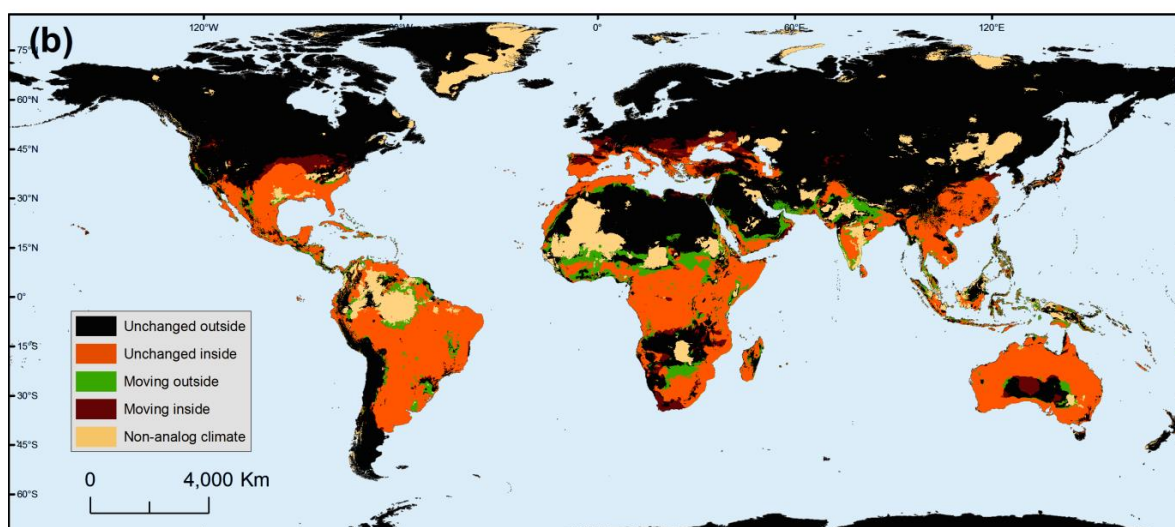


Figura 3 – Envelope macroclimático no cenário climático futuro (B2b)

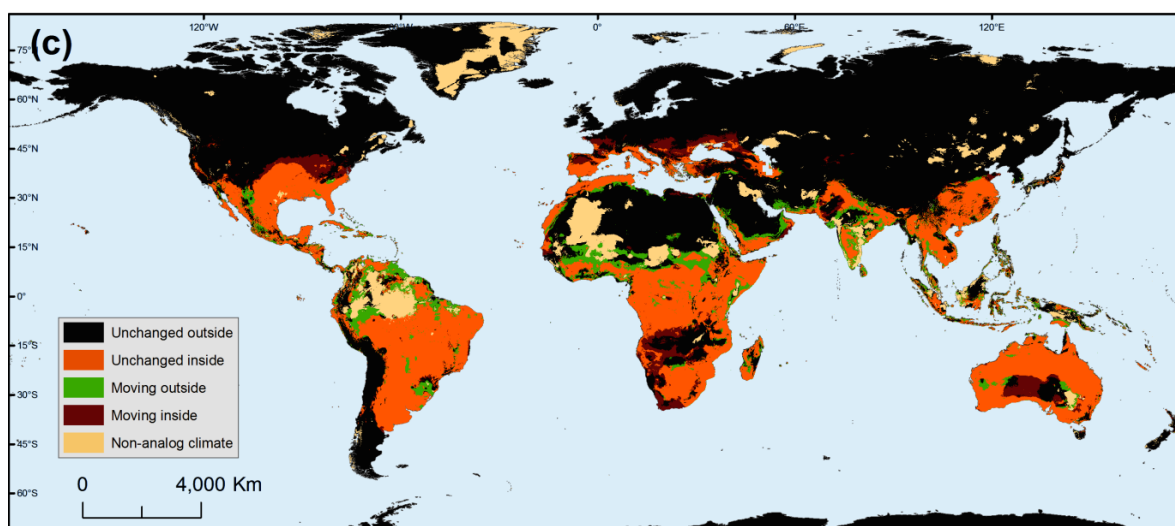


Figura 4 – Envelope macroclimático no cenário climático futuro (A2a)

As áreas atualmente englobadas pelo envelope macroclimático da espécie também deverão acolher climas não análogos num futuro próximo. Estas áreas são esperadas principalmente no Norte da América do Sul, na Península Indiana, Indonésia e no Noroeste do Golfo do México. Finalmente, também se espera que áreas englobadas no envelope passem a ter macroclimas atualmente não ocupados. Estas áreas estarão presumivelmente localizadas nas margens das regiões áridas quentes como os desertos do Saara, Árábico ou do Thar, bem como na contiguidade da maioria das áreas onde ocorrem novas condições climáticas.

5. Conclusões

Apesar de múltiplos fatores interagirem na modelação da distribuição global do *Ae aegypti*, os nossos resultados mostram que o macroclima sozinho é responsável pela delimitação da sua distribuição. Uma análise conjunta dos macroclimas adequados previstos pela nossa aproximação conjunta do modelo correlativo e do baseado em fisiologia, também indica que grande parte da expansão da espécie fora dos climas tropicais é sustentada por fatores humanos facilitadores. Isso realça a vulnerabilidade natural do *Ae aegypti* como um aspeto a considerar em programas de controlo deste vetor. No entanto, esta grande dependência humana, dificulta a nossa capacidade de prever como responderá o *Ae aegypti* às novas condições macroclimáticas. Nas próximas décadas, prevê-se que relativamente largas extensões do globo sofrerão grandes mudanças nas condições macroclimáticas, daquelas em que é sabido que a espécie não se adapta para aquelas que se sabe que sim e vice-versa. Na maioria destas áreas, uma resposta de sucesso ou insucesso das espécies dependerá em grande parte a correlação espacial entre os constrangimentos climáticos impostos e as vantagens providenciadas pelo Homem.

6. Bibliografia

- Albou, L.; Schwarz, B.; Poch, O. (2009) Defining and characterizing protein surface using alpha shapes. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics* 76:1-12.
- Beebe, N.; Cooper, R.; Mottram, P. (2009) Australia's dengue risk driven by human adaptation to climate change. *PLoS neglected tropical diseases* 3:e429
- Buckley, L.; Urban, M.; Angilletta, M. (2010) Can mechanism inform species' distribution models? *Ecology Letters* 13:1041-1054
- Edelsbrunner, H.; Mücke, E. (1994) Three-dimensional alpha shapes. *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 13:43-72
- Hijmans, R.; Cameron, S.; Parra, J. (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965-1978
- Kearney, M.; Porter, W.; Williams, C. (2009) Integrating biophysical models and evolutionary theory to predict climatic impacts on species' ranges: the dengue mosquito *Aedes aegypti* in Australia. *Functional Ecology* 23:528-538
- Kearney, M.; Wintle, B.; Porter, W. (2010) Correlative and mechanistic models of species distribution provide congruent forecasts under climate change. *Conservation Letters* 3:203-213
- Lounibos, L. (2010) Human disease vectors. In: Simberloff D and Rejmanek M (eds) *Encyclopedia of biological invasions*. University of California Press, London, pp. 150-154
- Lozano-Fuentes, S.; Hayden, M.; Welsh-Rodriguez, C. (2012) The Dengue Virus Mosquito Vector *Aedes aegypti* at High Elevation in México. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 87:902-909
- Padmanabha, H.; Soto, E.; Mosquera, M. (2010) Ecological Links Between Water Storage Behaviors and *Aedes aegypti* Production: Implications for Dengue Vector Control in Variable Climates. *EcoHealth* 7:78-90