

DISTRIBUIÇÃO GRATUITA - EXCLUSIVO PARA A INTERNET - VENDA PROIBIDA

MARCELO GLEISER



DOS ELÉTRONS AO AMOR

Ensaaios sobre o Cosmo, a Vida, e o Futuro Planetário



© Marcelo Gleiser, 2021

MARCELO GLEISER

DOS ELÉTRONS AO AMOR

Ensaio sobre o Cosmo, a Vida, e o Futuro Planetário

PRODUÇÃO

Breno Teixeira • Emerson Rocha • Mayumi Miyazato

Queridos leitores,

Neste livro, produzido pelo meu time de apoio, reunimos alguns de meus ensaios mais significativos sobre temas bem diversos, desde a natureza da realidade e a natureza da ciência até o enigma do tempo, o que podemos e não podemos saber sobre o universo e nós mesmos e, claro, a questão alienígena e ambiental, ambas examinadas em detalhe.

O produto é para vocês, completamente gratuito, e pode ser baixado facilmente. Peço apenas que vocês divulguem o livro, para que um número grande de pessoas tenha acesso a informação de qualidade. Talvez, como demonstração da sua gratidão, você possa repassar o link do livro para pelo menos mais duas pessoas, pedindo que elas baixem o texto da rede. Assim atingiremos uma reação em cadeia, todos juntos, em prol da democratização do conhecimento e do acesso livre à informação de qualidade. Essa luta é nossa e vocês são meus parceiros e parceiras.

Vamos em frente!

*Marcelo Gleiser,
Hanover, 23 de maio de 2021*

SUMÁRIO

Sobre a Realidade	5
Podemos Mudar o Passado?	7
As Três Origens: Cosmo, Vida e Mente	10
Ciência em Crise?	12
Uma Breve História da Luz	16
Um Físico e um Cardeal Conversam sobre Fé e Ciência	20
Dos Elétrons ao Amor: A Inatingível Unidade do Conhecimento	24
Perfeição ou Imperfeição? A Guerra Estética na Fronteira do Pensamento Científico	28
Repensando o Tempo	32
Uma Breve História de Marte	34
Os Mais Misteriosos Objetos no Universo	39
A Questão Alienígena	43
Predação Planetária	49
Após 10 Anos, Uma Verdade Inconveniente Continua Inconveniente	53
A Ciência é Moral?	57

Sobre a Realidade

Costumamos achar que sabemos o que é o mundo real, esse que vemos à nossa volta. Basta abrir os olhos, apurar os ouvidos e temos esse retrato do que é a realidade, baseado na nossa percepção sensorial. Mas será que é só isso? Será que o que vemos e ouvimos pode ser chamado de realidade? Um dos aspectos mais extraordinários da ciência é como ela nos permite ampliar nossa visão do real. E um dos aspectos mais paradoxais é que quanto mais aprendemos sobre o mundo, menos clara nos é a natureza da realidade.

Platão, na Grécia Antiga, já antecipara o problema. Em sua Alegoria da Caverna, que aparece no diálogo *A República*, ele imagina um grupo de “escravos” acorrentados numa caverna desde seu nascimento. Sua percepção da realidade se restringe à parede da caverna na sua frente, que é tudo que podem ver. Para eles, o que aparece na parede é o mundo real. Sem que eles saibam, atrás deles um grupo de filósofos fizeram uma fogueira que lança sua luz na parede. Em frente ao fogo, os filósofos seguram objetos e os escravos veem as sombras projetadas na parede, achando que os objetos são reais. Obviamente, a projeção na parede não corresponde ao objeto: por exemplo, uma bola aparece como um círculo. O ponto de Platão é que nossa percepção sensorial cria uma noção falsa do real. Como disse a Raposa ao Pequeno Príncipe, o essencial é invisível aos olhos.

Na história da física, o que chamamos de realidade também muda. Antes de Copérnico, o cosmo tinha a Terra no centro, e o sol e planetas girando à sua volta. O universo era fechado, na forma duma esfera, e Deus e sua corte habitavam a esfera mais externa. Quando Newton propôs sua teoria da gravitação, percebeu que o cosmo não poderia ser finito; apenas um cosmo infinito, onde as estrelas estavam separadas e equilibradas (precariedade), seria estável. De repente, a realidade muda, e o homem se vê num universo infinito, envolto em trevas. Qual o lugar do homem nesse novo universo? Para complicar, as ideias de Newton levaram a um determinismo radical onde o futuro poderia ser calculado, ao menos em princípio, a partir do presente. Se isso fosse verdade, não haveria mais o livre arbítrio; todas as ações estariam predeterminadas pela precisa maquinaria cósmica. A liberdade que achamos ter seria uma ilusão.

Felizmente, esse determinismo não durou muito. No início do século XX, a física quântica pôs fim à noção de que podemos usar a física como oráculo. O princípio de incerteza de Heisenberg mostrou que não podemos medir a posição e a velocidade de uma

partícula conjuntamente, o que torna a determinação precisa de seu futuro impossível. Ademais, o mundo quântico nos mostra que a própria natureza da realidade é elusiva: não vemos um elétron ou um fóton, a partícula da luz; sua existência é medida com detectores, aferida indiretamente. O mundo do muito pequeno, que tanto define nossas vidas através das tecnologias digitais que usamos, é um mundo inacessível aos sentidos. Não podemos nem mesmo atribuir existência a uma partícula antes de a detectarmos—a realidade é definida pelo modo como interagimos com ela. Isso cria um novo modo de se ver o mundo: sempre existirão aspectos da realidade que são desconhecidos; mas o surpreendente é que existem outros que são inacessíveis.

Podemos Mudar o Passado?

Quem nunca se arrependeu do que fez? Não seria ótimo se fosse possível voltar no tempo para consertarmos erros e más escolhas?

Isso parece ser coisa de ficção-científica. Porém...

As leis da física proíbem viagens ao passado, por vários motivos. Se pudéssemos viajar ao passado e mudar eventos estaríamos alterando o curso da história. Um exemplo muito citado é o paradoxo do avô: se você viajasse ao passado e assassinasse o seu avô quando ele era ainda estudante no ensino médio, ele não teria encontrado a sua avó, e você e seu pai não existiriam.

Um exemplo popular de viagem ao passado é a fantástica série de TV canadense *Viajantes* (do inglês [Travelers](#)). Num futuro distante, a Terra está em ruínas; os humanos são controlados por uma inteligência artificial benevolente que descobre um modo de projetar o consciente de pessoas no futuro em “hóspedes” do século XXI. A ideia é que os viajantes do futuro tomam posse da mente da pessoa no nosso século momentos antes de ela morrer. O enredo inclui discussões um tanto vagas sobre o emaranhamento quântico entre o consciente do viajante e o do hóspede, mas os detalhes não são importantes. O ponto da série é que os viajantes voltam ao passado para tentar mudar o curso da história—e salvar o mundo da ruína em que vivem.

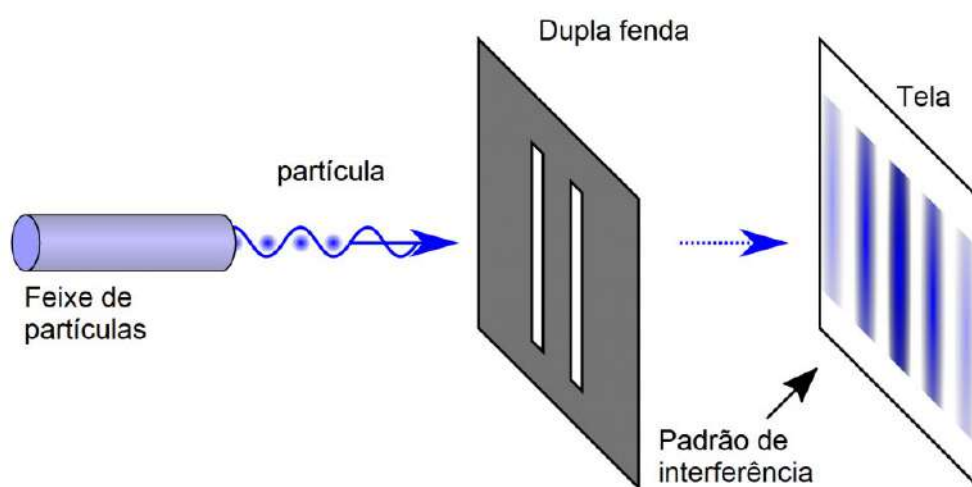
Deixando de lado como transferir o consciente de um ser humano a outro no passado e focando na ideia de alteração do passado, existe algo que a ciência atual possa fazer de semelhante? Surpreendentemente, sim. No nível das partículas quânticas (estamos falando de fótons, elétrons, ou átomos, no máximo), existe algo proposto pelo físico americano John Wheeler nos anos 1970 conhecido como [Experimentos de Escolha Demorada](#), que sugerem que ações no presente podem influenciar o passado.

Os experimentos usam a chamada dualidade partícula-onda da luz e da matéria, o fato de que a natureza física de um objeto quântico (muito pequeno) permanece indeterminada até que é medida. Em outras palavras, isso significa que uma partícula de luz (fóton) ou de matéria (um elétron) pode se comportar tanto como onda (espalhando-se pelo espaço, sofrendo interferência) ou partícula (localizada em um pequeno volume), dependendo do equipamento de medição usado. Discussões sobre a interpretação da física quântica que perduram por décadas e que permanecem inconclusivas tentam decifrar o que isso significa. Será que nossas mentes determinam as propriedades do mundo

material, ou melhor, a natureza da realidade física? O leitor interessado em maiores detalhes pode consultar este [livro](#), que publiquei em 2014, sobre o assunto.

Mas experimentos medem, sem se preocupar muito com questões de interpretação. Wheeler ficaria impressionado se estivesse vivo hoje para testemunhar os resultados de experimentos que emularam suas ideias. Os dados indicam que, ao menos ao nível de objetos quânticos, ações presentes afetam o passado.

A figura abaixo resume o experimento. Imagine que uma fonte de fótons (ou outra partícula quântica) atira partículas em direção a um obstáculo que tem duas fendas. Atrás do obstáculo encontra-se uma tela de detecção. Se os fótons atingem a tela, vemos um padrão típico de interferência de ondas, com franjas claras e escuras se alternando.



Mas se a tela não está presente, e, em seu lugar, temos detectores de fótons alinhados com as fendas do obstáculo, os fótons atingirão um ou outro detector, se comportando como partículas. Este é o experimento comum de interferência de luz ou matéria passando por duas fendas.

O “mistério que não vai embora”, como afirmou o grande físico americano Richard Feynman, é que o cientista conduzindo o experimento determina a natureza física do objeto—se onda ou partícula. Com a ideia de Wheeler, o mistério aumenta ainda mais.

Imagine que os detalhes do experimento—se a tela está lá ou não—são decididos após o fóton ter passado pelas fendas. Em 2007, [um grupo na França](#) construiu esse experimento quase que exatamente, deixando um fóton passar pelo obstáculo com duas fendas e, após ter passado, ter a presença ou não da tela decidida por um gerador numérico aleatório. (Essencialmente, o gerador cria uma sequência aleatória de números que são usados para decidir se a tela fica ou não.) Como escreveu Wheeler, “o experimento decide

se o fóton passa por uma fenda (partícula) ou por duas (onda) depois de ele ter já passado”. Desde então, outros grupos refinaram ainda mais o experimento, confirmando a intuição de Wheeler.

Um detalhe importante é que a mudança no desenho do experimento tem que ser mais rápida do que o tempo que o fóton demora para viajar até os detectores. Assim, evita-se que o fóton “saiba” o que aconteceu (se é que um fóton “sabe” alguma coisa). Em outubro de 2017, [novos experimentos](#) estenderam a viagem dos fótons até 3.500 quilômetros, e mesmo assim o fóton se comportou como previsto pelo Experimento de Escolha Demorada. É como se o cavalo corresse 3500 quilômetros e, um pouco antes da linha de chegada, decidisse qual caminho percorreu até lá.

Claro, fótons não são pessoas, e esses efeitos ficam mais difíceis com o aumento do tamanho do objeto. Mesmo assim, algo de estranho está ocorrendo, onde o caminho que um objeto percorre parece ser independente do tempo. É como se as duas escolhas (partícula ou onda; uma fenda ou duas) existissem numa dimensão sem tempo e só viram realidade quando o arranjo do experimento é decidido. Por isso que Wheeler chamava suas ideias como indicativas de um “universo participatório”, onde nossas mentes estão conectadas de alguma forma com a própria estrutura do espaço e do tempo. Afinal, sem nossas mentes, o experimento e sua interpretação não existiriam.

Infelizmente, esses experimentos com partículas quânticas dizem pouco sobre como podemos interferir com o passado numa escala humana. Nas nossas vidas, é melhor tomar cuidado com nossas escolhas antes de fazê-las.

As Três Origens: Cosmo, Vida e Mente

O tema de hoje é vasto demais para uma coluna; lidar com as três origens é trabalho para muitas vidas inteiras, e mesmo assim sem a menor promessa de sucesso. Mesmo que bem diferentes, tratando de partes da ciência com metodologia e princípios diversos, as três origens têm alguns pontos em comum. É deles de que trato hoje, mesmo se superficialmente. Volta e meia escrevo sobre eles nestas páginas e nos meus livros.

O primeiro ponto em comum é que, no passado não muito distante, as três origens não eram consideradas questões abordáveis pela ciência. Pelo contrário, a origem do Universo, da vida e da mente eram atribuídas a ações sobrenaturais, produtos da intervenção divina. Que divindade seria esta depende da sua fé; mas em religiões distintas, apenas uma entidade que transcende o espaço e o tempo poderia criar o cosmo, que existe no espaço e no tempo; apenas uma entidade imortal poderia criar a vida; e apenas uma entidade onisciente poderia dar inteligência às suas criaturas.

Não é, portanto, surpreendente que se encontre tanta resistência quando cientistas afirmam que estão prestes—ou ao menos progredindo—a responder estas questões sem intervenção divina. De acordo com a visão científica, a origem do Universo, da vida e da mente são processos perfeitamente naturais, que obedecem a leis e princípios materiais. O fato de eles serem complexos e ainda obscuros não compromete o fato de as questões terem cunho científico e não religioso. O não-saber é a mola propulsora da criatividade humana.

Mas até que ponto a ciência pode resolver essas questões? Vamos por partes, tratando de uma questão de cada vez. Talvez a mais “fácil” delas seja a origem da vida; longe estamos de compreendê-la, mas nos parece que a transição da não-vida para a vida obedece a uma complexificação crescente das reações químicas que ocorriam na Terra primitiva: a um certo ponto, sistemas de compostos químicos tornaram-se autossuficientes e, isolados em protocélulas, foram capazes de absorver energia do meio ambiente e de se reproduzir de forma relativamente eficiente. Sem dúvida, ainda não sabemos como isso se deu, e provavelmente nunca saberemos exatamente o que ocorreu na Terra bilhões de anos atrás. No máximo, produziremos cenários viáveis de como a vida pode ter surgido aqui, dadas as condições vigentes na Terra primitiva. Talvez seja possível recriar a vida no laboratório, mas não saberemos se foi assim que a vida surgiu

aqui; a menos que seja demonstrado que só existe um caminho bioquímico para a vida, o que acho pouco provável.

O que torna a questão da origem da vida mais “fácil” (ou mais tratável) é o nível de controle que temos sobre ela. Cientistas podem simular sistemas bioquímicos complexos no laboratório (e vêm fazendo isto com resultados extraordinários), tanto começando com moléculas mais simples, como aminoácidos, como usando já o RNA e DNA do nosso código genético e testando suas propriedades em condições diversas. Usando células, podem retirar material genético até chegar na célula “mínima”, capaz ainda de ser considerada viva. Mesmo que o caminho exato que a vida seguiu na Terra seja talvez inacessível, a questão da origem da vida é tratável, mesmo se complexa e interdisciplinar.

Ciência em Crise?

Será que físicos precisam de evidência empírica para confirmar suas teorias?

Tradicionalmente, a resposta deveria ser um “sim!” intransigente, dado que a ciência funciona através da confirmação experimental de hipóteses. É como aprendemos o famoso método científico na escola: uma hipótese sobre como funciona o mundo, por mais absurda que pareça, se bem formulada, merece ser testada no laboratório ou, no caso das ciências astronômicas, através de observações telescópicas. É claro que existem nuances aqui. Por exemplo, é possível afirmar que teorias nunca estão “certas”, sendo descrições provisórias do que podemos aferir da natureza. Segundo esse prisma, o papel da ciência é provar que teorias estão erradas, substituindo-as por outras teorias que funcionam provisoriamente. De qualquer modo, sem o teste empírico, é impossível averiguar a plausibilidade de uma hipótese científica.

Por mais de 400 anos, essa metodologia vem funcionando espetacularmente bem. Porém, uma controvérsia nas fronteiras da física e da cosmologia vem forçando cientistas a repensar o papel do método científico na elaboração de suas teorias mais arrojadas, sugerindo que, talvez, a questão não seja tão simples.

No início de 2014, George Ellis e Joseph Silk, dois pesquisadores de renome internacional, [publicaram um ensaio](#) no jornal Nature com o título “Método Científico: Defenda a Integridade da Física”. Nele, os autores criticam um grupo de cientistas que vem casualmente deixando de lado a necessidade de confirmação experimental no estudo de teorias cósmicas ambiciosas, alegando que basta que essas teorias sejam “suficientemente elegantes e explicativas”. Ellis e Silk alertam que mesmo que estejam trabalhando nas fronteiras do conhecimento, esses cientistas estão “rompendo com uma tradição filosófica de séculos, que define o conhecimento científico como sendo empírico”.

Ellis e Silk expressam a preocupação de muitos cientistas. Afinal, o método científico dá credibilidade à ciência. Sem ele, como garantir que hipóteses sobre a natureza não passam de fantasias? Como defender a ciência publicamente em situações politizadas, como no caso do aquecimento global?

Como chegamos nesse impasse? De certa forma, a descoberta sensacional do bóson de Higgs em 2012 por pesquisadores do Centro Europeu de Física Nuclear (CERN) trabalhando no Grande Colisor de Hádrons (LHC) marcou o fim de uma era. Com

existência prevista em meados da década de 1960, o elusivo bóson era a peça que faltava no que os físicos chamam de “Modelo Padrão” da física de partículas, uma teoria matemática que descreve todas as partículas de matéria conhecidas e suas interações através de três forças que agem sobre elas (o eletromagnetismo e as forças nucleares fraca e forte). Completando a descrição moderna, adicionamos uma quarta força, a gravidade.

Apesar de seu enorme sucesso, o Modelo Padrão é um beco sem saída. Não podemos usá-lo para unir a descrição da matéria como composta por minúsculas entidades subatômicas (as partículas elementares, como os quarks, que compõem o próton e o nêutron, e o elétron) com o outro pilar da física do século XX, a teoria da relatividade geral de Einstein, que descreve a gravidade. Sem uma união dessas duas teorias—o que chamamos de uma teoria da gravitação quântica—não podemos saber porque o universo é composto dessas partículas e não outras, ou porque tem essas quatro forças. Também não sabemos como entender o Big Bang, o evento cósmico que marca o início do tempo.

É aqui que a possibilidade duma ciência sem validação empírica surge para assombrar a consciência dos físicos. Por mais de meio século, cientistas tentam ir além do Modelo Padrão, criando teorias com o objetivo de unir a gravidade com o mundo das partículas. Apesar das muitas possibilidades sugeridas nesse período (como a popular teoria das supercordas), infelizmente nenhuma oferece qualquer sinal de evidência empírica.

Se medirmos o sucesso duma hipótese científica pelo número de seus aderentes, a vencedora atual chama-se supersimetria (o “super” das supercordas vem daí). Teorias supersimétricas preveem que cada partícula de matéria tem uma companheira supersimétrica, efetivamente dobrando o número de tijolos fundamentais de matéria que existem na natureza. A teoria é matematicamente elegante, e pode até solucionar a questão da “matéria escura”: sabemos que existe um tipo de matéria no universo seis vezes mais abundante do que a matéria comum que não emite luz (portanto, “escura”), mas não sabemos que matéria é essa. Dada a utilidade (ao menos hipotética) da supersimetria, muitos pesquisadores estavam confiantes de que a teoria seria confirmada assim que o LHC entrasse em funcionamento. A natureza não perderia uma chance dessas.

Mas não foi o que ocorreu. Até o momento, apesar de uma busca vigorosa em vários experimentos espalhados pelo mundo, nenhuma partícula prevista por teorias supersimétricas foi detectada. Se o LHC não descobrir ao menos uma delas (a mais leve, na maioria dos modelos), muitos cientistas jogarão a toalha, declarando a supersimetria (e, por extensão, as supercordas) mais uma bela ideia na física que não deu certo.

Mas muitos não entregarão os pontos, optando por redefinir seus modelos de forma que as massas das partículas supersimétricas sejam tão grandes que escapariam a detecção no LHC, ou em algum substituto no futuro próximo. (O alcance de um detector depende da energia atingida pelas partículas ao colidirem entre si: quanto maior a energia da colisão, maior a massa das partículas produzidas, consequência direta da famosa fórmula $E = mc^2$. Colisores de partículas transmutam energia em matéria, um dos aspectos mais surpreendentes da física moderna. Físicos gostam de brincar que é como se colidíssemos duas bolas de tênis para criar um Boeing 747.

A possibilidade de redefinição dos parâmetros que definem os modelos teóricos (como a massa das partículas supersimétricas) leva a uma questão filosófica essencial: Como determinar a validade duma teoria se não podemos testá-la experimentalmente? Será que deve ser abandonada simplesmente porque, com a tecnologia disponível num determinado momento, é impossível encontrar evidência empírica a seu favor? Nesse caso, quanto tempo devemos esperar por novas tecnologias antes de aposentar a teoria: dez anos? Cinquenta anos? Séculos? Quando paramos de reajustar parâmetros para manter a teoria viável?

Como outro exemplo, considere a teoria do multiverso, que sugere que nosso universo seja apenas um dentre uma multidão de outros universos, separados por distâncias intransponíveis. Alguns cientistas acreditam que essa teoria possa resolver questões complexas sobre nosso universo como, por exemplo, os valores dos parâmetros do Modelo Padrão (massa do elétron e dos quarks, suas cargas elétricas etc.). Mas o preço é alto: os outros universos são inobserváveis diretamente. Mesmo assim, os defensores da ideia do multiverso consideram importante continuar a explorá-la, buscando ao menos por evidência indireta da existência de outros universos.

O time oposto, no entanto, tem suas objeções. Considere uma teoria que explica o que podemos detectar supondo a existência de entidades que não podemos detectar (como outros universos ou as dimensões extras das teorias de supercordas). Qual o status que devemos atribuir à essas entidades? Devemos considerá-las tão reais quanto as partículas do Modelo Padrão? Nesse caso, como justificar cientificamente que sua existência é diferente da de outras entidades inobserváveis que podem ser propostas para explicar a realidade, como fadas ou duendes? (O leitor pode escolher a sua favorita.)

É bom lembrar dos epiciclos, os círculos imaginários que Ptolomeu propôs por volta de 150 d.C. para descrever o movimento dos planetas. Mesmo que não houvesse qualquer evidência para a sua existência, epiciclos explicavam satisfatoriamente o que os

astrônomos da Grécia Antiga observavam nos céus. Com isso, muitos os consideravam reais. Passaram-se mais de 1500 anos até que, finalmente, os epiciclos passaram a ser vistos como uma ficção, nada mais do que uma ferramenta que possibilitava o cálculo das órbitas planetárias.

Será que as supercordas e o multiverso, frutos de algumas das mentes mais brilhantes do planeta, não passam de versões modernas dos epiciclos?

No final de maio de 2015, cientistas reiniciaram as pesquisas no LHC, após uma parada de dois anos. A interrupção foi proposital para que a energia das colisões entre as partículas fosse aumentada, chegando agora quase ao dobro do valor anterior. Com isso, físicos poderão explorar as propriedades do bóson de Higgs em maior detalhe, inclusive determinando se ele é ou não composto por partículas ainda menores. Mas o grande foco das novas colisões é a busca por partículas supersimétricas. Caso sejam descobertas, será um enorme triunfo da física moderna, um dos maiores de todos os tempos. Mas caso nenhum indício de supersimetria seja encontrado, os próximos passos serão difíceis e plenos de controvérsia, desafiando não só como avançar o conhecimento nessa área da ciência, mas o papel do método científico no futuro da ciência em geral. E até agora, meados de 2021, nada foi encontrado...

NOTA: Este ensaio é uma versão ampliada da versão publicada pelo autor, com coautoria do físico Adam Frank, no New York Times, dia 7 de junho de 2015.

Uma Breve História da Luz

Somos criaturas da luz. Nossa percepção mais imediata da realidade vem dela, do que podemos ver. Claro, os outros sentidos ajudam e, na cegueira, são essenciais. Mas acordamos ao abriremos os olhos, mesmo que mais figurativamente do que fisiologicamente. A luz representa sabedoria, conhecimento, o lado bom do divino. As trevas são a ignorância, a violência, o mundo do mal. Nossos corpos evoluíram para detectar padrões na Natureza, algo fundamental para nossa sobrevivência num mundo cheio de predadores e inimigos. É útil saber diferenciar entre um arbusto e um tigre, ou entre sombras e um guerreiro da outra tribo.

No romance *Ensaio sobre a Cegueira*, José Saramago cria uma sociedade em que todos (ou quase) ficam cegos subitamente. Essa cegueira pode simbolizar muita coisa, ou mesmo ela mesma: como a sociedade colapsaria de forma devastadora se perdêssemos coletivamente nossa visão; ou nossa visão coletiva.

Não é uma coincidência que tantas culturas idolatravam a luz através de seu provedor mor, o Sol. Os Egípcios, os Incas, os Celtas, sabiam que o Sol é a essência da vida. Sem ele, sem o influxo de luz e energia vindos dele, não estaríamos aqui. O que vemos da realidade, fração pequena de todas as “luzes” que nos cercam (o espectro luminoso das ondas de rádio aos raios gama), coincide com o pico de emissão luminosa do Sol. O processo de seleção natural selecionou animais capazes de utilizar ao máximo a luz da estrela que os ilumina. Claro, alguns animais percebem as franjas além do visível, como as abelhas que veem no ultravioleta ou certas cobras que veem no infravermelho. Mas a maioria vê o que vemos, a luz que se espalha pela atmosfera.

É, portanto, paradoxal que a luz, que nos é tão íntima, é também um dos grandes mistérios da Natureza. O que é, afinal, a luz? Não é palpável como o ar ou a água, e nem sabemos exatamente do que é “feita”. Se voltássemos ao século 17, assistiríamos aos debates entre Isaac Newton e Christiaan Huygens, Newton afirmando que a luz é feita de partículas indivisíveis—de átomos—e Huygens que a luz é uma onda que se propaga num meio que preenche todo o cosmo, o éter.

Ambos cientistas aplicaram sua teoria da luz para explicar uma série de fenômenos, com sucesso variável. Que partículas seriam essas que compõem a luz? Newton herdou conceitos atomistas antigos, datando da filosofia pré-Socrática de Leucipo e Demócrito que, em torno de 450 a.C., sugeriram que tudo é feito de corpúsculos

minúsculos se propagando no “Vazio”. Para ele, a noção de que um tipo de matéria preenche o espaço como o ar preenche nossa atmosfera era absurda. Que matéria é essa, se perguntava, que é transparente e que não oferece nenhuma resistência ao movimento dos planetas e cometas? Por outro lado, se o éter de Huygens era um tanto estranho, como atribuir realidade a pequenos átomos de luz que não podem ser vistos? Como determinar se algo existe se não pode ser diretamente observado?

Por trás do debate sobre a natureza da luz, esconde-se a questão da natureza da realidade: como sabemos se algo existe?

A ciência, em particular, a física, cria descrições da realidade baseadas no que podemos observar. Como disse Werner Heisenberg, um dos arquitetos da física quântica, “O que vemos não é a Natureza, mas a Natureza exposta ao nosso método de questionamento”. Em outras palavras, nosso conhecimento do mundo depende de quem somos e como pensamos. Uma outra inteligência, com métodos e percepções diferentes, criaria uma outra descrição da realidade.

Esse fato é mais do que claro quando lidamos com a natureza da luz. No final do século 19, a física estava em crise: na época, a descrição da luz como onda era universalmente aceita. Com isso, era também aceito o éter como meio por onde as ondas luminosas se propagavam. Afinal, qualquer onda precisa de um meio material que a suporte: ondas de água na água, ondas de som no ar... O problema surgiu em 1887, quando o experimento dos americanos Albert Michelson e Edward Morley—desenhado para detectar o éter—falhou. Se não existia o éter, o que sustentava a propagação da luz?

Essa tensão entre teoria e experimento é crítica para o desenvolvimento da ciência. Ao revelarem falhas nas teorias, experimentos forçam cientistas a revisarem suas hipóteses, muitas vezes levando-os a propor o inusitado. Se aprendemos algo com o estudo da Natureza, é que ela é bem mais criativa do que nós. A ciência precisa falhar para avançar.

Entra Einstein. Em 1905, com apenas 26 anos, publica dois artigos que irão revolucionar nossa visão de mundo. Ambos relacionados com a natureza da luz, e ambos profundamente contra-intuitivos. As propostas do jovem Einstein eram tão chocantes que só serão aceitas aos poucos, sob o peso da evidência experimental.

No primeiro artigo, Einstein sugere que a luz tem um comportamento dual, podendo não só ser interpretada como sendo uma onda, mas também como feita de partículas. Fichos de luz podem ser descritos como sendo compostos por corpúsculos—ou quanta—que mais tarde foram chamados de fótons. Com isso, Einstein reconcilia as

visões antagônicas de Newton (luz é partícula) e Huygens (luz é onda), criando algo surpreendente: uma entidade que se manifesta de forma diversa no mundo natural de acordo com a situação. A luz não tem uma identidade fixa; sua realização—o modo como se manifesta no mundo—depende de como ela interage com objetos.

No segundo artigo de 1905, Einstein propõe sua famosa teoria da relatividade especial. A essência da teoria é o postulado sobre a luz: “a luz se propaga sempre com a mesma velocidade independente do movimento da fonte ou do observador”. Para entender como isso é estranho, imagine que você esteja num carro viajando a 60 km/h e que, do carro, jogue uma bola para frente com velocidade de 20 km/h. Você verá a bola viajar com 20 km/h, enquanto que uma pessoa na calçada verá a bola viajar a 80 km/h ($60 + 20 = 80$). Se, em vez da bola, você ligasse uma lanterna, tanto você quanto a pessoa na calçada veriam a luz com a mesma velocidade, 300.000 quilômetros por segundo. A velocidade da luz é sempre a mesma.

Ninguém sabe porque a velocidade da luz não muda, ou porque seu valor no espaço vazio é de 300.000 km/s, mas esse comportamento esdrúxulo explica uma número enorme de observações, sendo, portanto, aceito como uma descrição válida do que ocorre na Natureza.

Como se não bastasse a natureza dual onda-partícula da luz e sua velocidade sempre constante, Einstein notou também que a luz, ao contrário de tudo o que conhecemos no universo, não tem massa. A luz é uma forma de energia pura que se propaga pelo espaço, interagindo aqui e ali com a matéria, ou seja, com coisas que têm massa.

Completando o ciclo de artigos sobre a luz, ainda em 1905 Einstein escreve outro, mostrando como energia e matéria estão relacionadas; em particular, como energia pode gerar matéria e vice-versa. Essa é a famosa fórmula $E=mc^2$, que tem aplicação direta na luz: se fótons de luz têm energia suficiente (no caso, o extremo mais energético do espectro luminoso, os raios gama) podem se transformar em partículas de matéria como, por exemplo, elétrons. Luz e matéria são, de certa forma, dois lados da mesma moeda.

A física de Einstein mostra que somos criaturas da luz não apenas de modo figurativo. Não só porque precisamos dela para sobreviver, mas porque podemos—ao menos em princípio—nos transformar nela. Mas antes de os leitores se imaginarem como fótons de luz viajando pelo cosmo a 300.000 km/s, devo deixar claro que essa conversão só ocorreria se houvesse uma colisão entre você e sua cópia feita de antimatéria. (Antimatéria não é tão exótica quanto parece, mas feita de cópias das partículas que

existem com cargas elétricas opostas. Por exemplo, a antipartícula do elétron é o pósitron, que tem carga positiva. Essas partículas são rotineiramente geradas no laboratório.) O produto desta colisão seria uma explosão de fótons de raios gama com energia para destruir uma boa parte do Brasil. Felizmente, estamos longe de criar cópias de antipessoas no laboratório. No momento, criamos apenas átomos de anti-hidrogênio.

O ano de 2015 foi designado do [Ano Internacional da Luz](#), pela Assembleia Geral da ONU e celebrado no mundo inteiro em uma série de eventos. Apesar de suas estranhezas, ou por causa delas, a luz é hoje integrante essencial de nossas tecnologias, dos lasers no caixa de supermercado aos DVDs, de tecnologias usando micro-ondas e ondas de rádio a aplicações industriais de fontes de luz ultra intensas, dos raios-X e outras máquinas de visualização em medicina a observações astronômicas de estrelas e galáxias longínquas.

Dados os vários mistérios que existem em torno da natureza da luz, e o quanto deles exploramos nas aplicações tecnológicas modernas, é difícil prever o que nos espera em 100 anos. No mínimo, mais uma revolução em nosso conhecimento do mundo que, tal como a que se iniciou no início do século XX, será iluminada pela curiosa natureza da luz.

Um Físico e um Cardeal Conversam sobre Fé e Ciência

Muitos de meus colegas, talvez a maioria deles, consideraria uma grande perda de tempo dividir um palco com um cardeal do Vaticano para conversar sobre ciência e religião. Os mais extremos diriam que fazer isso é dar à religião uma credibilidade que não merece. Dado que discordo frontalmente desse tipo de atitude radical proveniente do que hoje chamamos de cientificismo, dia 11 de abril de 2016 fui ao teatro TUCA da Pontifícia Universidade Católica do Paraná para conversar com o Cardeal Gianfranco Ravasi, presidente do Pontifício Conselho de Cultura do Vaticano. Foi uma noite memorável e inspiradora.

Dentro da tradição historicamente conservadora do Vaticano, fiquei surpreso com a atitude de Ravasi, de franca abertura à ciência. Afinal, esse é o mesmo Vaticano que, apenas em 1992, sob ordem do então Papa João Paulo II, admitiu ter errado ao condenar Galileu Galilei 359 anos antes por afirmar que a Terra gira em torno do Sol e não o contrário. Ravasi está construindo conexões com cientistas do mundo inteiro, organizando debates públicos onde são discutidas questões de grande importância para a sociedade, incluindo temas como a pesquisa e o uso das células-tronco na medicina, a ética do uso de drogas nos esportes, a possibilidade de a moralidade ser independente da religião, o nosso futuro como espécie em vista da integração crescente de tecnologias digitais nas nossas vidas.

Para estabelecer uma plataforma de suporte a essa iniciativa, Ravasi seguiu as diretrizes do Papa Benedito e ressuscitou o Átrio dos Gentios, um fórum para promover o diálogo construtivo entre cristãos e não-crentes, explorando questões relacionadas com a “fé e razão, e cultura secular e Igreja”. Interessante que o Átrio dos Gentios original ficava no Segundo Templo em Jerusalém, e designava a área onde judeus e não-judeus podiam circular livremente, comprar e vender mercadorias, trocar dinheiro ou sacrificar animais. Foi aqui que, segundo todos os evangelhos, Jesus teve sua altercação com os negociantes, acusando-os de perverter a santidade do Templo. No caso do Átrio mais recente, a ideia é abrir as portas da Igreja para uma discussão franca de questões de interesse para crentes e não-crentes, supostamente com menos animosidade.

Abri a noite explicando como a ciência amplifica nossa visão da realidade, criando uma narrativa do mundo natural que é constantemente revisada; expliquei como a ciência contribuiu de forma essencial para mudar nossa visão de mundo no passado, e como

continuará a fazê-lo no futuro, ao explorarmos os confins do mundo material, do nível subatômico e humano ao cosmológico. Mencionei Einstein, que nos convida a engajar com o “Mistério”, a fonte que inspira o trabalho criativo tanto nas artes quanto nas ciências. Argumentei que existe uma dimensão espiritual na ciência, ao induzir uma relação mais íntima e profunda com a Natureza.

Argumentei que a ciência moderna está redefinindo nossa posição no cosmo, distanciando-se da tradição copernicana onde quanto mais aprendemos sobre o mundo menos importante somos. Essa interpretação é profundamente nociva na percepção pública da ciência, já que diz que a ciência não tem qualquer papel na nossa busca por sentido: qual o sentido da vida se vivemos num universo gigantesco e frio, que pouco liga para nós? Ou, como se escuta dizer em debates mais populares, “a ciência roubou Deus da gente e não deu nada em troca”. Pelo contrário, propus uma posição pós-copernicana, onde a variedade de outros mundos no cosmo e a compreensão dos vários passos que a vida teve que dar para evoluir de simples células procariotas até seres humanos, indica que a vida inteligente é extremamente rara, mesmo que possam existir outros seres inteligentes na galáxia. Mesmo excluindo Deus, essa conclusão tem consequência imediatas, já que nos transforma nessa entidade rara, máquinas moleculares capazes de sentir e pensar. Surpreendentemente, ao menos de forma metafórica, a ciência moderna está nos restituindo uma posição central no cosmo, como guardiões da vida e da criatividade humana.

Concluí propondo a necessidade de uma complementaridade do conhecimento humano, que vai além da simples tolerância das diferenças. Existem diferentes modos de se entender e examinar a mesma questão, diferentes modos de se aprender sobre o mundo. Por exemplo, ao olharmos para um cálice de vinho, podemos examiná-lo sob várias perspectivas. Bioquimicamente, como produto de um processo de fermentação; opticamente, ao estudarmos sua cor, os reflexos da luz no cristal; fisicamente, como um fluido de certa densidade, em repouso à uma determinada temperatura e pressão atmosférica, no campo gravitacional da Terra; sociologicamente, como produto agrícola em algum país distante com certas leis trabalhistas; ecologicamente, como algo que necessitou o desmatamento de alguma área, o uso de técnicas inseticidas próprias, o preço em poluentes do transporte da fazenda até a loja onde compramos a garrafa. No entanto, temos todo um outro lado de examinarmos o cálice de vinho, sua beleza estética, a simetria das formas, a sensação de tocar e manipular o cálice, o aroma do vinho, seu gosto tão único e, talvez mais importante ainda, a companhia com quem estamos dividindo esse

momento, as emoções que vem dessa presença, o significado da experiência, única para cada um de nós.

Dentro dessa ótica, exigir de um crente uma prova concreta da existência de Deus não faz sentido. Fé é o acreditar no que não pode ser (ou não foi) provado. Por outro lado, argumentar que textos religiosos explicam ou podem prever fenômenos naturais de forma científica é também uma proposta absurda. Como disse Galileu, a Bíblia não foi escrita para descrever como vão os céus, mas como se vai ao céu. Felizmente, Ravasi não é um literalista. Pelo contrário, citou Santo Agostinho como alguém que já havia reconhecido os perigos de se usar a Bíblia como texto com valor científico. Se Ravasi fosse literalista, não teria aceito dialogar com ele.

Aqueles que se dizem crentes constituem em torno de dois-terços da população mundial, mais do que quatro bilhões de pessoas. Difamar sua fé como sendo uma espécie de delírio ou folia não leva a nada. Ravasi desconsidera os pronunciamentos mais incendiários de alguns ateus radicais sugerindo, como alternativa, uma troca aberta de ideias. Em determinado momento, propôs três modos de se olhar para o mundo: para baixo, ao explorarmos a matéria que constitui as coisas; para frente, na relação com outras pessoas e seres vivos; para cima, na busca por alguma forma de transcendência. Precisamos dos três modos, mesmo que se manifestem de formas diferentes para cada um. Raramente mencionou Deus, defendendo a necessidade de uma busca pluralista pelo conhecimento, que ressoa bem com minha proposta de complementaridade do saber.

Ravasi mencionou o biólogo americano Stephen Jay Gould e sua proposta de Magistérios que não se Superpõem (do inglês Non-Overlapping Magisteria, ou NOMA), que já mencionamos em outras oportunidades. Segundo Gould, ciência e religião deveriam existir em paralelo, sem interferência. Ravasi saudou a iniciativa de Gould, que, afinal, põe a religião em pé de igualdade com a ciência. Porém, sugeriu que devemos ir além para criar uma visão mais coesiva. Brincou que, na época de Galileu, seria inconcebível ter um cientista dividindo o palco com um cardeal. Naquela época, eram os homens da Igreja que se recusariam a dividir o palco com um mero cientista.

“Os tempos mudaram” disse, “e devemos mudar com eles”.

O cardeal pareceu-me completamente sincero e autêntico. Vi com alívio que o Vaticano hoje tem pessoas como Ravasi em postos de comando. Ravasi está disposto a escrever um novo capítulo na longa e tortuosa história do debate entre a ciência e a Igreja, esse com um final mais feliz do que seus antecessores. Ficou claro para os presentes que o ponto desses diálogos não é tentar convencer o outro. Esse seria um exercício supérfluo,

como já deveríamos ter aprendido. O ponto é estar aberto para ouvir o outro, sem recorrer aos recursos limitados dum tribalismo onde o “outro”, aquele com opiniões diversas da sua, é necessariamente um ser inferior que precisa ser ou eliminado ou convertido. Ficou claro, também, que um diálogo desse tipo seria impossível entre facções radicais. Não poderia conversar com um literalista ou mesmo com um primo distante meu, que é judeu ortodoxo, sobre ciência e fé. Os argumentos dum literalista são absurdos para a maioria dos cientistas.

Somos criaturas finitas, num mundo cheio de desafios, com mais perguntas do que respostas. Fatos, valores, crenças e tradições formam uma rica teia em que é fácil se perder. A essência de um diálogo construtivo entre a fé e a ciência é reconhecer que, mesmo guardando todas as diferenças, a busca por sentido é de cada um e de todos nós. A perplexidade de estarmos vivos, mesmo se a expressamos de modo diverso, é parte da nossa essência.

Dos Elétrons ao Amor: A Inatingível Unidade do Conhecimento

O biólogo Americano Edward O. Wilson é um dos raros superstars da ciência. Vencedor de dois prêmios Pulitzer pelos seus elegantes ensaios, professor aposentado da Universidade de Harvard, Wilson é considerado o maior especialista do mundo em formigas. Dentre muitos resultados, Wilson explorou as leis que regem a inteligência coletiva de insetos como formigas e abelhas, a importância, na evolução das sociedades, de valores como o altruísmo e o sacrifício de alguns para beneficiar a sobrevivência do grupo.

Wilson lançou um novo livro esse ano, *O Sentido da Existência Humana (The Meaning of Human Existence)*, onde busca forjar um caminho para a unificação das ciências com as áreas humanas. O livro foi finalista do Prêmio Nacional do Livro nos EUA. Nele, Wilson continua sua obra de 1998, *Conciliação: A Unidade do Conhecimento (Consilience: The Unity of Knowledge)*, ambos ainda sem tradução no Brasil. Se a iniciativa tiver sucesso, afirma Wilson, atingiremos uma compreensão transformadora do sentido de nossa existência.

Wilson parte da premissa de que por trás da complexidade da Natureza existem leis simples, que remetem a uma explicação unificada da realidade. A ideia é traçável ao próprio Tales de Mileto, o primeiro dos filósofos ocidentais, inspirada pelo que o historiador Gerald Holton chamou de Encantamento Iônico.

Tales viveu em torno de 650 a.C. na região de Iônia, hoje parte da Turquia. Daí o “Iônico”. Interessado no aspecto material da realidade, sugeriu que tudo fosse água. O sentido de Tales era mais metafísico do que físico, a água representando o potencial transformador duma Natureza sempre em fluxo. O ponto essencial permanece: oculta nas profundezas do real, existe uma estrutura unificada, a fonte de tudo. Decifrar suas leis equivale a desvendar o mistério da existência, dos elétrons ao amor.

Wilson equaciona o Encantamento Iônico ao elemento religioso que crê ser a fonte de inspiração na busca científica pelo conhecimento: “Acredito ser essa a fonte do Encantamento Iônico: satisfazer nosso apetite religioso buscando por uma compreensão da realidade objetiva, rejeitando revelações proféticas”.

Wilson adota o reducionismo como senhor do conhecimento. A unidade das ciências começa na física, dado que é ela que determina as leis fundamentais da Natureza. Como somos feitos de partículas de matéria, entender as leis que regem seu

comportamento é uma pré-condição para entendermos o resto. O plano, portanto, é unificar a física, extrapolar para as outras ciências físicas (química, astronomia, geologia...) e, de lá, para a biologia e as ciências neurocognitivas. Com isso, teremos uma compreensão clara do caráter fisiológico das emoções humanas: dos elétrons ao amor. Como as disciplinas humanas são produto do cérebro humano, serão necessariamente incluídas nessa grande unificação do conhecimento.

Para chegar a tal objetivo, fora a unificação da física, os cientistas terão que convencer os humanistas a abraçar esse movimento, repensando conjuntamente a estrutura de suas disciplinas sob a luz quantitativa da ciência. Boa sorte.

Wilson não despreza as disciplinas humanas. Pelo contrário, acha que devem ser celebradas: “São a história natural da cultura, nossa herança mais preciosa e privada”. Considera que as artes, a filosofia, a teologia, a história são, em essência, produtos de quem somos, da nossa história evolucionária: para entendermos história temos que começar na pré-história. É um erro separar nossa habilidade como entidades criadoras dos processos evolucionários que, ao longo de dois milhões de anos, moldaram o *Homo sapiens* a partir duma linhagem de primatas bípedes. Assim, traçamos uma linha que parte do Big Bang e passa pela origem da matéria, da vida, da vida complexa, dos humanos, e que termina nas obras criadas pela nossa espécie em todas as áreas do conhecimento. Essa é a conciliação que busca Wilson, uma ponte ligando a história cósmica à história humana.

Wilson resume sua missão: “A conciliação do saber busca salvar o espírito através da liberação da mente humana—não de sua rendição. Seu princípio central, como sabia Einstein, é a unificação do conhecimento. Quando lá chegarmos, compreenderemos quem somos e porque estamos aqui”.

Infelizmente, a missão é inatingível tanto em princípio quanto na prática. Em princípio, porque a noção de unificação na física, o ponto de partida de Wilson, não faz sentido epistemologicamente. Na prática, porque não podemos acumular conhecimento suficiente para construirmos uma visão unificada da realidade.

Ao Encantamento Iônico temos que contrapor a Falácia Iônica, termo proposto pelo historiador de ideias Isaiah Berlin. Qualquer sistema de conhecimento que almeje completude é necessariamente cego a como o conhecimento é adquirido. “Toda filosofia é produto de duas coisas apenas: curiosidade e miopia”, escreveu o filósofo francês Bernard de Fontenelle ao final do século XVII. A aquisição de conhecimento é, por

necessidade, um processo que se ramifica: quanto mais sabemos, mais percebemos o quanto ainda temos por saber.

Buscamos sempre por descrições cada vez mais unificadas dos fenômenos naturais. Mas não temos qualquer indicação de que essa estrada tenha fim. Mesmo na física de partículas elementares, podemos apenas construir descrições unificadas provisórias, que serão suplantadas por novas descobertas. A gravidade de Aristóteles era muito diferente da de Newton; a dele, muito diferente da de Einstein. Mesmo hoje, estamos repensando as propriedades da força gravitacional; existem propostas de considerá-la como uma força diferente das demais, irreconciliável com o que ocorre no nível subatômico.

Não temos porque esperar que a mente humana possa decifrar a essência da realidade; precisamos aprender a viver com o mistério, com o fato de que não podemos chegar ao fim do conhecimento.

Mesmo que sejamos feitos de átomos, não podemos usar a física atômica para descrever nossa fisiologia ou comportamento. Níveis de organização material diferentes requerem leis diferentes, e essas leis são novas e irredutíveis. Usando as formigas de Wilson, o comportamento do grupo segue leis bem diferentes das que regem o metabolismo celular de cada formiga e, mais ainda, das que regem as propriedades dos seus átomos. Não existe uma continuidade entre o que ocorre com os átomos e o altruísmo de algumas formigas. A cada nível crescente de complexidade material, mudam as descrições e a metodologia. Caso contrário, economistas teriam que estudar mecânica quântica para examinar o mercado de capitais.

Wilson acredita numa espécie de determinismo cósmico, baseado numa causalidade universal. Se o consciente humano é redutível à simples leis físicas, podemos relacionar nosso comportamento, nossas escolhas subjetivas, à uma teia de causa e efeito que teve início no próprio Big Bang. Nesse caso, a noção de livre arbítrio seria uma ilusão “biologicamente adaptativa”, que nos protege contra o fatalismo: acreditando ter controle sobre nossas vidas, continuamos a nos reproduzir.

Esse tipo de determinismo é inconsistente com a física quântica—onde existe uma incerteza essencial ao nível de cada partícula que pode tomar essa ou aquela propriedade (girar no sentido horário ou no anti-horário, por exemplo). Cada opção leva a uma história divergente. E se tudo é já definido, qual o ponto de Wilson em querer que tomemos o futuro em nossas mãos, que preservemos a Terra e seus habitantes, eliminando a guerra e a intolerância?

Na prática, também, existem limites intransponíveis, dado que a aquisição do conhecimento científico depende da tecnologia usada nos instrumentos de medida. Basta comparar a astronomia antes e depois do telescópio, e a biologia antes e depois do microscópio. E como esses campos do conhecimento avançam devido ao progresso dos instrumentos de observação. Ver mais não significa ver tudo.

Pode haver um caminho para a unificação do conhecimento? Apenas no engajamento construtivo das disciplinas. Cientistas e humanistas devem sim colaborar, encurtando as distâncias entre suas metodologias e objetivos. Existem muitas áreas em que as duas vertentes do conhecimento convergem, como, por exemplo, na questão do livre arbítrio ou na natureza da verdade. Por outro lado, querer construir um único edifício do conhecimento é querer empobrecê-lo. Existem muitas formas de se olhar para o mundo. Melhor do que chegar a um pressuposto fim onde tudo é um, é celebrar a pluralidade do saber, a natureza instável do conhecimento, fonte de nosso desejo de querer sempre buscar. Aceitar a incompletude do saber não é uma atitude derrotista; pelo contrário, é liberadora, pois entende que a busca não tem fim. O que pode ser mais instigante do que saber que existirá sempre algo de novo a ser descoberto?

Perfeição ou Imperfeição? A Guerra Estética na Fronteira do Pensamento Científico

O que pensar sobre a tentativa de unificação das leis da Natureza através da simetria? É um devaneio platônico ou um objetivo científico concreto?

Quando lemos livros sobre ciência para o público não especializado, nos deparamos com uma curiosa divisão dentre autores, dependendo de como escrevem as palavras “universo” e “natureza”: enquanto alguns (eu incluído) preferem usar iniciais maiúsculas (“Universo” e “Natureza”), outros optam por minúsculas. Volta e meia, tenho que convencer meus editores sobre as nobres razões de minha escolha.

Em julho de 2015, foi lançado nos EUA um novo livro do prêmio Nobel da física Frank Wilczek, um dos grandes nomes da ciência mundial. (No Brasil, por enquanto disponível apenas na versão em inglês.) Fiquei feliz ao ver que Wilczek também opta pelas maiúsculas. Lendo *Uma Bela Questão: Buscando pelo Código Profundo da Natureza* (*A Beautiful Question: Finding Nature's Deep Design*), a razão para a escolha de Wilczek fica clara: o livro, extremamente acessível e inspirador, manifesta a veneração, quase que sagrada, que o autor tem pela Natureza. Uma ode à beleza do mundo natural vista através da ótica matemática dum físico teórico. Para Wilczek, beleza é uma expressão de simetria—e simetria de verdade: uma opção estética ganha valor moral. Nisso, Wilczek se alinha com toda uma visão platônica da ciência, onde os segredos mais profundos da Natureza são um código matemático, decifráveis pela mente humana.

Com frequência, a linguagem de Wilczek é lírica, quase que mística: “Mudança Sem Mudança: Que mantra estranho, não-humano, para a alma da criação!” Para ele, o objetivo da física é revelar a alma da criação. Uma Bela Questão é uma peregrinação pela história da ciência, celebrando em particular a eficácia da matemática como portal para a descoberta da “verdade”; verdade aqui significando uma descrição precisa dos fenômenos naturais, das partículas subatômicas ao cosmo como um todo:

Nossa Questão nos convida a descobrir a beleza na raiz das coisas. Para sermos capazes de respondê-la, temos que trabalhar de dois modos. Devemos tanto expandir nosso senso de beleza quanto nossa compreensão da realidade. Isso porque a beleza que encontramos no mundo natural é tão estranha quanto sua estranheza é bela.

Esse é o canto das sereias, que aqui nos convida a mergulhar em busca do misterioso código natural, o canto que seduziu Pitágoras, Platão, Kepler, Newton, Maxwell, Einstein e muitas das mentes mais brilhantes da história. Tudo é Número—ouvimos—, os segredos da Natureza são um enigma matemático cuja chave é a simetria. Compreender o mundo é ler a mente do Artesão, a divindade que, segundo Platão, arquitetou o cosmo, e que Wilczek usa metaforicamente como a encarnação duma espécie de inteligência que existe na Natureza. Para obtermos uma “Teoria de Tudo”, apanhado dos detalhes físicos da criação, temos que seguir a sinfonia da simetria.

A questão é de grande importância, e não apenas para cientistas ou filósofos. Ao desvendar o código da criação, transcendemos nossa essência humana, estabelecendo uma conexão com uma dimensão além do tempo. Interessante que é essa, também, a dimensão da experiência religiosa, ao menos como a definiu o psicólogo William James, como uma conexão espiritual com o cosmo. Existem muitos caminhos que levam ao conhecimento do mundo e de nós mesmos, e as artes e as disciplinas humanas têm um papel complementar ao da ciência. Todos são tentativas de compreensão da dimensão humana.

Um aspecto importante na posição de Wilczek—e que deveria servir de exemplo para todos os cientistas—é que nunca perde sua franqueza: “Nem todas as ideias sobre a natureza da realidade que consideramos belas são verdadeiras...e nem todas as verdades sobre a natureza da realidade são belas”. Bom manter a humildade perante o pouco que sabemos, mesmo quando julgamos uma ideia bela demais para estar errada.

Wilczek é um dos poucos físicos vivos cujo trabalho tem, hoje, um status icônico entre seus colegas. Em sua pesquisa, faz uso frequente da simetria, da busca por padrões ordenados em diversos aspectos da Natureza, do subatômico ao cósmico. Nos seus textos para o público não-especializado, encontramos metáforas que ilustram também seu modo de pensar: “Átomos são instrumentos, seus sons revelados na luz que emitem”.

Platônico devoto, como muitos físicos e matemáticos, Wilczek usa a simetria como musa. Porém, ao contrário dos ortodoxos incapazes de autocrítica, o faz de forma lúcida, elogiando aqueles cuja “fé não é simplesmente passiva, mas engajada com a realidade”. Wilczek sonha de olhos abertos.

O livro é um manifesto apaixonado, uma “meditação” onde a busca pela unificação das forças da Natureza—o grande troféu dos platônicos inspirados por uma curiosa união entre o reducionismo científico e um monoteísmo milenar—só será

alcançada quando for encontrada a simetria-mãe, que se esconde, sorrateira, sob o véu da realidade que percebemos.

Nenhum físico competente questionaria o papel absolutamente essencial da simetria na construção de teorias que visam descrever quantitativamente os fenômenos naturais. O que permanece em aberto é até onde essa busca pode nos levar. A unificação das leis da Natureza através da simetria é um devaneio platônico ou um objetivo científico concreto?

Não é claro se é a Natureza ou a mente humana que usa a simetria como tijolo fundamental. Não há dúvida de que a simetria é uma ferramenta extremamente útil, que nos permitiu e permite descobrir incontáveis aspectos da realidade física. Dado esse sucesso, a tentação de levar essa estratégia ao extremo é compreensível. Como escreve Wilczek, o Real implica no Ideal e vice-versa: a realidade é expressão da simetria pura. Mesmo que a física subatômica atual não seja tão bela como o esperado, vemos essa realidade distorcida porque usamos os óculos errados: nas energias que podemos estudar hoje, a matéria expressa a simetria de forma imperfeita.

Existe, no entanto, um outro ponto de vista, que afirma que a realidade física é o que é, expressa da forma que a matéria a manifesta. Nesse caso, o Real precede o Ideal, e simetria é uma forma de quantificar parcialmente o que vemos. Se existem assimetrias, se a Natureza é ligeiramente imperfeita, é porque a realidade física pouco se importa com a noção de perfeição. Perfeição é uma expectativa humana, apenas isso. A simetria é uma excelente aproximação, mas não expressa a realidade física mais essencial.

Da mesma forma que podemos, como Wilczek, construir argumentos explorando a eficácia da simetria, podemos igualmente argumentar que são as assimetrias e imperfeições que revelam a essência da Natureza, como fiz em [*Criação Imperfeita*](#): assimetrias na quantidade de matéria e antimatéria no Universo; assimetrias na formulação do Modelo Padrão das partículas elementares, que descreve como interagem através de três forças fundamentais; assimetrias na estrutura das proteínas dos seres vivos; nas formas das nuvens, das árvores, dos rostos humanos. Imagine se a Marilyn Monroe tivesse duas pintas no rosto, exatamente equidistantes de seu nariz? Essa Marilyn simétrica seria horrenda, não? A assimetria também pode ser bela; tudo depende de como definimos beleza, de como incorporamos a estética do imperfeito em nossa visão de mundo. A questão de Wilczek e dos platônicos continua sendo bela, mesmo que a resposta seja a imperfeição.

Podemos argumentar que o poder da matemática vem justamente de sua desconexão com a realidade, já que é uma idealização, uma aproximação das coisas que existem. Para encontrar soluções simétricas nas equações da física, temos que fazer aproximações, muitas vezes descartando certos termos, ou descontando pequenas imperfeições. Segundo esse prisma, a simetria é uma redução da realidade, e não a sua essência.

Isso não significa que devemos abandonar a simetria como ferramenta de exploração da Natureza. Devemos, no entanto, tratar a simetria e a assimetria como aspectos complementares da realidade física. É da tensão criativa entre a simetria e a assimetria que emergem muitas das estruturas que vemos no mundo. Metaforicamente, podemos dizer que as duas são o Yin e o Yang da criação.

Discuti essas ideias com o Wilczek algumas vezes, em conferências e seminários. Imagino que ele concordaria comigo que uma Marilyn simétrica seria grotesca. Porém, não tenho certeza se ele concorda com a importância da estética do imperfeito. Felizmente, a disputa pode ser resolvida, ao menos em princípio. Nos próximos anos, experimentos no Grande Colisor de Hádrons (LHC), a máquina no Laboratório Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN) que descobriu o famoso bóson de Higgs em julho de 2012, poderão (ou não) revelar a presença de partículas “supersimétricas”, componentes essenciais da construção simétrica que Wilczek e outros defendem como a essência da Natureza. A tensão e a expectativa dos cientistas são palpáveis. Décadas de trabalho, carreiras inteiras dependem dos resultados. Em jogo estão duas visões estéticas antagônicas, dois modos de se pensar sobre o mundo que vem definindo a história da filosofia por milênios. No final, quem decide é a Natureza, ao menos o que podemos ver dela.

Repensando o Tempo

Como escrevo este ensaio no Dia dos Finados (2 de novembro de 2014), nada mais apropriado do que falar sobre o tempo. Para começar, será que o tempo existe? “Claro que sim”, diria o leitor; “eu estou envelhecendo a cada dia, as coisas mudam”. Sem dúvida. Mas quando pergunto se o tempo existe, o que quero dizer é se ele existe como algo real na Natureza, como uma pedra ou um besouro, ou se é uma invenção humana, algo que criamos para nos orientar durante a vida. Pois é claro que precisamos do tempo para nos organizar tanto na prática quanto de forma mais existencial. E sabemos que o tempo sempre avança, que não é possível viajar para o passado. Quando começamos a pensar sobre o tempo, vemos que é um grande mistério.

Temos controle sobre o espaço, mas não sobre o tempo. Podemos escolher para onde ir no espaço, direita ou esquerda, São Paulo ou Guarujá, Lua ou Saturno. Temos controle sobre ele. Mas com o tempo a coisa é diferente; não podemos nos movimentar livremente nele. Se, de certa forma, somos senhores do espaço, somos escravos do tempo. Sabemos que nossas vidas têm um início e um fim, e que, devido à ciência moderna, não só seres vivos, mas planetas, estrelas, galáxias, o próprio universo, também têm suas histórias, cada uma marcada por um momento inicial em que passaram a existir (no espaço).

Na teoria da relatividade de Einstein, o espaço e o tempo são de certa forma unificados, o tempo ficando meio que com cara de espaço. Falamos num espaço quadridimensional, com o tempo sendo a “quarta” dimensão. Isso funciona matematicamente, mas mesmo na teoria da relatividade o tempo não é exatamente como o espaço. O que ambos ganham é uma plasticidade que não vemos no nosso dia-a-dia. Essa plasticidade significa que a passagem do tempo não é rígida como um rio que flui sempre do mesmo jeito. A grande sacada de Einstein foi entender que a passagem do tempo depende do estado de movimento entre dois (ou mais) objetos. Por exemplo, você parado na esquina e um carro passando na rua. Para você, o relógio do carro marca a passagem do tempo mais lentamente do que o seu relógio. No extremo em que o carro viaja próximo da velocidade da luz, o tempo passaria muito devagar, quase parando.

Não percebemos esse tipo de efeito porque a velocidade da luz é gigantesca; nas velocidades dos carros, aviões ou foguetes, as correções são minúsculas. A teoria de Einstein também diz que a matéria pode afetar a geometria do espaço e a passagem do

tempo. Perto de um objeto com massa—ou gravidade—bem grande (como o Sol), o tempo passa mais devagar: um relógio na superfície do Sol bate mais devagar do que na Terra. Essa plasticidade parece esconder algum segredo sobre o tempo (e sobre o espaço) que ainda não conseguimos decifrar.

Se o tempo e o espaço são tão fundamentais, será que deveriam ser tão maleáveis? Essas perguntas beiram a metafísica, e talvez não sejam respondíveis cientificamente. Alguns físicos, como o inglês Julian Barbour, tentam construir uma noção de realidade sem usar o tempo, acreditando que a passagem do tempo seja uma ilusão, que existe apenas uma sucessão de “agoras”. Outros apostam no oposto, fazendo do tempo uma grandeza fundamental. Segundo eles, até as leis da física podem mudar no tempo. Algo que deixamos para um outro dia.

Uma Breve História de Marte

Dos filmes e livros às sondas de exploração da NASA, Marte é sinônimo de fascínio e mistério. Haverá vida no planeta vermelho?

O planeta Marte sempre ocupa as manchetes. Por exemplo, quando foi descoberta a água líquida fluindo na sua superfície. Depois, em 2015, entrou em cartaz o filme de Ridley Scott baseado no livro de Andy Weir, *O Marciano*, lotando cinemas pelo mundo a fora. Agora, a sonda [Perseverance](#) busca por traços de vida num lago ressecado, enquanto que o [primeiro helicóptero](#) passou sobre sua superfície. Parece que o planeta vermelho não quer ser ofuscado pela lua, o objeto mais brilhante nos céus.

Começando pela mitologia, Marte é o deus da guerra dos romanos, guardião dos soldados e dos fazendeiros. A conexão com a guerra veio dos egípcios e dos gregos, que o chamavam de Ares, um dos deuses do Olimpo, filho de Zeus e Hera. A cor avermelhada de Marte, plenamente visível a olho nu, inspira um certo temor, dando ao planeta um ar de mistério. Que tipo de ser pode habitar um mundo que aparenta ser coberto de sangue?

Com a astronomia restrita a observações a olho nu até 1609, pouco de novo foi aprendido sobre Marte até então. Entre 1601 e 1609, o astrônomo alemão Johannes Kepler usou o planeta para deduzir que sua órbita tinha a forma de uma elipse e não de um círculo perfeito. Talvez a inspiração de Kepler tenha vindo do impulso guerreiro atribuído a Marte, refletido em sua órbita um tanto excêntrica (não circular). O astrônomo bem sabia que sua visão ruía milênios de conhecimento, forçando uma nova atribuição de imperfeição aos desenhos celestes.

Aproveitando a aproximação de Marte durante um período de ótima visibilidade em 1877, o astrônomo italiano Giovanni Schiaparelli observou certos detalhes do relevo marciano que descreveu usando a palavra italiana "canali". Mesmo que Schiaparelli se referisse às longas depressões e sulcos na superfície de Marte, certas pessoas acreditaram que houvesse descoberto canais cruzando a superfície do planeta em padrões extremamente regulares.

Na imaginação popular, os canais logo se transformaram em vias artificiais, cavados por uma antiga e sábia civilização dirigindo água dos polos aos centros urbanos das áreas equatoriais, castigadas por terríveis secas. Centenas de canais foram "observados" e batizados, mesmo se revelados apenas através de observações munidas de telescópios, recusando-se a aparecer em fotografias tiradas com os mesmos telescópios.

Astrônomos ofereceram explicações para essa situação um tanto peculiar, argumentando que técnicas fotográficas precisam de um longo período de exposição, sendo assim mais sensíveis a flutuações térmicas na atmosfera. Segundo eles, essas flutuações comprometem a qualidade das imagens fotográficas, apagando qualquer traço de existência dos canais. Algo semelhante ocorre quando viajamos em estradas com o asfalto aquecido pelo sol, e observamos imagens distorcidas à nossa frente.

Astrônomos de excelente reputação acreditaram na existência dos extensos canais marcianos. Dentre eles, o milionário e astrônomo amador Percival Lowell fascinou-se com a possibilidade de vida inteligente em Marte. Em 1895, Lowell publicou um livro expondo suas ideias com grande convicção e autoridade. Usando sua fortuna pessoal, fundou um observatório em Flagstaff, no estado de Arizona, inicialmente dedicado exclusivamente a observar a superfície de Marte. Não é por coincidência que H. G. Wells publicou seu livro sobre uma invasão marciana, *A Guerra dos Mundos*, em 1898.

No livro, H. G. Wells usa os marcianos como metáfora para o futuro da humanidade, dominada pelos grandes impérios do final do século XIX. Da mesma forma que duas espécies inteligentes não podem coexistir, os impérios não poderiam evitar uma conflagração no futuro próximo (que veio, profeticamente, com a Primeira Guerra Mundial). A ciência dos marcianos, forçados a abandonar o seu mundo devido a uma seca terrível, havia criado terríveis máquinas de destruição, um aparato bélico que fazia das nossas armas brinquedos de criança. Não foi nossa inteligência ou estratégia que derrotou os invasores, mas a Natureza, no caso, através de micróbios.

Inspirado pelo livro de H. G. Wells, ainda mais dramático foi o programa de rádio produzido por Orson Welles em 1938, alertando os habitantes de Nova Jérsei para uma invasão de marcianos. A série de transmissões, na forma de noticiários urgentes, causaram verdadeiro pânico na população local. As pessoas aceitaram passivamente a existência de uma civilização tecnologicamente avançada em Marte, aparentemente com péssimas intenções com relação à Terra. O planeta ocupava já um local privilegiado na psique coletiva, um mundo habitado por seres mais avançados, cuja índole destruidora causaria o nosso fim.

As duas versões do livro de Wells para o cinema, a de 1953, dirigida por Byron Haskin, e a de 2005, dirigida por Steven Spielberg, adaptam a temática para a realidade social da época. A de 1953 ecoa a era atômica e a Guerra Fria. Os Marcianos não têm qualquer motivo senão a aniquilação dos humanos. Na de 2005, o foco é a desintegração

da família e o medo da ameaça terrorista. Os monstros que vêm de Marte são os monstros que carregamos em nós mesmos.

Durante as décadas de 1960 e 1970, as várias sondas espaciais Mariner e Viking provaram que os extensos "canais marcianos" não existem. Não existe, também, qualquer traço de uma civilização inteligente em Marte, nem no presente nem no passado. No entanto, o planeta apresenta uma geologia extremamente rica, mesmo se desértica e com temperaturas muito baixas. Vales e leitos de rios, vastos sistemas de cânions com mais de 4000 quilômetros de extensão, enormes vulcões extintos, tudo indica que, no passado, Marte era um planeta muito diferente do que é hoje.

Com as sondas mais recentes, que pousaram em Marte e exploraram a região vizinha ao seu local de pouso, ficou claro que o planeta é mesmo um deserto gelado, semelhante à certas regiões no Oeste americano. Seu tom avermelhado vem do acúmulo de poeira na sua superfície, formada por vários compostos de ferro e oxigênio. Essa poeira é levantada com frequência em terríveis tempestades de areia, que podem ser vistas por telescópio.

Apesar de alguns alarmes falsos, a vida não foi detectada em Marte. Se existe vida lá, será simples, provavelmente bacteriana. Difícil que seja na superfície, dado que a atmosfera de Marte é muito fina, com menos de 1% da densidade da atmosfera terrestre. Sendo assim, a superfície é eficientemente esterilizada pela radiação ultravioleta oriunda do sol. Para piorar, gás carbônico (o que a gente exala quando respira) compõe 96% da atmosfera, tornando-a inviável para seres como nós. Com menos massa do que a Terra, em Marte seu peso seria em torno de 40% menor. Bom lugar para dietas, mas não para passar as férias. Seria uma viagem de pelo menos seis meses, sem qualquer garantia de volta.

Em setembro de 2015, um time de cientistas anunciou a presença de água líquida em certas encostas de Marte. Estrias escuras em terreno seco indicam a presença de água, semelhante ao que ocorre com o concreto, que escurece quando molhado. A alta quantidade de vários tipos de sais na água faz com que permaneça líquida mesmo à baixas temperaturas—no caso, em torno de -30 graus Celsius. Infelizmente, essa alta salinidade também dificulta a existência de vida, semelhante ao que ocorre no Mar Morto em Israel e, mais dramaticamente, na lagoa de Don Juan, na Antártica, com salinidade 9,6 vezes mais elevada que no Mar Morto. Mesmo que a possibilidade da vida existir nessas condições seja baixa, a verdade é que só saberemos se tivermos a oportunidade de investigar a área diretamente.

Apesar de parecer uma decisão simples, enviar uma sonda para a área é um processo não só caro como complexo. O maior problema é a possibilidade de contaminação, isto é, da própria sonda levar consigo criaturas vivas, bactérias ou vírus. Certamente, numa questão dessa grandeza não queremos ser enganados, especialmente se a vida descoberta em Marte for idêntica à encontrada aqui.

A descoberta de vida extraterrestre seria uma das maiores notícias de todos os tempos. Contemplar a existência de outras formas de vida é contemplar a natureza de nossa própria existência como seres humanos. Até que ponto somos únicos e especiais?

Sabemos hoje que apenas em nossa galáxia existem em torno de 200 bilhões de estrelas e que a maioria delas têm planetas girando à sua volta. Devemos também incluir as luas, que são plataformas para a vida, ao menos em potencial. Isso significa que existem trilhões de mundos em nossa galáxia, cada um com sua própria composição e história. Se as leis da física e da química são as mesmas nesses mundos—e sabemos que são—fica difícil imaginar que somos o único planeta com vida. A probabilidade de vida extraterrestre é alta, mesmo se limitarmos nossa busca à Via Láctea e a criaturas semelhantes a nós, com química baseada em carbono e dependendo de água líquida.

Astrônomos trabalhando nessa área especulam que teremos alguma indicação indireta de que a vida existe em outro planeta (fora do sistema solar) em duas ou três décadas. Essa “detecção” se dará através da análise da composição da atmosfera do planeta, que terá gases associados à presença de vida, como oxigênio e ozônio. Vale lembrar, no entanto, que detectar vida não é o mesmo que detectar vida inteligente. Existe uma diferença enorme entre as duas, a vida inteligente sendo certamente muito mais rara.

A vida existe na Terra há pelo menos 3,5 bilhões de anos. Durante os primeiros três bilhões de anos, a vida aqui consistia de seres unicelulares. A complexidade dos dinossauros veio muito depois. Nós estamos aqui apenas há duzentos mil anos, resultado de uma série de mutações genéticas e acidentes cósmicos. A vida não é como uma semente, que brota e vai dar numa grande árvore. A existência de inteligência é a exceção e não a regra.

Essa revelação da ciência moderna põe nosso medo dos marcianos num outro patamar, decididamente o da ficção científica. Voltando à obra de H. G. Wells, é bom tomá-la como metáfora dos perigos com que nossa espécie se defronta. Numa era onde a automação cega e a distância entre nós e a vida em nosso planeta aumentam impunemente, vemos um comprometimento de nossa identidade como guardiões da

Natureza num universo profundamente hostil à vida. Pouco nos damos conta da nossa importância e raridade.

Os Mais Misteriosos Objetos no Universo

Não há dúvida de que, quando se trata de buracos negros, a realidade é bem mais estranha do que a ficção.

Visite uma escola do nível fundamental e mencione buracos negros para as crianças. Ou, se não numa escola, na mesa de jantar. A reação é imediata: os olhos se arregalam, revelando uma mistura de fascínio e medo. Para uma criança (e os felizes adultos que mantêm sua curiosidade viva), a imagem dum buraco no espaço que engole tudo o que se aproxima dele é inacreditável. “O melhor lugar para você mandar seus inimigos”, brinco, quando dou palestras nas escolas.

Que a força da gravidade pode fazer isso, curvar uma região do espaço tão dramaticamente que se fecha sobre si mesma, faz dela a mais estranha das quatro forças que conhecemos.

Todo mundo sabe que a gravidade é o que faz as coisas caírem. E que ela nunca descansa. Quando tinha seis anos, meu filho mais novo me perguntou se, no espaço, não havia gravidade. Antes que pudesse responder, seu irmão, então com doze anos interrompeu: “Claro que sim! Sempre tem um pouco de gravidade, a menos eu você esteja infinitamente distante de todos os objetos com massa no universo, o que é impossível”. Essas crianças nunca deixam de nos surpreender.

É isso mesmo. A gravidade conecta tudo no universo. Você está conectado com a Lua, com as pessoas à sua volta, com os anéis de Saturno. Tudo atrai tudo. A menos que... você esteja em queda livre. Quando você cai, não sente o próprio peso e tudo se passa como se a gravidade não existisse.

Essa ideia pode parecer estranha, mas se nos lembramos do que acontece num elevador, sabemos que faz sentido: quando o elevador desce rápido, você se sente mais leve. Quanto mais rápido o elevador desce, mais leve você se sente, aquele frio na barriga.

Einstein descobriu isso entre 1905 e 1910, quando tentava expandir sua teoria da relatividade de 1905, a especial, para incluir objetos que aceleram. Na teoria especial, considerou apenas objetos com velocidade constante. Einstein deve ter tido um choque quando percebeu a relação entre aceleração e gravidade. Mais tarde, disse que essa foi a ideia “mais feliz da minha carreira”. Mas faz sentido. Quando você sobe num elevador que acelera, se sente mais pesado; e quanto mais rápido (quanto maior a aceleração do

repouso ao movimento), mais pesado você se sente. Gravidade e aceleração têm uma relação profunda.

A teoria da relatividade geral de Einstein propôs um novo modo de se pensar sobre a natureza da gravidade, indo além da teoria de Newton. Não que a teoria de Newton estivesse errada. É ainda a teoria que usamos quando mandamos foguetes ao espaço ou calculamos a trajetória de aviões ou mísseis. Mas quando a gravidade é forte, a teoria de Einstein é melhor. Em ciência, uma teoria “melhor” significa que, quando comparada com observações, produz resultados mais precisos.

E como a teoria de Einstein faz isso? Propondo uma mudança conceitual profunda: a gravidade pode ser interpretada como sendo a curvatura do espaço em torno dum objeto: quanto maior a massa do objeto, mais o espaço se curva a sua volta. Portanto, perto duma estrela, o espaço é mais curvo do que perto de você. E não só o espaço. O tempo também é afetado, passando mais devagar em regiões com gravidade mais forte.

Pergunta ao leitor: um relógio na superfície do Sol (supondo que seja possível por um lá), marca a passagem do tempo mais rápido ou mais devagar do que na Terra?

Se você respondeu mais devagar, você acertou! No caso dos buracos negros, esse efeito vai ao extremo. Uma pessoa longe do buraco negro veria um relógio que se aproxima de um marcar a passagem do tempo cada vez mais devagar, até praticamente parar... Como isso é possível?

As estrelas são meio como pessoas, ao menos no seu ciclo de vida: nascem (em regiões no espaço ricas em gases chamadas de berçários de estrelas), vivem dramaticamente, fundindo hidrogênio em hélio por um longo tempo, até “morrerem”, quando o hidrogênio no seu centro acaba. Sem a energia liberada pela fusão nuclear para contrabalançar a constante pressão da gravidade, a estrela entra em colapso, liberando quantidades enormes de massa e energia. Estrelas bem grandes, com massa ao menos oito vezes maior do que a do Sol, terminam seus dias detonando em supernovas, gigantescas explosões. Seu centro, o que sobra após a explosão, é o que pode virar um buraco negro.

Existem duas possibilidades: estrelas com massa aproximadamente entre oito e vinte vezes a massa do Sol viram estrelas de nêutrons, uma estrela feita principalmente de nêutrons, os companheiros dos prótons no núcleo atômico. Por quê? No frenesi do colapso, com a gravidade ficando cada vez mais forte, prótons e elétrons são espremidos a tal ponto que fundem em nêutrons. Nêutrons podem resistir à pressão da gravidade até valores incríveis: uma estrela de nêutrons tem tipicamente a massa do Sol e o tamanho duma montanha!

Mas se o centro da estrela é pesado demais, nem os nêutrons podem segurar a gravidade. O colapso continua, a gravidade ficando cada vez mais intensa, até que nem a luz pode escapar: assim nasce um buraco negro!

Buracos negros aparecem em tamanhos diversos. Até em miniatura, em princípio, podem ser criados em colisões de partículas como as que ocorrem no Grande Colisor de Hádrons no [CERN](#), o laboratório onde o bóson de Higgs foi descoberto em 2012. Mas não se preocupe, esses mini buracos negros evaporam em uma fração ínfima de segundo e não vão engolir o planeta.

Os grandes são os que realmente criam caso pelo universo afora. Sabemos que existem, algo que Einstein não quis aceitar. Para ele, a ideia dum objeto onde, no seu centro, a gravidade pode atingir um valor infinito e as leis da Natureza deixam de funcionar era inaceitável.

Desculpe Einstein, mas os buracos negros existem. Sabemos que o coração de quase todas as galáxias tem um, gigantesco. Na Via Láctea, por exemplo, o buraco negro tem uma massa de quatro milhões de sóis. Em Andrômeda, nossa galáxia vizinha, o monstro pesa mais do que cem milhões de sóis.

Também “vimos” as ondas gravitacionais criadas na colisão entre dois buracos negros, uma descoberta que valeu o prêmio Nobel de 2017.

O que permanece um mistério completo é o que acontece dentro dum buraco negro. Uma vez que passamos do ponto sem volta (também chamado de horizonte), as coisas mudam de forma curiosa. Na nossa realidade aqui fora, podemos viajar pelo espaço livremente, mas não no tempo. Dentro dum buraco negro, esses papéis são meio que invertidos. Podemos viajar só numa direção no espaço, direto ao centro do buraco negro. Já o tempo, possivelmente, fica livre. Talvez seja até possível ver todos os momentos simultaneamente, como no conto sensacional de Jorge Luis Borges, [O Aleph](#).

Também é possível que não exista uma singularidade no centro, mas alguma outra coisa. Certas teorias especulam que um buraco negro é um túnel para um outro ponto no universo (conhecido como ponte de Einstein-Rosen), ou até mesmo para outro universo. Não sabemos.

Outra possibilidade é que, no centro do buraco negro, a física seja outra, ainda desconhecida, e que o conceito de singularidade seja só uma ideia temporária. Essa é minha possibilidade preferida.

De qualquer forma, temos ainda muito o que aprender sobre a gravidade. É irônico que a força da natureza que nos é mais familiar é, também, a mais misteriosa. Isso me faz

lembrar das palavras do próprio Einstein, que gosto de mencionar sempre: “O que vejo na Natureza é uma estrutura magnífica que compreendemos muito imperfeitamente, e que deveria inspirar profunda humildade naqueles que refletem sobre o mundo”.

A Questão Alienígena

Curiosidade e miopia

Em 1686, mesmo ano em que Isaac Newton publicou o seu monumental *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, onde elabora as leis de movimento e da gravitação, o francês Bernard Le Bovier de Fontenelle publicou *Conversa sobre a Pluralidade dos Mundos*, onde especula sobre a possibilidade de vida em outros planetas. O texto retrata uma conversa fictícia entre um filósofo e uma marquesa, ao longo de passeios noturnos nos jardins de seu castelo. Fora o fato de a marquesa, ou qualquer mulher, ser uma rara personagem principal num livro do século XVII, Fontenelle mostra sua modernidade em atribuir a ela uma intuição apuradíssima, que muitas vezes inspira e mesmo confunde o filósofo, que logo acolhe a confusão como parte indispensável do conhecimento. Num dado momento, o filósofo explica: “Toda a filosofia é fundada em duas coisas; curiosidade e miopia...o problema é que queremos ver mais do que podemos...Portanto, filósofos passam a vida duvidando do que veem e tecendo conjecturas sobre o que lhes escapa”. Essa observação descreve perfeitamente a questão alienígena, que trata da existência ou não de vida extraterrestre.

Passados mais de três séculos desde a publicação do livro de Fontenelle, a questão alienígena continua em aberto. Não sabemos se existe ou não vida fora da Terra, se bem que aprendemos muito sobre a natureza dos sistemas planetários, sobre as propriedades muitas vezes espetaculares dos planetas e luas de nosso sistema solar e sobre a existência de um número gigantesco de outros planetas e luas, girando em torno das centenas de bilhões de estrelas em nossa galáxia. Nosso conhecimento do cosmo hoje é profundamente diferente daquele vigente no final do século XVII. E, dado o que sabemos, podemos especular, como devem fazer os filósofos naturais, sobre o que pode existir noutros mundos.

O que é vida?

Qualquer discussão sobre vida extraterrestre deve começar com uma definição de vida. O problema é que não temos uma única definição, aceita pela comunidade científica. Alguns até argumentam que definir é limitar e que, no caso da vida, é melhor deixar a questão em aberto; formas de vida inteiramente diversas das que conhecemos aqui podem existir em outros cantos do universo. Pode ser, mas essa posição não é muito útil.

Precisamos ao menos de uma definição operacional, algo que possamos usar quando vasculharmos outros mundos em busca de criaturas vivas. Cientistas da NASA adotam a seguinte definição: vida é um processo químico onde sistemas são capazes de metabolizar energia de seu ambiente e de se reproduzir de acordo com o processo Darwiniano de seleção natural. Em outras palavras, criaturas vivas consomem energia, se reproduzem e se diversificam segundo descreve a teoria da evolução de Darwin.

É claro que essa definição é limitada. Bebês e vovôs não se reproduzem e estão vivos. Já os vírus ocupam uma área limítrofe, pois não têm células, mas passam a viver (a se reproduzir) quando em contato com uma célula que os hospeda. Essa definição operacional diferencia seres vivos de outros sistemas que podem se reproduzir—fogo, cristais, estrelas—mas não segundo a teoria da evolução.

Consideramos também que a química dos seres vivos baseia-se em compostos de carbono e é facilitada em meios aquosos: vida precisa de carbono e água. Outros elementos químicos, como o silício, têm uma bioquímica muito mais limitada do que a do carbono; já outros meios, como a amônia, são bem menos versáteis do que a água.

Vida e vida inteligente

Na busca por vida extraterrestre, é essencial diferenciar entre vida e vida inteligente. No caso da Terra, nosso único ponto de referência, a vida existe há pelo menos 3,5 bilhões de anos; mas vida inteligente, há apenas 200.000 anos, ao menos na forma da nossa espécie, *Homo sapiens*. Mais dramaticamente, durante a maior parte desse tempo (3 bilhões de anos), as únicas criaturas na Terra eram seres unicelulares, principalmente cianobactérias. Foram elas, devido a uma série de mutações acidentais, que evoluíram a ponto de poder realizar a fotossíntese, essencialmente transformando luz solar em oxigênio. Esse processo transformou a composição química da atmosfera que, uma vez rica em oxigênio, possibilitou a existência de criaturas com metabolismos mais complexos, que necessitam de fontes de energia mais eficientes. Estamos aqui, nós e todos os outros seres multicelulares, devido a esse trabalho de bilhões de anos das cianobactérias.

A explosão na complexidade da vida aqui ocorreu em torno de 540 milhões de anos atrás, a famosa Explosão do Cambriano. Num salto desproporcional, criaturas das mais diversas surgiram num intervalo relativamente curto de tempo (20 milhões de anos), redefinindo a variedade da vida aqui. Mesmo assim, vida complexa não é o mesmo que vida inteligente: os dinossauros existiram por cerca de 150 milhões de anos (portanto,

muito mais do que nós) e não demonstraram qualquer forma de inteligência maior, como compor sinfonias ou construir radiotelescópios. É comum confundir evolução com complexificação, visto que é isto que observamos aqui. A própria conotação da palavra “evolução” contribui para isso. No entanto, a evolução da vida não tem um plano—uma teleologia—determinado; ela não visa “gerar” criaturas cada vez mais complexas. O que a teoria da evolução por seleção natural nos diz é que a vida quer estar bem adaptada. Se a coisa está funcionando bem, como no caso dos dinossauros por 150 milhões de anos, mutações ocorrerão, mas não necessariamente levarão a uma maior complexidade em direção à inteligência. Por outro lado, a inteligência obviamente oferece uma enorme vantagem evolucionária, como vemos aqui: nós dominamos o planeta a ponto de mudá-lo e de ter a vida das outras espécies sob nosso poder. De fato, é pouco provável que mais de uma forma de vida inteligente possa conviver num planeta.

Vida extraterrestre

Nas últimas duas décadas, confirmamos o que já era há muito suspeitado: a maioria das estrelas têm planetas girando à sua volta. Na Via Láctea, nossa galáxia, são em torno de 200 bilhões de estrelas. Imagine que cerca de sessenta por cento dessas estrelas tenham planetas à sua volta. Como sabemos, a maioria dos planetas também têm luas. Júpiter, por exemplo, tem mais de sessenta. Com isso, chegamos fácil a mais de um trilhão de mundos em nossa galáxia apenas, cada um deles único em suas propriedades, com sua própria história. E a Via Láctea é uma dentre centenas de bilhões de galáxias no universo. Os números são estonteantes. Dado que as mesmas leis físicas operam em todo o cosmo, podemos esperar que muitos desses mundos tenham condições semelhantes às da Terra: água líquida, uma atmosfera rica e diversificada, temperaturas relativamente estáveis, uma química capaz de gerar os compostos orgânicos que a vida necessita. Difícil imaginar que, dada essa riqueza planetária, não exista vida fora da Terra. Mas que vida será essa?

Pelos argumentos acima, podemos concluir duas coisas: primeiro, que a existência de vida deve ser separada da existência de vida inteligente, um fenômeno certamente muito mais raro; segundo, que as formas de vida existentes num determinado mundo dependem fundamentalmente da história desse mundo, de suas propriedades e composição. Aqui, deduzimos algo de muito importante: dado que não existem dois mundos com a mesma história—por exemplo, sequência de colisões com cometas e asteroides, posição dentre outros planetas, número e massa das luas—e dado que a

diversificação da vida depende de forma aleatória das mutações genéticas, não existem formas de vida idênticas em mundos diferentes: cada mundo têm suas próprias criaturas, mesmo que possa haver uma repetição de certas características, como simetria aproximada entre lado esquerdo e direito etc. Ou seja, somos os únicos humanos no universo.

Onde está todo mundo?

Em 1950, o famoso físico italiano Enrico Fermi estava almoçando com colegas no refeitório do laboratório nuclear de Los Alamos, nos EUA, quando, após rascunhar alguns cálculos no guardanapo, perguntou: “Cadê todo mundo?” Seus amigos se entreolharam e responderam que estava todo mundo ali. “Não vocês”, disse Fermi, “os extraterrestres. Cadê eles?” Fermi argumentou que como a Via Láctea tem em torno de 10 bilhões de anos (a Terra tem 4,5 bilhões) e 100.000 anos-luz de diâmetro, uma civilização inteligente que houvesse evoluído antes de nós teria tido tempo de sobra para colonizar a galáxia por inteiro, ou ao menos boa parte dela. Por que não temos evidência desses vizinhos alienígenas? Para compreender o que Fermi dizia, basta ver que, se pudéssemos viajar a apenas um décimo da velocidade da luz (equivalente a 30.000 km/segundo), demoraríamos um milhão de anos para atravessar a galáxia. Uma civilização antiga com, digamos, dez milhões de anos de vantagem sobre nós (o que não é nada em 10 bilhões de anos), teria já se espalhado pelas estrelas como nós pela Terra. Este é o “Paradoxo de Fermi”, usado como argumento contra a existência de inteligências extraterrestres: se são comuns, deveriam já ter nos visitado.

Os que defendem a existência de ETs inteligentes oferecem vários argumentos para explicar a ausência de evidência: vieram já e não se interessaram muito; ou não têm interesse em viajar pelas estrelas; ou se destroem quando descobrem tecnologias nucleares; ou estão por aqui, mas não podemos vê-los; ou somos criação deles, seu experimento genético ou sua simulação de computador, um videogame que jogam.

Infelizmente, nenhum dos depoimentos de visitas e sequestros por ETs tem validade científica. Mesmo que milhares de pessoas jurem de pés juntos que tiveram contato com extraterrestres, não oferecem nada mais do que depoimentos orais que não têm qualquer valor como prova. O mesmo ocorre com fotos que sempre podem ser forjadas ou representar fenômenos atmosféricos e objetos voadores menos exóticos do que naves extraterrestres. A questão extraterrestre é séria demais para que nos deixemos levar por oportunismos ou devaneios, mesmo que aparentemente honestos.

Mesmo que existam outros seres inteligentes em nossa galáxia, a verdade é que estamos tão longe deles que, na prática, devemos nos considerar sós. Nas próximas décadas, deveremos obter alguma evidência, mesmo que indireta, da existência de vida em outro mundo. Por exemplo, é possível imaginar que missões espaciais com telescópios bem mais poderosos do que o Hubble poderão determinar a composição aproximada da atmosfera de planetas girando em torno de outras estrelas. Esse é um dos objetivos do [telescópio espacial James Webb](#), o sucessor do Hubble que deve ser lançado em Outubro de 2021. Se observações acusarem a presença de oxigênio, água, gás carbônico ou ozônio em planetas na zona habitável de sua estrela (a zona onde água líquida e temperaturas temperadas são possíveis), teremos ao menos candidatos onde a vida é plausível; se, com muita sorte, acharmos clorofila na atmosfera, podemos ter certeza de que a vida existe por lá.

Missões em busca de evidência direta, isto é, que pousem em outros mundos, são ainda ficção. Com a tecnologia que temos hoje, mesmo uma missão até a estrela (grupo de estrelas) mais próxima do sol, a alfa centauro a 4,5 anos-luz de distância, demoraria em torno de 100 mil anos. Junte a isso o problema da radiação letal que existe no espaço e problemas fisiológicos que ocorrem em viagens longas, e estamos fadados a ficar no nosso sistema solar por muito tempo.

E se “eles” existirem?

Como em ciência devemos manter a cabeça aberta e não podemos eliminar a possibilidade da existência de ETS inteligentes, temos que abordar também a questão da nossa segurança. Se a maioria dos filmes de ficção-científica estiverem certos, os ETs só viriam aqui para nos destruir e se apossar da Terra e de suas fontes de energia e minérios. Em 2010 o físico Stephen Hawking escreveu sobre o assunto, alegando que é melhor nos escondermos deles ou corremos o risco de sermos encontrados e eliminados. Afinal, se você está perdido numa floresta em meio a criaturas desconhecidas, a última coisa que deve fazer é gritar ou acusar sua presença. Seria o caso? Devemos temer os ETs?

Dada a lista de medos que cidadãos modernos devem enfrentar—apocalipse nuclear, epidemias de novas doenças, sejam as naturais ou as geneticamente criadas, terrorismo, aquecimento global e suas consequências, catástrofes naturais etc.—poria a ameaça de ETs no final. Conforme argumentamos, a possibilidade de que existam outras inteligências na nossa galáxia é remota (mesmo que não seja nula), e a possibilidade de que essas inteligências tenham tecnologias ou interesse de vir aqui também. Mais

relevante é o que a astronomia moderna nos leva a concluir: nosso planeta é uma joia rara, um oásis de vida em meio a um universo profundamente hostil e indiferente. Somos nós—restos animados de estrelas capazes de especular sobre a possibilidade de vida além daqui—a grande surpresa cósmica. Enquanto não conhecermos nossos vizinhos estelares, somos nós a manifestação de inteligência cósmica, as mentes com que o universo tenta compreender a si mesmo.

Predação Planetária

NOTA: Este ensaio pertence a uma série onde reflito sobre nosso futuro coletivo. Outros foram publicados no meu livro [O Caldeirão Azul](#). Meu objetivo é trazer à tona alguns dos maiores desafios que a humanidade enfrenta no momento. Na série, considero dois tipos de desafios: aqueles naturais e os que são produto da ação humana. Exponho alguns dos perigos e descrevo mecanismos que foram propostos para lidar com os desafios. Minha intenção não é oferecer uma análise detalhada de cada questão, mas convidar o leitor à reflexão e, espero, à ação.

No dia 14 de fevereiro de 1990, a sonda espacial Voyager I tirou uma fotografia do planeta Terra numa distância recorde de seis bilhões de quilômetros, cerca de 40 vezes e meia a distância entre o Sol e a Terra. Essa é a distância aproximada até Plutão. Na foto, nosso planeta mal preenche um pixel, um “pálido ponto azul” contra a vasta imensidão do espaço. A ideia da foto foi do astrônomo e divulgador de ciência Carl Sagan, que convenceu os técnicos da NASA a girar a sonda, reorientando-a para que tirasse uma última foto da Terra. Num pronunciamento público no dia 13 de outubro de 1994, proferido na Universidade de Cornell, onde lecionava, Sagan refletiu sobre o significado da imagem:

[...] Em minha opinião, não há melhor demonstração da folia humana do que essa imagem distante de nosso pequeno mundo. Ela deveria inspirar mais compaixão e bondade nas nossas relações, mais responsabilidade na preservação desse precioso pálido ponto azul, nossa casa, a única que temos.

Quando medido contra as distâncias cósmicas, a enorme quantidade de mundos espalhados pelo vazio do espaço sideral, esse pequeno planeta é insignificante, apenas mais um dentre trilhões de outros. Por outro lado, essa esfera girando em torno do Sol é tudo o que temos. Aqui vivemos, e é aqui que continuaremos a viver por muitas gerações. “Nessa vastidão, não temos qualquer indicação de que existe alguém para nos salvar de nós mesmos”, disse Sagan. “A responsabilidade do que ocorre aqui é inteiramente nossa”.

A imagem de nossa casa cósmica ocupando um mero pixel flutuando em meio a nada elucida sua fragilidade. A Terra é um planeta finito, com recursos limitados. Indiferente e ignorante disso, nos últimos 90 anos a população mundial cresceu de dois a

sete bilhões e meio de habitantes (os interessados podem consultar o [relógio da população mundial](#), que calcula o valor aproximado da população em tempo real). Em outubro de 2011, o Fundo Populacional das Nações Unidas projetou que a população chegará a oito bilhões no ano 2025. Como já estamos em [7,87 bilhões](#), parece que será antes disso. A taxa de crescimento da população mundial vem desacelerando, mas os números são assustadores e continuarão a crescer, mesmo se mais lentamente do que no passado.

No final do século XVIII, o inglês Thomas Malthus argumentou que a taxa de crescimento da população era incompatível com a capacidade de o nosso planeta prover a subsistência necessária a tanta gente: “O poder da população é tão superior ao poder da Terra de prover sustento ao homem que a morte prematura deverá, de alguma forma, visitar a espécie humana”, escreveu. Em sua previsão um tanto sombria, Malthus não considerou a habilidade que temos, demonstrada inúmeras vezes no decorrer da história, para resolver nossos problemas de natureza tecnológica através da implementação de ideias científicas na prática, no caso, a otimização e mecanização das técnicas utilizadas na agricultura, responsáveis por um aumento pronunciado da produção alimentícia nos últimos 150 anos.

Por outro lado, o fato é que a Terra tem apenas uma quantidade finita de terra arável, cerca de 31 milhões de quilômetros quadrados. (Mesmo que a Terra tenha em torno de 150 milhões de quilômetros quadrados de terra firme—aproximadamente 29% de sua superfície total—temos que descontar regiões montanhosas de grande altitude, desertos, regiões pantanosas e outras áreas não-irrigáveis ou utilizáveis para fins agrários.) Em 2013, apenas 14 milhões de quilômetros quadrados eram considerados aráveis, cerca de 10% do total.

Considerando a taxa de produção agrária atual, essa quantidade de terra arável pode produzir em torno de dois bilhões de toneladas de grãos por ano. Isso é comida suficiente para alimentar cerca de dez bilhões de vegetarianos, mas apenas cerca de dois bilhões e meio de omnívoros. A diferença de setenta e cinco por cento vem da quantidade imensa de grãos necessários para sustentar o gado e as aves consumidos pela população mundial. Desses números, vemos que uma população vegetariana é bem mais sustentável globalmente do que uma população carnívora.

A estimativa acima faz duas suposições essenciais: primeiro, que o abastecimento de água continuará ocorrendo ao nível atual, isto é, que não haverá secas prolongadas, ataques terroristas que comprometam a qualidade da água em grandes reservatórios, ou conflitos sociopolíticos devido ao desvio de rios para irrigação; segundo, que o

aquecimento global não irá interferir na quantidade de terra arável ou na produção agrícola mundial devida às mudanças climáticas exacerbadas. O aumento da temperatura do planeta é um fator essencial aqui, pois impacta não apenas a área da superfície terrestre que é arável, como, também, a possível perda de regiões costeiras e fluviais extremamente férteis devido à subida do nível do mar e das águas em geral. Uma outra consequência séria do aquecimento global é o deslocamento em massa de populações costeiras para o interior, criando não só uma perda de mão de obra local como, também, enorme pressão socioeconômica nas regiões longe da costa. Imagine como a população de São Paulo reagiria à invasão de dois ou três milhões de cariocas.

As estimativas acima são necessariamente aproximadas, e supõem a continuidade da estabilidade geopolítica mundial. Por exemplo, escrevi em outro ensaio desta série sobre a possibilidade concreta de conflitos termonucleares globais e locais, que teriam consequências absolutamente devastadoras, não só em termos de mortalidade humana e animal como, também, devido ao comprometimento do solo pela radiação. Mesmo assim, os argumentos acima mostram que, a menos que cientistas consigam alterar radicalmente os níveis de produção agrícola (provavelmente através do desenvolvimento de soluções baseadas em alimentos geneticamente modificados, tópico que atrai ceticismo e mesmo uma rejeição a priori injustificada cientificamente), uma estimativa razoável para a população total que nosso planeta pode sustentar gira em torno dos dez bilhões.

De acordo com o Fundo Populacional das Nações Unidas, esse número será atingido em 2083.

Mesmo considerando as incertezas nas estimativas, parece claro que estamos marchando resolutamente em direção a um ponto de saturação, onde nossas práticas de extração e de exploração do solo e a demanda de uma população crescente e com afluência maior irá exaurir os recursos planetários. A fé cega na ciência e na criação de soluções tecnológicas é uma posição perigosa, dado que é impossível basear o sucesso futuro no sucesso do passado: a ciência e suas aplicações práticas não avançam linearmente ou de forma previsível, mesmo supondo que o fomento à pesquisa continuará inalterado tanto ao nível governamental quanto privado.

Existem algumas medidas que podem ser tomadas para atenuar a pressão inexorável de uma população cada vez maior e com maiores demandas sobre o ecossistema global. Iniciativas educacionais devem ser instituídas de modo a educar um número cada vez maior de pessoas sobre os perigos de um crescimento populacional desmedido. Dentre elas, deve ser incluído o acesso fácil e pouco oneroso aos contraceptivos,

sobrepujando barreiras culturais e religiosas; o consumo desmedido da carne, base da alimentação de bilhões de habitantes, precisa ser redirecionado a uma dieta orientada ao consumo maior de frutas e vegetais; fontes de energia renováveis precisam tornar-se economicamente viáveis de modo a atrair um número maior de usuários na população e nas empresas e órgãos governamentais; *uma nova ética planetária baseada na sustentabilidade global deve ser incluída no currículo escolar e fazer parte da ética corporativa*. Toda criança precisa ser educada sobre o planeta em que vive e toda a empresa precisa agir de acordo com parâmetros que reflitam a realidade global em que vivemos.

Cada um desses passos gera sérias controvérsias e é debatido arduamente pelos diversos grupos de interesse, dos órgãos governamentais às lideranças religiosas e comunitárias. Com frequência, são rotulados como parte duma agenda política liberal. Me parece que essa atitude tradicionalista é profundamente equivocada e, em grande parte, responsável pela situação atual. Educar a população sobre os perigos de um crescimento populacional desenfreado (que, como sabemos, afeta com frequência regiões já extremamente pobres), ou sobre o que comemos e de onde vem essa comida, ou sobre a necessidade urgente de protegermos o meio-ambiente e, de modo mais geral, nosso planeta, para o benefício mútuo da população mundial e de todas as outras criaturas que dividem esse espaço conosco, deveria suplantiar as divisões políticas que impedem uma mudança profunda na nossa atitude com relação ao planeta.

Deveríamos considerar essa nova atitude como uma extensão direta, do humano a qualquer forma de vida e ao planeta como um todo, da regra ética mais essencial que temos: trate todas as formas de vida como quer ser tratado; trate o planeta como quer que sua casa seja tratada. Por quê? Muito simples. Esse pálido ponto azul é a única casa que temos e que teremos por um longo tempo. A Terra existiu e continuaria, sem dúvida, a existir por bilhões de anos sem a gente. Mas nós não podemos existir sem ela.

Após 10 Anos, Uma Verdade Inconveniente Continua Inconveniente

Em 2006, seis anos após sua tentativa para tornar-se presidente dos EUA ter fracassado, Al Gore lançou o documentário *Uma Verdade Inconveniente*. O filme foi manchete no mundo inteiro, venceu dois Oscars, incluindo melhor documentário, e faturou U\$49 milhões, o sexto documentário mais rentável da história. Sua missão era alertar a população mundial sobre os perigos do aquecimento global, o aumento inexorável da temperatura do nosso planeta devido ao acúmulo de gases poluentes na atmosfera.

Como efeito colateral do sucesso do filme, a questão do aquecimento global, em particular do papel da humanidade nele, tornou-se tão ou mais aquecida politicamente do que a atmosfera. Sua mensagem, baseada nos estudos de centenas de cientistas, é ao mesmo tempo simples e preocupante, para alguns aterrorizante: se nada for feito para atenuar a emissão de gás carbônico e outros gases responsáveis pelo Efeito Estufa, a temperatura global continuará a subir, as calotas polares irão descongelar, o nível dos oceanos se elevará, e os padrões climáticos do planeta sofrerão mudanças profundas, muitas delas devastadoras. Passados dez anos, e apesar do ceticismo insistente de muitos—que chegam a chamar o aquecimento global de uma farsa dos liberais—essas verdades continuam absolutamente válidas. O planeta continua aquecendo, e a razão principal é a poluição gerada por gases produzidos pela queima de combustíveis fósseis. Em sua essência, o filme acertou.

[Em artigo da revista Science News](#), o jornalista Thomas Sumner reanalisa as previsões do filme, o que mudou nos últimos dez anos, onde o filme acerta e onde erra. Uso o artigo de Sumner como ponto de partida para traçar comentários sobre essa questão, de urgência global e imediata.

O filme prevê que, em 10 anos, as neves de Kilimanjaro não existirão mais. Felizmente, não é o caso, mesmo que o volume das geleiras tenha diminuído criticamente. Talvez o maior equívoco do filme seja sua retórica cataclísmica, atribuindo certos desastres climáticos ao aquecimento global. Por exemplo, o terrível furacão Katrina, que atingiu os EUA em agosto de 2005, matando 1245 pessoas. Dado que os estudos sobre o aquecimento global são de natureza estatística, é um tanto arriscado atribuir um evento específico ao aumento global de temperatura. Mais correto é observar tendências que vão se acumulando, enquanto dados vão sendo coletados. Mesmo assim, o filme acerta bem

mais do que erra. É fácil entender o porquê do exagero retórico. O perigo existe e está mudando nosso planeta. Sem fazer barulho, ninguém escuta nada.

Lonnie Thomson, o climatologista mundialmente famoso cujos estudos do degelo acelerado das geleiras andinas foi inspiração para o filme, reafirma sua posição: “Estamos confirmando que a física e a química dos últimos 200 anos (usadas nas previsões de mudanças climáticas) está correta. Aprendemos muito nos últimos dez anos, mas o fato é que a rápida mudança climática que presenciamos nos últimos 40 anos está sendo causada pelo aumento de gás carbônico na atmosfera”.

- *Furacões*: em 2006, a previsão era de que a frequência e intensidade dos furacões aumentaria devido ao aquecimento dos oceanos. Passados dez anos, a frequência dos furacões caiu um pouco, e sua intensidade não mudou muito. Ainda. Um estudo publicado em 2010 no jornal Science prevê que o número de furacões de categoria 4 e 5 (esse é o nível do Katrina) poderá dobrar até 2100, mesmo se o seu número total não aumentar. Ou seja, aumenta a intensidade dos furacões e não o seu número. Para piorar, com a subida prevista do nível do mar, os furacões penetrarão mais terra adentro, aumentando os danos. Portanto, hoje vemos que a ameaça dos furacões é ainda mais séria do que mostrada no filme.
- *Circulação dos Oceanos*: em 2006, uma previsão importante afirmava que o degelo nas regiões árticas iria inundar o Atlântico Norte com água doce fria, interrompendo o fluxo de água morna dos trópicos até a Europa. Hoje, essa interrupção não parece que irá ocorrer. Por outro lado, foi detectada uma desaceleração gradual das correntes oceânicas, que impactará principalmente o clima ao longo do Atlântico. Essa desaceleração, sem precedentes nos últimos 1000 anos, ainda não tem um impacto claro a longo prazo. Ou seja, o prognóstico é potencialmente pior do que o mostrado no filme.
- *Secas e Conflito Social*: mesmo que seja arriscado equacionar mudança climática com instabilidade política, o período de 1998 a 2012 foi o mais seco no leste do Mediterrâneo desde 1100. Pessoas com sede e fome partem em busca de água e comida. Secas severas interrompem a produção e distribuição de alimentos, causando migrações para áreas urbanas. Essas migrações, por sua vez, causam instabilidade social e crises de refugiados. Alguns comentaristas atribuem, ao menos parcialmente, a guerra de Darfur em 2003 e, agora, a guerra na Síria, à escassez de alimentos na região. Previsões recentes indicam o aumento das secas

em diversas regiões espalhadas pelo mundo, incluindo partes da África e a Califórnia, que, desde 2011, vem atravessando a pior seca desde que dados começaram a ser coletados em 1895. Mais uma vez, a situação é ainda mais grave do que previsto no filme.

- *Gelo no Ártico e Antártica*: em 2006, a previsão era de que o Ártico veria seu primeiro verão sem gelo no mar em 50 ou 70 anos. A previsão agora é que isso ocorrerá até 2052, nove anos antes. Quando o gelo—que reflete o sol—derrete, os oceanos escuros absorvem mais calor, aquecendo mais rapidamente. Em 2002, a geleira Larsen B, na Antártica, com 3.250 quilômetros quadrados de extensão e 220 metros de espessura, [colapsou após 12 mil anos de estabilidade](#). A água aquecida penetra mais profundamente nas geleiras, acelerando o processo. O degelo do lado oeste da Antártica aumentaria o nível do mar de 3 metros, com efeitos catastróficos para as regiões costeiras do Brasil e do mundo. Felizmente, a região leste continua estável, mais do que o previsto quinze anos atrás. Se derreter, o aumento do nível do mar seria de 60 metros. Cerca de 200 milhões de pessoas vivem abaixo de cinco metros do nível do mar. Para onde essas pessoas iriam? Para o interior, numa migração sem precedentes na história. Imagine 5 milhões de cariocas invadindo São Paulo.
- *Aumento do Nível do Mar*: o mar está subindo a uma taxa atual de três milímetros por ano e chegará a um total de um metro até 2100 se nada for feito para reduzir a emissão de gases que causam o efeito estufa. Ao menos desde a fundação do Império Romano que não se vê isso. O colapso das geleiras na Antártica aceleraria dez vezes essa taxa. Investigando fósseis de corais no Taiti datando de 150.000 anos, cientistas ficaram alarmados com o aumento do nível do mar durante a última era glacial, em torno de 14.650 anos atrás. O mar subiu 14 metros, a uma taxa de 14 milímetros por ano. Ao menos metade desse aumento foi causado pelo degelo parcial da Antártica.
- *Temperaturas Extremas*: a previsão anterior era que o aquecimento global intensificaria tanto períodos mais quentes quanto mais frios. Essa intensificação vem ocorrendo apenas com os períodos mais quentes. Quando a umidade sobe, você suar mais e seu coração bate mais rápido, de modo a regular a temperatura do seu corpo (se você é corredor, sabe o que ocorre durante uma corrida em umidade alta). A um determinado momento, esse mecanismo natural de refrigeração começa a falhar, causando desidratação severa. Em 2015, ondas de calor na Índia

e no Paquistão mataram milhares de pessoas. Ethan Coffel, da Universidade de Columbia nos EUA, prevê que, até 2060, 250 milhões de pessoas estarão expostas a níveis letais de calor e umidade. Por outro lado, as frentes frias serão cada vez mais raras.

Passados quinze anos desde o lançamento do filme, a situação é ainda mais grave. A maior dificuldade para a aceitação dessas previsões pelo público é que não são imediatas ou relacionadas com um evento específico. É bem mais conveniente não se preocupar com uma previsão, a menos que haja urgência ou um mecanismo transparente de causa e efeito. Se os cientistas pudessem afirmar, com certeza absoluta, que no dia 23 de janeiro de 2025, o mar invadiria o Rio de Janeiro, alagando 50% da cidade, a coisa seria diferente. Mas não é assim que funciona esse tipo de ciência. Cientistas fazem previsões baseados na análise detalhada de dados, trocando informações em conferências e publicações especializadas. O processo não é perfeito (alguma atividade humana é?), mas tem a enorme vantagem de se autocorrigir. Quanto mais estudamos um determinado assunto, mais aprendemos sobre ele. É o único método que temos para saber o que poderá ocorrer no mundo natural com uma margem respeitável de certeza.

Pondo esses quinze anos em perspectiva, não há dúvida de que o aquecimento global é uma realidade e que está já afetando padrões climáticos. É perfeitamente consistente com o funcionamento da ciência que a taxa dessa mudança não seja exatamente como prevista quinze anos atrás. Mesmo assim, o que sabemos hoje é mais do que suficiente para determinar as causas do que está ocorrendo. Deveria, também, ser mais do que suficiente para gerar uma mudança de perspectiva global, tanto ao nível individual quanto ao nível corporativo e político. Os dados existem, e são acessíveis aos que querem entender o que de fato está ocorrendo. A verdade do aquecimento global pode ser inconveniente, mas é a nossa verdade, que dividimos coletivamente nesse planeta de recursos finitos. Se existe uma lição da história que podemos usar aqui, é que se recusar a confrontar uma crise inevitável nunca é uma boa estratégia.

A Ciência é Moral?

A aliança entre o Estado e a ciência data dos primórdios da civilização. Por milhares de anos, antes do início do século XVII marcar o nascimento da ciência moderna, artesões desenvolveram ligas metálicas, arcos mais precisos, pólvora e muitas outras invenções a serviço do Estado, tanto para defender quanto para atacar.

A pedido do rei Gelão II, o grande inventor e matemático grego Arquimedes desenhou armas para proteger a cidade de Siracusa dos navios romanos. Relatos históricos (talvez um pouco exagerados) contam que construiu catapultas gigantescas e usou espelhos e lentes gigantes para incendiar as naves invasoras.

De qualquer forma, aplicação do conhecimento científico no desenvolvimento de armamentos é parte essencial da história da humanidade. Felizmente, essa não é, me parece, a motivação principal que leva jovens a seguir uma carreira científica. A maioria escolhe ser cientista para se engajar no estudo da Natureza em todas as suas manifestações, vivas (nas ciências biológicas) e não-vivas (nas ciências físicas) ou para desenvolver tecnologias que potencialmente possam melhorar a qualidade de vida da humanidade: mais conforto e energia, mais comida, mais saúde. Por outro lado, excluindo alguns poucos tópicos de pesquisa extremamente rarefeitos, a maioria absoluta das áreas de pesquisa necessitam de fomento, seja ele proveniente do governo ou da iniciativa privada. É aqui que nasce a aliança entre a ciência e o Estado.

A intensidade dessa aliança depende de circunstâncias políticas. Tipicamente, em tempos de guerra ou durante regimes autoritários, a aliança é fortalecida e o Estado engaja cientistas para defender seus interesses estratégicos. Dentro dessa realidade, as reações dos cientistas são variadas. Por exemplo, os irmãos Wright não tiveram o menor escrúpulo de vender seus aviões para o exército americano em 1909, enquanto que o uso de aviões como armas de guerra horrorizou nosso Santos Dumont, a ponto de possivelmente ter contribuído para o seu suicídio em 1932.

Na Primeira Guerra Mundial, o impacto da ciência foi essencial. A guerra é muitas vezes chamada de “Guerra dos Químicos” pelo uso de gases venenosos nas frentes de batalha, com resultados devastadores para ambos os lados. Mais de 124 mil toneladas de gases venenosos foram usadas, em violação da Convenção de Hague de 1899. Na Alemanha, grandes empresas como a Bayer, Hoescht e BASF juntaram-se ao Instituto de

Pesquisas Kaiser Wilhelm, sob direção do prêmio Nobel de química Fritz Haber, para desenvolver bombas capazes de espalhar os gases nas trincheiras.

A contratação de empresas privadas pelo Estado é típica nesses casos. Em geral, os vencedores são aqueles que detêm as tecnologias mais avançadas. Quando necessário, o Estado desenvolve complexos de pesquisa dedicados ao desenvolvimento de novas tecnologias bélicas, muitas vezes contratando times de cientistas para chefiar as pesquisas, como no caso de Fritz Haber. A aliança entre o Estado e a ciência é vista como essencial para proteger a população e a hegemonia estatal: o cientista, patriota, vê-se encurralado, sabendo que seus conhecimentos podem defender seu país e comunidade ao mesmo tempo que sabe, também, a devastação que podem causar.

Se a Primeira Guerra Mundial foi a Guerra dos Químicos, a Segunda foi a dos físicos. Entre a invenção do radar em 1935, alguns anos antes da guerra e, mais dramaticamente, a bomba atômica em 1945, a aplicação de conceitos novos da física no desenvolvimento de equipamentos de detecção e armamentos de destruição teve um papel essencial na vitória dos Aliados, despertando uma conscientização do poder da ciência inédita na história.

Após o primeiro teste da bomba atômica no deserto de Alamo Gordo, no Novo México, o físico e diretor do Projeto Manhattan, J. Robert Oppenheimer, citou o Bhagavad Gita, escritura religiosa hindu, para expressar seus sentimentos: “Agora sou a Morte, destruidora de mundos”. Para Oppenheimer e todos os demais cientistas e militares presentes, era claro que o mundo jamais seria o mesmo. Pela primeira vez na história, o homem havia atingido um poder de destruição de proporções globais.

Enquanto muitos cientistas eram veementemente contra o uso de armas nucleares em qualquer conflito, outros não viam outra forma de deter o inimigo. O orgulho nacional, misturado com o patriotismo, a curiosidade científica e o medo de que os nazistas pudessem também desenvolver a bomba atômica, eram um combustível poderoso (após a guerra, ficou claro que os nazistas estavam longe de construir uma bomba atômica, mas, durante o conflito, a informação era inconsistente). Mesmo assim, continua sendo um mistério como o grupo de cientistas que contribuiu para o Projeto Manhattan, na maioria indivíduos de natureza pacífica, intelectualmente abertos, sempre dispostos a dividir o conhecimento entre si, colaborou na construção de uma arma tão nefasta.

Por outro lado, uma vez que a arma foi construída, a decisão de usá-la não pertence aos cientistas que a criaram. Esse é um ponto essencial na aliança entre o Estado e a ciência: mesmo que, ocasionalmente, cientistas possam até trabalhar entusiasticamente

no desenvolvimento de uma nova arma, a decisão de como e onde usá-la vem do poder executivo, presumivelmente com o apoio do legislativo (ou não, em regimes autoritários).

O sucesso da ciência norte-americana durante a Segunda Guerra iniciou uma nova era no fomento da pesquisa científica, tanto básica quanto aplicada. No pós-guerra, a corrida armamentista disparou, aquecida pela Guerra Fria e pelo medo de um ataque Soviético. Na década de 1960, a corrida espacial pôs lenha no fogo, acelerando ainda mais o fomento da pesquisa. Tanto nos EUA quanto na União Soviética, a ciência básica era vista como essencial na geração de ideias que potencialmente poderiam ser usadas em tecnologias de defesa. Em julho de 1945, Vannevar Bush, diretor do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento Científico dos EUA, declarou num relatório para o presidente Truman (iniciado sob o governo do presidente Roosevelt), intitulado *Ciência: A Fronteira sem Fim*:

O espírito dos pioneiros ainda é vigoroso em nossa nação. A ciência oferece um território inexplorado para o pioneiro que detém os instrumentos necessários para esse objetivo. As recompensas dessa exploração para a Nação e para o indivíduo são enormes. O progresso científico é a chave essencial para a segurança nacional, para a nossa saúde, para gerar novos empregos e uma qualidade de vida mais elevada, para nosso progresso cultural.

A ciência é uma oportunidade para o indivíduo e para a nação. Não pode progredir sozinha, precisando ser apoiada pelo Estado e pela iniciativa privada. Obviamente, a pesquisa industrial é essencial e hoje é dominante, inclusive na corrida espacial.

O que é raramente discutido, mesmo que sempre esteja implícito, é a moralidade das escolhas que são (ou não) feitas por cientistas que trabalham nas diversas áreas de pesquisa. Rotular a ciência como sendo moral ou imoral não faz sentido. A ciência em si é amoral, uma coletânea de fatos sobre o mundo natural obtidos pacientemente por cientistas, profissionais que seguem uma metodologia de análise quantitativa de dados e observações. Isso é tanto verdade para cientistas que estudam frentes de choque em detonações explosivas, como para cientistas, engenheiros e técnicos que desenham ou trabalham nas linhas de montagem de bombas, ou para físicos de partículas que buscam pelos componentes fundamentais da matéria.

A questão do uso correto ou errado da ciência emerge na relação entre os cientistas e seus patronos, sejam eles o governo ou o setor privado. É verdade que ter uma arma não

é a mesma coisa do que usar a arma. Desde o bombardeio de Nagasaki pelos EUA, nenhuma outra bomba atômica foi usada. A política de prevenção de conflitos nucleares, ao menos por ora, está funcionando. Porém, também é possível argumentar que ter uma arma é a condição essencial para poder usá-la. Ter uma vasta coleção de armas nucleares é uma estratégia de pacificação um tanto instável, assunto que tratei nessas páginas anteriormente. E este é o cerne da questão na aliança entre a ciência e o Estado. A aliança é, por construção, instável. A decisão do uso das armas, inclusive as nucleares, está nas mãos do líder do país, que é, em última instância, a pessoa responsável pelo seu uso. Não são os cientistas que decidem quais armas são usadas, ou quando.

Portanto, o que dizer do cientista que trabalha nessa área? Não me parece que há uma resposta simples. Existem várias profissões que podem prejudicar ou ferir pessoas. Existem muitos modos de ferir o outro. Se o fazem dentro da indústria bélica, é porque escolheram fazê-lo, por uma ideologia de patriotismo ou de orgulho nacionalista. Porém, a decisão moral de como a ciência é usada está nas mãos daqueles que detêm o poder de decidir como será usada. Por isso é essencial que o cidadão saiba escolher seus líderes políticos. Ou onde trabalha.

FIM