

# INTRODUÇÃO A MODELOS COMPARTIMENTAIS

Modelos Compartimentais em Epidemiologia e  
Inferência Bayesiana

Gustavo Libotte e Regina Almeida

02 de fevereiro de 2022

# O que são modelos matemáticos?



- ▶ Qualquer modelo pode ser normalmente pensado como uma **ferramenta conceitual** que explica como um objeto (ou sistema de objetos) se comportará.
- ▶ Em epidemiologia, os modelos nos permitem **traduzir o comportamento em várias escalas**, ou extrapolar de um conjunto conhecido de condições para outro.
- ▶ Os modelos nos permitem **prever** a dinâmica epidêmica em nível populacional a partir de um **conhecimento individual** de fatores epidemiológicos.
- ▶ Os modelos têm uma **variedade de formas**—desde modelos altamente complexos que (como aviões a jato) precisam de uma variedade de especialistas, até modelos simples que (como bicicletas) podem ser facilmente entendidos, modificados e adaptados.
- ▶ A decisão de “viajar de bicicleta ou avião” depende de **vários fatores**, como tempo, distância e custo.
- ▶ Da mesma forma, definir que tipo de modelo é o mais apropriado **depende** da precisão ou generalidade necessária, dos dados disponíveis e do período em que os resultados são necessários.

# O que são modelos matemáticos?



- ▶ Por definição, todos os modelos estão “*errados*”, no sentido de que mesmo os mais complexos farão algumas **suposições simplificadoras**.
- ▶ É, portanto, difícil expressar definitivamente qual modelo é “certo”, embora naturalmente estejamos interessados em desenvolver modelos que capturem as **características essenciais** de um sistema.
- ▶ A formulação de um modelo para um problema específico é uma troca entre três elementos importantes e muitas vezes conflitantes: **precisão, transparência e flexibilidade**.
- ▶ A **PRECISÃO**, a capacidade de **reproduzir** os dados observados e **prever** de forma confiável a dinâmica futura, é claramente vital, mas se um ajuste qualitativo ou quantitativo é necessário depende dos detalhes do problema.
- ▶ Um **ajuste qualitativo** pode ser suficiente para obter *insights* sobre a dinâmica de uma doença infecciosa, mas um bom **ajuste quantitativo** geralmente é necessário se o modelo for usado para aconselhar sobre futuras políticas de controle.

# O que são modelos matemáticos?



- ▶ A precisão *geralmente* melhora com o **aumento da complexidade** do modelo e a inclusão de mais heterogeneidades e detalhes biológicos relevantes.
- ▶ Claramente, a **viabilidade da complexidade** do modelo é comprometida pelo poder computacional, a compreensão mecanicista da história natural da doença e a disponibilidade dos parâmetros necessários.
- ▶ Consequentemente, a precisão de qualquer modelo é **sempre limitada**.
- ▶ A **TRANSPARÊNCIA** é a capacidade de entender (seja analiticamente ou mais frequentemente numericamente) como os vários componentes do modelo influenciam a dinâmica e interagem.
- ▶ Isso geralmente é alcançado **adicionando ou removendo componentes** sucessivamente e construindo intuições gerais de modelos mais simples.
- ▶ À medida que o número de componentes do modelo **aumenta**, torna-se mais **difícil** avaliar o papel de cada componente e suas interações com o todo.
- ▶ A transparência é, portanto, muitas vezes em **oposição direta** à precisão.

# O que são modelos matemáticos?



- ▶ A **FLEXIBILIDADE** mede a facilidade com que o modelo pode ser adaptado a novas situações.
- ▶ Isso é **vital** se o modelo for avaliar políticas de controle ou prever níveis futuros de doenças em um ambiente em constante mudança.
- ▶ A maioria dos modelos mecanicistas (como os que estudaremos) são baseados em princípios de transmissão de doenças bem compreendidos e, portanto, **altamente flexíveis**.
- ▶ Por sua vez, as ferramentas de séries temporais de “**caixa preta**” (como redes neurais) que podem ser capazes de reproduzir com precisão uma determinada série temporal de casos relatados são menos passíveis de modificação.
- ▶ Os modelos têm dois papéis distintos, **previsão** e **compreensão**, que estão relacionados às propriedades do modelo de precisão e transparência e, portanto, muitas vezes podem estar em conflito.
- ▶ Geralmente, exigimos um **alto grau de precisão** de qualquer modelo preditivo, enquanto a **transparência** é uma qualidade mais importante dos modelos usados para melhorar nossa compreensão.

# O que modelos *podem* fazer

- ▶ Os modelos têm dois papéis distintos, **previsão** e **compreensão**, que estão relacionados às propriedades do modelo de precisão e transparência e, portanto, muitas vezes podem estar em conflito.
- ▶ Geralmente, exigimos um **alto grau de precisão** de qualquer modelo preditivo, enquanto a **transparência** é uma qualidade mais importante dos modelos usados para melhorar nossa compreensão.
- ▶ A predição é o uso mais óbvio de modelos. Requer que o modelo seja o **mais preciso possível** e, portanto, inclua todas as complexidades conhecidas e heterogeneidades em nível populacional.
- ▶ Modelos preditivos podem ter grande poder em situações específicas, **orientando decisões políticas** difíceis onde existe um *trade-off* entre duas (ou mais) estratégias alternativas de controle.
- ▶ A **falha em prever com precisão** o comportamento epidêmico em uma área específica pode atuar como um alerta diagnóstico de que os parâmetros e o comportamento subjacentes podem ser diferentes.
- ▶ Os modelos também podem ser usados para entender como uma doença infecciosa se **espalha** no mundo real e como várias complexidades afetam a dinâmica.

# O que modelos *podem* fazer

- ▶ Em essência, os modelos fornecem aos epidemiologistas um mundo ideal no qual **fatores individuais podem ser examinados isoladamente** e onde cada faceta da disseminação da doença é registrada em detalhes precisos.
- ▶ Os *insights* obtidos com essa modelagem geralmente são **robustos e genéricos** e, portanto, podem ser aplicados a uma ampla variedade de problemas específicos.
- ▶ Além disso, o entendimento adquirido pode nos ajudar a **desenvolver modelos preditivos mais sofisticados** e coletar dados epidemiológicos mais relevantes, permitindo decidir quais elementos são importantes e quais podem ser negligenciados.
- ▶ Finalmente, é somente desenvolvendo uma intuição para padrões de infecção, construindo desde modelos simples até modelos mais complexos, que podemos começar a entender todas as **complexidades e dinâmicas** observadas no mundo real.

# O que modelos *não podem* fazer



- ▶ Os modelos também têm suas **limitações**. É impossível construir um modelo **totalmente preciso**.
- ▶ Sempre haverá algum elemento do comportamento do hospedeiro ou peculiaridade da doença que é **desconhecido** ou mesmo **impossível de ser conhecido**.
- ▶ Considere tentar fazer um modelo preciso para uma infecção humana transmitida pelo ar (digamos, **gripe**).
- ▶ Tal modelo precisaria levar em conta as variações na transmissão com temperatura e clima, capturar o movimento diário e a interação dos indivíduos e abranger a variabilidade na suscetibilidade devido a fatores genéticos ou infecções passadas.
- ▶ Mesmo que tal modelo pudesse ser construído, a **natureza casual** da transmissão ainda impediria a previsão perfeita.
- ▶ **Nunca seremos capazes** de prever o curso preciso de uma epidemia ou quais pessoas serão infectadas.
- ▶ O melhor que podemos esperar são modelos que forneçam **intervalos de confiança** sobre o comportamento epidêmico e determinem o risco de infecção para vários grupos de hospedeiros.