



FABIO CHALUB
Universidade
Nova de Lisboa
chalub@fct.unl.pt

UMA EPIDEMIA DE HUMANOS

Uma característica fundamental da matemática é ser uma linguagem universal. Rapidamente podemos mudar o problema sem alterar em substância as técnicas utilizadas. Inspirados por um modelo da epidemiologia, uma equipa de dois antropólogos, um geólogo e um ecólogo modelou a expansão polinésia, um lento processo migratório entre ilhas e arquipélagos no Pacífico Sul. As conclusões não poderiam ser mais surpreendentes.

Talvez seja o lugar mais bonito do mundo. Uma vasta extensão de mares, pontuada por milhares de pequenas ilhas. Algumas, efetivamente, não tão pequenas (como o Hawaii), mas muitas de apenas alguns quilómetros quadrados, ocupadas há milhares de anos por um povo resiliente, habituado a sobreviver em condições duríssimas. Não houve europeu que, ao vê-los pela primeira vez não se tenha surpreendido com as suas incríveis capacidades de navegação.

Em pequenas canoas, usando como referência as estrelas, os ventos, as correntes, os locais de concentração de certas espécies animais, os polinésios eram capazes de viajar durante dias em simples canoas. Levavam com eles apenas alimentos não perecíveis (como o taro) e bens comercializáveis, estabelecendo desta forma relações comerciais duradouras entre ilhas que distam milhares de quilómetros entre si. Os povos dos mares do sul compensavam as dificuldades óbvias em se guiar em oceano aberto, com poucas referências imóveis, com uma longa e consistente tradição oral, em que os mais velhos ensinavam aos mais novos como chegar aos diversos pontos de interesse. Esta informação, inclusive, era considerada um segredo e não era passada livremente.

De qualquer forma, um dia foi necessário navegar sem acesso a esta informação. Isto deu-se durante o processo de colonização – que se acredita ter começado há cerca de 3000 anos, apesar de este número estar recheado de

incertezas – do ocidente para o oriente, chegando a sensivelmente todas as ilhas disponíveis cerca de 2000 anos depois. A tecnologia de construção de canoas para longas travessias estabilizou-se durante este período, como mostra o recente achado da Anaweka Waka. *Waka* significa canoa, enquanto Anaweka é uma referência ao sítio arqueológico onde foi encontrada, na Nova Zelândia. Esta data do período final da expansão polinésia e era tecnologicamente equivalente às canoas usadas aquando dos primeiros contactos com os europeus, cerca de 500 anos depois. Veja a figura 1 para um esquema da expansão austronésia (que inclui a região da Polinésia, como ocupação mais recente) e a figura 2, para o exemplo de transporte usado pelo polinésios durante milhares de anos.

A partir da análise da cultura, incluindo de forma muito importante uma análise das diversas línguas faladas na região, infere-se a existência de um processo migratório lento e constante (não de uma substituição de um povo por outro, em sucessivas vagas migratórias). Apesar de estas análises fornecerem uma razoável ideia da ordem de ocupação dos diversos arquipélagos e ilhas, não explicam quais os critérios usados pelos antigos para decidir o próximo ponto de ocupação. Como decidir para onde ir, se de uma ilha é impossível saber a localização da próxima?

É esta a questão que motiva o artigo [1], da autoria de dois antropólogos, um geólogo e um ecólogo. Para isto, inspiraram-se nos modelos matemáticos da epidemio-



Figura 1. Mapa da expansão dos povos austronésios, a partir da Ilha de Formosa (Taiwan), há cerca de 5000 anos. A Polinésia é a região mais à direita marcada no mapa. Fonte: Wikimedia Commons.

logia. Em particular, consideravam que os humanos são uma espécie de infecção incurável que pula de ilha para ilha segundo certos critérios. Desta forma, cada sítio do modelo pode estar no estado "Suscetível a colonização" ou "Colonizado", e dependendo de uma série de fatores, uma ilha colonizada pode infectar outra – como ocorre nas doenças incuráveis, em que a doença salta entre hospedeiros. Estes tipo de modelo é muito estudado e, portanto, apresentava várias facilidades para simulações computacionais e validação dos resultados numéricos quando comparado com dados arqueológicos.

A equação central para compreensão do modelo estabelece a probabilidade de uma certa ilha i ser *infectada* no tempo t :

$$\Pr(i, t) = 1 - \exp \left\{ -\Omega_S(i) - \sum_{j \in C(t)} (\Omega_G(j) + \kappa(i, j)) \right\},$$

onde $C(t)$ é o conjunto de ilhas colonizadas no instante t , $\Omega_S(i)$ quantifica todos os fatores que fazem a ilha i ser um local propício à colonização; $\Omega_G(j)$ sinaliza o

quanto os habitantes da ilha j querem *fugir* da mesma e finalmente $\kappa(i, j)$ é uma variável que relaciona as ilhas i e j (entre as quais, evidentemente, a distância). O aumento de cada uma destas variáveis implica no aumento da probabilidade de a ilha i vir a ser colonizada no próximo instante de tempo.

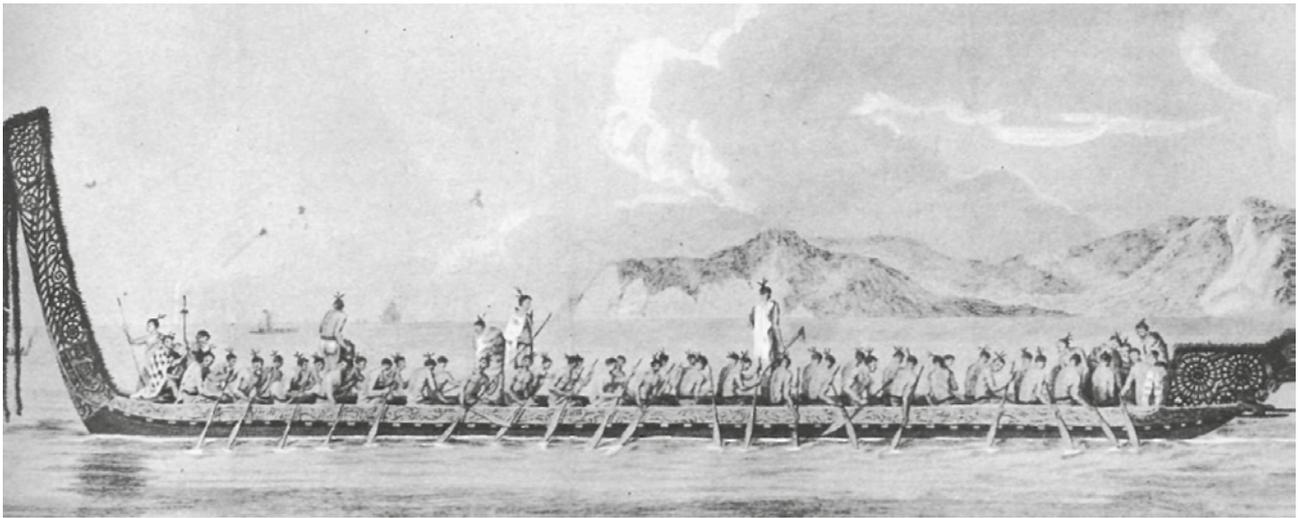
Desta forma, modelar matematicamente a dinâmica humana nesta parte do globo significa estabelecer expressões explícitas para cada um destes parâmetros; no entanto, a abordagem do artigo é diferente. A ideia é testar, contra os dados empíricos, as diversas hipóteses correntes no meio antropológico. Assim, para cada teoria em moda, escolhe-se um dos termos acima, com alguns parâmetros livres e tenta-se obter resultados aceitáveis – para quem conhece, uma abordagem típica dos "problemas inversos", em que sabemos a solução mas desconhecemos os detalhes do modelo.

A primeira possibilidade (que, na verdade, corresponde a duas hipóteses distintas) é considerar que a função \Pr definida acima depende apenas da distância ou do ângulo de marcação (a maior amplitude angular para, partindo de uma ilha em linha reta, ser capaz de avistar a ilha seguinte – isto depende, por exemplo, da elevação do objetivo, sendo distinta para uma vulcão ou um atol situados no mesmo local). Assim, consideraremos apenas o termo $\kappa(i, j)$, múltiplo das grandezas acima com um único parâmetro livre – exatamente a constante de proporcionalidade.

O segundo modelo estudado é similar do ponto de vista matemático, mas com uma diferença fulcral: pressupõe o que é chamado de "exploração segura". Este considera que o único termo não nulo é $\kappa(i, j)$, mas pressupõe a existência de uma direção privilegiada de migração, dada pelos ventos dominantes na região. Assim, há direções mais seguras e mais arriscadas para navegar rumo ao desconhecido. Como antes, aqui há apenas um parâmetro livre.

Uma terceira possibilidade é considerar que o ponto essencial para a compreensão dos modelos migratórios é estimar a capacidade da ilha de destino de receber novos migrantes; desta forma, o único termo não nulo é $\Omega_S(i)$. Explicitamente, considera-se o logaritmo da área disponível, a precipitação e a elevação, todos parâmetros fundamentais para uma produção agrícola que permita uma habitação perene. Estes coeficientes são colocados numa única fórmula, com dois parâmetros livres.

O último caso considerado pressupõe que o fator dominante na migração é a necessidade de fugir de onde se está. Desta forma, $\Omega_G(j)$ depende de dois fatores: a área útil da ilha – um evidente limitador do crescimento po-



pulacional – e o nível de organização hierárquica da sociedade local. Quanto maiores forem os níveis hierárquicos, maior será a probabilidade de uma subpopulação se sentir marginalizada e decidir emigrar. Por mais estranha que pareça esta hipótese, ela é – de acordo com os autores do artigo – bem sustentada na literatura antropológica. Novamente, temos dois parâmetros livres.

Agora, trata-se de realizar simulações na procura dos parâmetros que, em cada caso, mais aproximam os dados reais e que sejam robustos em relação à alteração da informação empírica – uma constante quando se estuda assuntos com tão poucos dados disponíveis, em que cada nova descoberta tem o potencial de mudar toda a nossa compreensão do assunto.

Ao fim e ao cabo, um dos modelos claramente se destaca em relação aos outros: os nativos sabiam – e bem! – o que estavam a fazer. Usavam não só a "exploração segura" como navegavam, na sua essência, contra os ventos. De facto, já dominavam as técnicas necessárias para tal tipo de navegação. O motivo pelo qual o faziam, conjeturam os autores, é incrivelmente simples: se a viagem não der em nada (ou seja, der em água), o retorno estava garantido. Só se deve navegar pelos ventos quando se tem uma razoável certeza de chegar a bom porto, pois o regresso torna-se essencialmente impossível.

Portanto, um mistério antigo pode começar a ser desvendado usando uma característica importante da modelação matemática: a capacidade de separar o essencial do acessório, o fulcro do detalhe. Os polinésios migraram de ilha em ilha, seguindo direções contrárias aos ventos dominantes em cada passo e assim conquistaram os mares do sul.

Figura 2: Exemplo de uma canoa Maori, a *waka*, tal como registado por um dos artistas da expedição de James Cook, o primeiro europeu moderno a contactar os polinésios. Fonte: New Zealand Electronic Text Collection, Universidade de Victoria, Nova Zelândia. <http://nzetc.victoria.ac.nz/etexts/Cen01-02Make/Cen01-02Make-P020a.jpg>.

REFERÊNCIAS

[1] Adrian V. Bell, Thomas E. Currie, Geoffrey Irwin, e Christopher Bradbury, "Driving Factors In The Colonization Of Oceania: Developing Island-Level Statistical Models To Test Competing Hypotheses". *American Antiquity* 80(2), 2015, pp. 397-407.