# Roteiro falado: A crise da neurociência normal e a inteligência artificial

Oct 28, 2026 · @Jônatas

## Abertura (0:00–0:03)

*Ritmo: o texto está pensado para ser falado, não lido. As pausas e as indicações de slide estão entre colchetes.*

**[Slide 1 · título]**

Vou começar com uma pergunta sobre dois animais. Um macaco e uma arara. O macaco é primata, nosso parente próximo, e tem um cérebro do tamanho de um limão. A arara tem um cérebro do tamanho de uma noz. Qual dos dois tem mais neurônios no pálio, a região que faz o papel que o córtex faz nos mamíferos? [pausa] A arara.

Esse resultado saiu em 2016, num estudo de Olkowicz e colegas com Suzana Herculano-Houzel. Ele surpreendeu porque contraria uma intuição muito comum: a de que um cérebro maior, e mais parecido com o nosso, é automaticamente mais capaz.

**[Slide 2 · a tese em três passos]**

Hoje eu quero defender uma tese em três passos.

Primeiro: a neurociência normal, no sentido de Thomas Kuhn, trabalhou com um padrão implícito. Esse padrão é o cérebro humano e um punhado de animais usados como modelo.

Segundo: quando comparamos cérebros de espécies diferentes, aparecem anomalias que esse padrão não explica.

Terceiro: a inteligência artificial entra nessa história como interlocutora. Ela nos obriga a perguntar o que é computar. E quem quer construir máquinas inteligentes hoje está olhando para os animais, e não só para nós.

Um aviso de honestidade antes de começar. Vou chamar de anomalia aquilo que os dados sustentam, e de crise a minha tese. Vou deixar claro, ao longo da fala, qual é qual.

## Ciência normal (0:03–0:08)

**[Slide 3 · Kuhn em um slide]**

Para Kuhn, a ciência normal é a ciência do dia a dia. É resolver quebra-cabeças dentro de um paradigma, que é um conjunto de princípios, métodos e exemplos que a comunidade compartilha e ensina aos seus novatos. Ela parte de uma suposição: a de que a

comunidade já sabe como o mundo é.

Quando um quebra-cabeça importante não se resolve e continua incomodando, temos uma anomalia. [pausa] E aqui vai um ponto que costuma se perder: nem toda anomalia vira crise. Muitas são dissolvidas com uma técnica nova ou um ajuste de cálculo. A crise vem quando as anomalias se acumulam, muitos cientistas precisam lidar com elas, e as respostas começam a divergir.

Guardem essa distinção. Vou voltar a ela no fim.

**[Slide 4 · o paradigma implícito da neurociência]**

Qual é o paradigma da neurociência? Eu vou apontar três marcas, todas descritas por autores de dentro do campo.

A primeira é o paradigma do animal-modelo. Todd Preuss, em 2006, argumentou que a neurociência foi dominada por essa abordagem. Ela presume que as características básicas da organização cerebral são comuns entre espécies, e por isso desestimula levar a sério as diferenças entre elas. Na prática, estudamos poucas espécies como se fossem humanos substitutos.

A segunda é um reducionismo tácito. Em 2017, Krakauer, Ghazanfar, Gomez-Marin, MacIver e Poeppel publicaram na *Neuron* uma crítica a uma crença profunda e quase nunca declarada: a de que entender cérebro e comportamento é, antes de tudo, manipular o cérebro e testar necessidade e suficiência. As ferramentas são impressionantes, de optogenética a conectomas. Os autores não rejeitam isso. Eles defendem um pluralismo: a análise do comportamento traz o entendimento, e a intervenção neural testa a causalidade.

A terceira é o que o filósofo Cameron Buckner chamou de antropofabulação. É o viés de amarrar os critérios de competência cognitiva a uma ideia exagerada do desempenho humano típico. Ou seja: o humano vira o padrão, e um padrão inflado.

[Transição] Esse é o pano de fundo. Agora vejamos o que acontece quando alguém simplesmente se põe a contar neurônios em espécies diferentes.

## Anomalias: a Rota 6 (0:08–0:16)

**[Slide 5 · cada ordem constrói cérebros do seu jeito]**

A pergunta é simples: como a natureza constrói cérebros de tamanhos diferentes? Durante muito tempo, a resposta implícita era que cérebros maiores são versões ampliadas dos menores, com as mesmas proporções.

O grupo de Suzana Herculano-Houzel testou isso com uma técnica que conta os neurônios, o fracionador isotrópico. Nos roedores, quando o cérebro cresce, os neurônios ficam maiores e a proporção de células não neuronais aumenta. Nos primatas é diferente. As estruturas cerebrais crescem de forma linear com o número de neurônios, sem mudanças importantes na densidade neuronal nem no tamanho médio dos neurônios.

As consequências são enormes. Em 2007, o grupo fez uma conta que eu acho didática. Se os primatas seguissem as regras dos roedores, um cérebro com cerca de 100 bilhões de neurônios, comparável ao nosso, pesaria mais de 45 kg e viria num corpo de uns 109 toneladas, a massa do maior animal vivo. [pausa] Obviamente, as regras não podem ser as mesmas.

**[Slide 6 · o humano não é uma arquitetura à parte]**

Aqui vem a primeira anomalia para a visão antropocêntrica. Quando se contam os neurônios, o cérebro humano não aparece como exceção. Em 2009, Herculano-Houzel o descreveu como um cérebro de primata linearmente ampliado. Ele é construído pelas mesmas regras econômicas dos outros primatas, e é o maior cérebro construído assim. Por isso, tem o maior número de neurônios.

O mesmo trabalho derrubou um número que se repetiu por meio século. A razão entre células gliais e neurônios no cérebro humano é menor que 1 para 1, e não os 10 para 1 dos livros-texto. Um dogma numérico caiu com uma técnica melhor de medição.

Há também regularidades curiosas. Em espécies de ordens diferentes, o cerebelo mantém em média cerca de 3,6 neurônios para cada neurônio do córtex cerebral. Isso sugere que as regras são coordenadas entre estruturas, e não independentes.

**[Slide 7 · cada clado tem as suas regras]**

Agora o ponto central da Rota 6. Quando o grupo estendeu a análise, encontrou regras de escalonamento próprias de cada clado. Afroterianos, roedores e artiodáctilos, por exemplo, compartilham entre si as regras do córtex e do cerebelo. Os primatas não as compartilham.

Os artiodáctilos, que incluem vacas, cervos e outros, têm um córtex muito dobrado e com poucos neurônios. O grau de dobramento do córtex acompanha o clado, e não o número de neurônios. E há uma previsão que vale a pena contar: se essas regras valerem para os cetartiodáctilos, o grande córtex dos cetáceos ainda terá menos neurônios que o córtex humano.

A conclusão do grupo para esse conjunto de dados é direta: entre ordens diferentes, o tamanho do cérebro deixa de ser um bom indicador do número de neurônios.

**[Slide 8 · o caso das aves, fora dos mamíferos]**

Um último caso, que é o do começo. As aves não são mamíferos, mas entram aqui como um contraste muito útil. Papagaios e aves canoras têm, em média, cerca de o dobro de neurônios de primatas com cérebros de mesma massa, e de duas a quatro vezes mais que roedores. Os neurônios são menores e mais densamente empacotados. Corvídeos e papagaios concentram uma proporção muito maior desses neurônios no pálio.

A lição que a própria Herculano-Houzel tirou é a de que existe mais de uma maneira de construir um cérebro grande. Mantém-se a maioria dos neurônios pequenos e conectados localmente, e só uma fração cresce o bastante para fazer conexões longas.

E aqui uma ressalva que eu faço questão de repetir: a autora reconhece que a relação entre número de neurônios e inteligência ainda não está firmemente estabelecida. Contar neurônios é um passo, não a resposta.

**[Síntese · fale devagar]**

Três anomalias. Primeira: o tamanho do cérebro não prediz o número de neurônios entre ordens. Segunda: o humano é um caso particular da regra dos primatas, não uma arquitetura única. Terceira: capacidades cognitivas complexas aparecem em arquiteturas bem diferentes. Nenhuma delas cabe confortavelmente em um paradigma que toma o cérebro humano e uns poucos animais-modelo como régua.

## Crise (0:16–0:21)

**[Slide 9 · o neurocientista e o microprocessador]**

Anomalias de dados são uma coisa. Dúvida sobre o método é outra, mais grave. Em 2017, Eric Jonas e Konrad Kording publicaram um artigo com um título provocador: *Poderia um neurocientista entender um microprocessador?*

A ideia é elegante. Um microprocessador é um sistema complexo que entendemos em todos os níveis, da lógica geral até a dinâmica dos transistores. Então eles o trataram como um organismo-modelo. Os "comportamentos" foram três jogos clássicos: Donkey Kong, Space Invaders e Pitfall. E aplicaram as técnicas populares da neurociência: lesões, análise de propriedades de resposta, redução de dimensionalidade.

O resultado: as técnicas revelam estrutura interessante nos dados, mas não descrevem de forma significativa a hierarquia do processamento de informação do chip. Dá até para achar transistores cuja remoção derruba um jogo e não os outros, e concluir ingenuamente que existe um "transistor do Donkey Kong". [pausa]

A conclusão dos autores é desconfortável. Se isso vale para um sistema que entendemos por completo, as abordagens atuais podem não produzir entendimento significativo de sistemas neurais, independentemente da quantidade de dados. Eles atacam a crença popular de que a neurociência é, sobretudo, limitada por dados.

**[Slide 10 · a pergunta de Preuss]**

Preuss faz uma pergunta que combina com tudo o que vimos. Depois de mais de 125 anos de neurociência experimental, como é possível que saibamos tão pouco sobre como o cérebro humano difere do de outras espécies? A explicação dele é justamente a que eu descrevi: estudamos substitutos, e não comparamos de verdade.

Juntem as peças. Há anomalias empíricas vindas da comparação entre espécies. Há uma crítica metodológica forte vinda de dentro, de gente que trabalha com computação e com teoria. E há um diagnóstico de viés de longa data.

**[Slide 11 · a ressalva kuhniana, o slide mais importante do bloco]**

Agora, a ressalva que eu prometi. Em Kuhn, uma crise exige que as anomalias se acumulem a ponto de muitos cientistas terem de lidar com elas, e que as respostas divirjam. Os autores que citei são críticos internos, em sua maioria. Eles não representam um consenso de que o paradigma entrou em colapso, e a neurociência produz resultados todos os dias.

Por isso, eu apresento "crise" como uma tese, e não como um fato. A minha tese é que estamos num momento de anomalias acumuladas e crítica interna crescente, em que o paradigma do animal-modelo e do cérebro humano como régua já não dá conta sozinho. Se isso é crise no sentido pleno de Kuhn, é uma pergunta que eu deixo para a discussão.

## IA como interlocutora (0:21–0:27)

**[Slide 12 · neuro-inspirada não é neuromórfica]**

A relação entre neurociência e IA é antiga. Em 2017, Hassabis e colegas revisaram, na *Neuron*, os avanços de IA inspirados no estudo da computação neural em humanos e em outros animais. Eles fazem uma distinção que eu quero que vocês guardem: a abordagem deles não é a da computação neuromórfica nem a de projetos que tentam imitar o cérebro de perto. Neurociência, nessa visão, serve de forma mais sutil. Ela levanta perguntas no nível do algoritmo sobre aprendizado e inteligência animal, e dá pistas sobre mecanismos.

Em 2023, Zador e mais de vinte colegas, na *Nature Communications*, deram um passo adiante. A premissa da NeuroAI é que entender melhor a computação neural revela ingredientes básicos da inteligência. E a proposta deles é identificar as capacidades centrais que todos os animais possuem, e não só os humanos. Para medir o progresso, sugerem um "teste de Turing incorporado": comparar a interação de sistemas artificiais com o mundo físico com a dos animais.

[pausa] Reparem: é a mesma crítica que a neurociência comparada faz a si mesma. O alvo não é o humano. É o animal.

**[Slide 13 · bigodes e sonar]**

Duas ilustrações concretas, as duas com mamíferos.

Primeira, os bigodes. Mamíferos fazem boa parte do tato a uma certa distância, com pelos longos, as vibrissas. A robótica de 2009, segundo Prescott e colegas, ainda não igualava os mamíferos em percepção tátil. O rato virou o modelo mais usado porque seu sistema vibrissal é o mais estudado. O robô Shrewbot consegue seguir um objeto em movimento usando só os bigodes, sem câmera. E há um detalhe de engenharia elegante: a eletrônica sensível fica na base do bigode, longe do contato. Só uns 8% dos artigos sobre sensores de bigode discutem robótica, o que mostra uma área ainda pouco explorada.

Segunda, a ecolocalização. Em 2018, o robô Robat, da Universidade de Tel Aviv, mapeou um ambiente novo só com som, usando um emissor e dois ouvidos, como um morcego. Em geral, robôs usam o sonar de forma pobre, só para medir distância por tempo de voo. E há drones que usam sonar inspirado em morcegos justamente onde câmeras e lidar falham: fumaça, neblina, poeira, escuridão total.

**[Slide 14 · energia, em um minuto]**

Uma palavra sobre energia, que é o argumento mais popular e o mais escorregadio. O cérebro humano opera com cerca de 20 watts. O treino do BLOOM, um modelo de 176 bilhões de parâmetros, consumiu algo como 433 megawatts-hora, e o do GPT-3 teria usado em torno de 1,3 gigawatt-hora.

Mas cuidado com a conta. A comparação justa depende do que se compara: o treino de um modelo com a formação de um especialista humano, ou apenas o uso de um modelo já treinado com o cérebro operando? São etapas diferentes, e o debate sobre qual é a comparação certa ainda está em aberto. A computação neuromórfica promete ganhos, mas ainda não chegou aos data centers comerciais de IA.

E uma lacuna que eu quero registrar: não encontrei uma comparação direta de eficiência energética entre espécies de mamíferos. Isso, a meu ver, é uma oportunidade para a Rota 6, e não um resultado que eu possa apresentar hoje.

## Fechamento e perguntas (0:27–0:30)

**[Slide 15 · volta ao começo]**

Voltemos à arara e ao macaco. A neurociência normal ensinou, com razão, que cérebros se parecem. A comparação mostra também que eles diferem em regras de construção, e que a mesma capacidade cognitiva pode surgir de arquiteturas diferentes.

A IA, por sua vez, está descobrindo que o caminho para máquinas mais capazes passa por entender o que todos os animais fazem, e não só o que nós fazemos.

Deixo uma pergunta para a discussão. [pausa] Se a inteligência aparece em arquiteturas tão diferentes, o que exatamente a IA deveria aprender com os mamíferos? Princípios de organização, sensores, algoritmos de controle, ou uma nova definição do que significa entender um cérebro?

Obrigado. Estou aberto às perguntas.

## Perguntas prováveis e respostas curtas

1. **"Isso é crise de verdade?"** Apresente como tese. Há anomalias bem documentadas (escalonamento por clado, aves) e crítica metodológica interna (Jonas e Kording, Krakauer, Preuss). Em Kuhn, crise exige acúmulo e divergência dentro da comunidade, e isso não está demonstrado. A pergunta de fundo é se o paradigma do animal-modelo continua suficiente.
2. **"Comparar o treino de uma IA com o cérebro não é injusto?"** É contestável. Treino e uso são etapas diferentes, e o debate sobre a comparação justa está aberto. O que há de mais sólido é o número do cérebro (cerca de 20 W) e os números de treino de modelos específicos. Não há, até onde pesquisei, comparação entre espécies de mamíferos.
3. **"O que dos mamíferos é transferível para a IA?"** É hipótese, com exemplos concretos: sensores e controle inspirados em bigodes e em sonar de morcegos já viraram robôs. Zador e colegas propõem um benchmark, o teste de Turing incorporado, justamente para avaliar essa transferência.
4. **"Aves não são mamíferos, por que entraram?"** Entram como contraste. Mostram que cognição complexa aparece com arquitetura bem diferente, o que reforça a anomalia da Rota 6.
5. **"Neuro-inspirada é a mesma coisa que neuromórfica?"** Não. Hassabis e colegas se distinguem explicitamente da abordagem de imitar o cérebro de perto.

## Referências

Fontes consultadas por meio de busca. Para Kuhn, cite o livro diretamente: *A Estrutura das Revoluções Científicas* (University of Chicago Press, 4ª ed., 2012). Os resumos abaixo são secundários.


- Kuhn: resumo das etapas (CCSU) e análise do capítulo sobre a resposta à crise
- Krakauer et al. 2017, Neuroscience Needs Behavior (Neuron)
- Preuss 2006, Who's afraid of Homo sapiens?
- Buckner 2013, antropofabulação
- Herculano-Houzel et al. 2006, escalonamento em roedores (PNAS)

- Herculano-Houzel et al. 2007, escalonamento em primatas (PNAS)
- Herculano-Houzel 2009, o cérebro humano em números
- Herculano-Houzel 2010, escalonamento coordenado córtex e cerebelo
- Neves et al. 2014, afroterianos
- Kazu et al. 2014, artiodáctilos
- Olkowicz et al. 2016, aves (PNAS), release da Vanderbilt
- Jonas e Kording 2017, PLoS Computational Biology
- Hassabis et al. 2017, Neuroscience-Inspired AI (Neuron)
- Zador et al. 2023, NeuroAI (Nature Communications)
- Prescott et al. 2009, Whisking with robots
- Sayegh et al. 2022, sensores tipo bigode
- Eliakim et al. 2018, Robat (PLoS Computational Biology)
- Mehonic e Kenyon 2022, computação inspirada no cérebro (Nature)
- Neuromorphic hardware for sustainable AI data centers
- Energia de treino de LLMs: BLOOM e GPT-3 (blog, não revisado por pares)