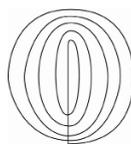


REVOLUÇÕES CIENTÍFICAS

EDIÇÃO DE 2022 do

COMPÊNDIO EM LINHA DE PROBLEMAS DE FILOSOFIA ANALÍTICA

2018-2021 FCT Project PTDC/ FER-FIL/28442/2017



Editado por
Ricardo Santos e Pedro Galvão

ISBN: 978-989-8553-22-5

Compêndio em Linha de Problemas de Filosofia Analítica
Copyright © 2022 do editor
Centro de Filosofia da Universidade de Lisboa
Alameda da Universidade, Campo Grande, 1600-214 Lisboa

Revoluções Científicas
Copyright © 2022 do autor
Eduardo Castro

DOI: <https://doi.org/10.51427/cfi.2022.0001>

Todos os direitos reservados

Resumo

Artigo opinativo sobre o estado da arte das revoluções científicas. Centrado em *A Estrutura das Revoluções Científicas* e no material pós-*Estrutura*, de Thomas Kuhn, este artigo analisa conceitos fundamentais sobre as revoluções científicas. A análise não é exegetica, mas sim crítica, e alicerça-se na literatura contemporânea. Discutem-se as linhas principais que se derivam do modelo kuhniano de desenvolvimento científico – incomensurabilidade, construtivismo e progresso científico. O artigo também introduz ao estado da arte das revoluções em matemática, detalhando para o efeito uma revolução matemática – as geometrias não-euclidianas. Na parte final do artigo dá-se uma visão geral de algumas adendas contemporâneas ao sistema kuhniano.

Palavras-chave

Construtivismo, incomensurabilidade, paradigma, progresso científico, matemática.

Abstract

Opinionated state of the art paper on scientific revolutions. This paper analyses fundamental concepts around *The Structure of the Scientific Revolutions* and the post-*Structure* publications of Thomas Kuhn. This paper is not exegetical, but critical, and it is based on contemporary literature. It discusses the main themes of the Kuhnian philosophical system – incommensurability, constructivism and scientific progress. The paper also introduces the state of the art of mathematical revolutions. It gives a detailed analysis of a mathematical revolution – the non-Euclidean geometries. It sums up some contemporary extensions to the original Kuhnian system.

Keywords

Constructivism, incommensurability, paradigm, scientific progress, mathematics.

Revoluções Científicas

DOI: <https://doi.org/10.51427/cfi.2022.0001>

1 Introdução

No dia 21 de Janeiro de 1793, Luís XVI foi guilhotinado na Praça da Concórdia em Paris. O guilhotinamento do monarca é o culminar dum curso de acontecimentos que se iniciaram com a tomada da Bastilha, em 14 de Julho de 1789. A monarquia foi momentaneamente restaurada mais tarde, com a ascensão de Luís XVIII. Mas o regime republicano acabou por se instaurar definitivamente. O poder, as relações de poder e as leis do antigo regime foram eliminados. Houve um corte com o passado. A lei de *La Republique* impôs uma nova ordem e uma nova organização social: *Liberté, Égalité, Fraternité*. Esta sucessão de acontecimentos políticos e sociais é chamada de *Revolução Francesa*.

Na política, na arte e noutros domínios da cultura é comum falar-se de revoluções. Todavia, até aos anos 60 do século passado, isso não parecia ser o caso da ciência. A historiografia da ciência apresentava a ciência como uma actividade que se desenvolvia em contínua acumulação de conhecimento. Esta historiografia é corrente nos manuais de ciência. Com fins pedagógicos, a história das disciplinas é uma cronologia de heróis e feitos científicos do passado. A própria sequência dos conteúdos científicos dos programas disciplinares é reconstruída. A dinâmica do conhecimento científico é apresentada segundo uma estrutura linear e contínua de desenvolvimento. Os manuais são permanentemente reescritos à luz do paradigma dominante. As novas descobertas são ilusoriamente descritas como mais um 'tijolo' no longo muro do conhecimento, em construção desde a Antiguidade. Esta historiografia é assimilada pelos cientistas e inculcada nos estudantes como sendo a história do desenvolvimento científico.

Contra esta 'velha' historiografia, Thomas Kuhn publica *A Estrutura das Revoluções Científicas*, em 1962. Uma proposta radical: o desenvolvimento da ciência é um processo dinâmico. Períodos mais ou

Publicado pela primeira vez em 2022

menos longos de prática de ciência normal são interrompidos por períodos breves de ciência revolucionária. As revoluções científicas produzem mudanças de paradigmas científicos. O conhecimento científico, enquanto empreendimento cumulativo de conhecimento, apenas ocorre durante os períodos de ciência normal. O processo revolucionário conduz ao estabelecimento de um novo paradigma científico. Este processo revolucionário é um processo de ruptura com o paradigma científico precedente. Após uma revolução, o conhecimento científico anterior não é completamente acomodado no novo paradigma. Uma revolução científica é um processo não-cumulativo no empreendimento do conhecimento científico.

Este artigo tem o itinerário seguinte. Na secção 2 faço algumas observações sobre *A Estrutura das Revoluções Científicas* e sobre o material pós-*Estrutura* que Kuhn publicou. Na secção 3 sintetizo as principais etapas do ciclo científico do modelo kuhniano. A secção 4 é dedicada a uma das teses mais polémicas em volta da *Estrutura* – a incomensurabilidade. Nesta secção analiso três variantes da tese de incomensurabilidade: a incomensurabilidade metodológica, a incomensurabilidade semântica e a incomensurabilidade perceptiva. A secção 5 é sobre a doutrina do construtivismo. Na secção 6 analiso a noção de *progresso científico*, à luz do modelo kuhniano. Na secção 7 faço uma introdução ao estado da arte das revoluções matemáticas. Na secção 8 sintetizo algumas adendas contemporâneas ao modelo kuhniano.

Este artigo não é uma exegese da *Estrutura* nem do material pós-*Estrutura* de Kuhn. É um artigo de análise crítica sobre esse material bem como do material publicado por outros autores sobre o assunto *revoluções científicas*. No entanto, não é minha pretensão alimentar a bibliografia de querelas frívolas derivadas da *Estrutura*, que atingiu o seu auge nos anos 90 com as chamadas *science wars*. Inevitavelmente, há uma suposição de partida para a redacção deste artigo: grande parte das ideias* que vou analisar e criticar são as ideias* da *Estrutura* e do material pós-*Estrutura*. Quanto mais próximas as ideias* aqui discutidas forem próximas das ideias da *Estrutura* e do material pós-*Estrutura*, tanto mais reflectem o pensamento efectivo de Kuhn e tanto mais me congratularei com a minha análise.

2 Kuhn: *Estrutura e pós-Estrutura*

A *Estrutura das Revoluções Científicas* é a referência sobre o conceito *revoluções científicas*. Esta obra é popular. A *Estrutura* vendeu mais de 1 milhão de exemplares e foi traduzida em mais de uma dúzia de línguas. A *Web of Science* regista cerca de 14000 citações da *Estrutura*, excluindo as citações de traduções da obra.

A *Estrutura* não é uma obra que siga o cânone da redacção filosófica. Num livro tradicional de filosofia, os termos e conceitos principais são esclarecidos *ab initio* por definições ou caracterizações precisas. Muitas das vezes, uma parte essencial do livro consiste na discussão dessas definições e caracterizações. A *Estrutura* não segue este cânone. Termos e conceitos filosoficamente relevantes – e.g., *progresso*, *relativismo* e *mundo* – surgem no texto de modo abrupto, sem qualquer caracterização ou definição na sua introdução. Por outro lado, na *Estrutura* são exaustivamente dissecados outros conceitos como *paradigma*, *ciência normal* e *revolução*. Todavia, as caracterizações destes conceitos são de tal forma abrangentes e imprecisas que caem novamente fora do cânone da redacção filosófica. Por exemplo, a respeito de um dos conceitos mais importantes do livro – *paradigma* – Masterman (1970: 61) identificou 21 sentidos diferentes desse conceito na *Estrutura*!

No prefácio à edição comemorativa do quinquagésimo aniversário da 1ª edição da *Estrutura*, Ian Hacking defende o estilo de redacção de Kuhn. Por exemplo, considera ser uma virtude a ausência de uma teoria de verdade na *Estrutura* que clarifique o uso do termo 'verdade', porque 'os amantes dos factos, que tentam determinar a verdade sobre algo, não estabelecem uma "teoria da verdade". Nem o devem fazer.' Parece-me haver aqui alguma precipitação. Para estabelecer factos são necessárias palavras, e.g., termos e conceitos. Sem uma clarificação mínima dessas palavras, cada um faz a sua própria interpretação dessas mesmas palavras. Por exemplo, o conceito *verdade* é um conceito paroquial, antes do seu esclarecimento. A *Estrutura* e o seu estilo tornaram-se uma fonte inesgotável para os mal-entendidos. Há várias passagens obscuras, metáforas incompreensíveis e outras malformações. O resultado foi que toda a gente leu *n'importe quoi*. A 'gritaria' que se seguiu à volta da *Estrutura* é, em grande medida, uma consequência destas malformações.

Talvez a prateleira mais adequada para a *Estrutura* não seja a prateleira

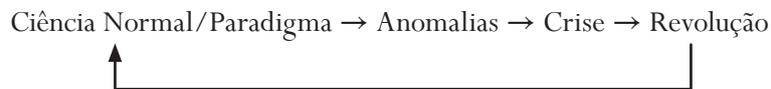
de Filosofia, nem sequer a prateleira de Filosofia da Ciência. Alexander Bird (2001: 29), por exemplo, considera que a *Estrutura* não é, primariamente, um livro de Filosofia, mas um livro de Teoria da História da Ciência. Esta classificação disciplinar, porém, contraria as próprias intenções de Kuhn, que pretendeu escrever um livro para filósofos (Kuhn 2000: 276); e contradiz também os programas curriculares das disciplinas de Filosofia da Ciência, onde a *Estrutura* continua a ser uma referência primária nesses programas. Em contraste, os programas curriculares das disciplinas de História da Ciência ignoram esse livro, talvez por o considerarem demasiado filosófico.

O material publicado por Kuhn após a *Estrutura*, nomeadamente, Kuhn (1977; 2000), procurou esclarecer algumas das passagens obscuras e dos mal-entendidos criados na *Estrutura*, excisando algumas das malformações iniciais. Felizmente, este material revelou-se filosoficamente mais rigoroso do que a *Estrutura* e com grande *panache*.

David Hume renegou a sua primeira obra, *Tratado da Natureza Humana*, apontando-a como um erro de juventude. Kuhn, apesar de admitir que certas passagens da *Estrutura* são metafóricas, intuitivas e uma fonte de mal-entendidos escusados, não renegou a *Estrutura*. No essencial, a visão de Kuhn acerca das revoluções científicas não se modificou no material pós-*Estrutura*. Embora 'aqui e ali' seja possível identificar um *Kuhn*₂, em contraste com um *Kuhn*₁, no geral, o material pós-*Estrutura* constitui-se numa evolução das ideias da *Estrutura*. O conjunto bibliográfico composto pela *Estrutura* e a pós-*Estrutura* é assim um material fértil para a exegese, mas movediço para a crítica certa.

3 Ciclo científico

O ciclo do desenvolvimento científico tem a estrutura seguinte:



3.1 Ciência normal

Ainda antes do início da actividade de ciência normal, há um período de ciência imatura, onde os praticantes de ciência não partilham qualquer

paradigma. Esta prática científica encontra-se em sociedades primitivas antigas ou tribais ou mesmo em ciências em estado embrionário. A actividade de ciência normal apenas ocorre em ciências maduras que partilham um paradigma científico para o seu desenvolvimento.

A ciência normal é caracterizada pela actividade de resolução de quebra-cabeças. Um quebra-cabeças é visto como um problema científico. Tal como os problemas de palavras cruzadas, xadrez ou sudoku são quebra-cabeças. Em contraste, as pseudociências não têm qualquer actividade de resolução de quebra-cabeças. A actividade de ciência normal consiste numa articulação e refinação entre as teorias, de um dado paradigma, e os próprios dados empíricos da natureza. 'A ciência normal deve continuamente empenhar-se para que as teorias e os factos estejam cada vez mais em concordância' (Kuhn 1996: 80). Este é um processo cumulativo. O cientista na sua actividade de ciência normal vai acrescentando 'tijolos' ao muro do seu paradigma.

3.2 *Paradigma*

Numa primeira aproximação ao conceito *paradigma*, um paradigma é aquilo que é partilhado por uma comunidade científica. Esta partilha não se constitui somente na partilha de teorias empíricas centrais à comunidade, mas também na partilha de técnicas de resoluções de problemas, valores científicos e crenças metafísicas (Kuhn 1996: 181–187). Mais tarde, Kuhn precisou o conceito *paradigma* segundo dois sentidos fundamentais. Num sentido global, um paradigma é aquilo que abarca todos os compromissos de uma comunidade científica. Num sentido estrito, um paradigma é uma particularidade específica do sentido global anterior (Kuhn 1977: 294). O primeiro sentido é o sentido sociológico do conceito. Um paradigma é uma matriz disciplinar que envolve o conjunto de crenças, valores e técnicas de uma comunidade científica. Há três elementos cognitivos fundamentais desta matriz disciplinar: generalizações simbólicas, modelos e exercícios exemplares. Os exercícios exemplares representam o sentido estrito do conceito *paradigma*.

As generalizações simbólicas são generalizações formais e lógicas de ideias partilhadas pelo grupo científico, em particular, formalização de leis ou teorias científicas como a segunda lei de Newton, $F = m \cdot a$, a lei de Ohm, $V = RI$, e tantas outras. A respeito destas

generalizações, os cientistas usam-nas de forma pacífica. Por sua vez, os modelos são analogias comparativas. Por exemplo, diz-se que num gás as moléculas são como 'bolas de bilhar'; as linhas de um campo de forças são como 'linhas elásticas'; a luz propaga-se como as 'ondas da agitação de águas paradas', etc.

Os exercícios exemplares são aqueles exercícios clássicos que são partilhados por todos os membros da comunidade científica, aquando da sua educação científica. Cada comunidade científica tem o seu conjunto de exercícios exemplares clássicos, tal como cada comunidade científica tem o seu paradigma. Estes exercícios encontram-se em manuais, sebentas, aulas práticas ou experiências laboratoriais. São o elemento mais importante na formação de um estudante. Por exemplo, em Física é um exercício 'clássico' o estudo do movimento de um bloco a deslizar num plano inclinado. Esta é uma das aplicações mais conhecidas das leis de Newton, onde se pretende que o estudante calcule uma das variáveis a respeito desse exercício como a força, a velocidade ou a aceleração. As noções de *força* e *massa* são simplesmente introduzidas ao estudante segundo o seu sentido corrente do dia-a-dia. Apenas se acrescenta uma dimensão física a estas noções que decorre do chamado *Sistema Internacional* (Newton para *força* e quilograma para *massa*). Por outras palavras, não há qualquer discussão teórica ou fundamental sobre o significado físico que tais noções representam, pelo menos nos primeiros anos da sua graduação. O que importa são as aplicações exemplares dessas noções.

Mais seriamente, os exercícios exemplares clássicos têm implicações na formação cognitiva dos alunos. Estes exercícios formatam o pensamento para a investigação futura. Muitos dos futuros quebra-cabeças do investigador remetem para estes exercícios basilares. Assim, na actividade de investigação é comum a analogia, a extensão e a mimetização de técnicas de resolução de problemas precedentes.

3.3 *Anomalias e crise*

A actividade de ciência normal consiste na resolução de quebra-cabeças e não é dirigida para a descoberta de novidades. Uma novidade é uma anomalia que não encaixa no paradigma em que se desenrola a actividade de ciência normal. Em certa medida, é como se a natureza surpreendesse o cientista no seu trabalho de investigação. Note-se,

no entanto, que as anomalias resultam da própria actividade de ciência normal. Quanto mais preciso e refinado é o paradigma que coordena a actividade de ciência normal, tanto mais é sensível ao aparecimento de anomalias.

Podem-se distinguir dois tipos de anomalias: umas, mais insignificantes, são resolvidas pela própria actividade da ciência normal; outras, mais sérias, conduzem a crises científicas. As crises científicas, por sua vez, conduzem a períodos de ciência extraordinária. Este é um período de convulsão com duas saídas possíveis. Numa saída, a anomalia não é resolvida e é colocada entre parêntesis para uma análise futura. Há um regresso à actividade de ciência normal no âmbito do paradigma que originou a anomalia. Noutra saída, a anomalia e a crise que ela espoletou resolvem-se por uma mudança de paradigma. Apenas nesta última saída é que ocorre uma revolução científica.

Algumas anomalias são especialmente recalcitrantes no paradigma e podem-se prolongar durante muitos anos até à sua resolução. Por exemplo, o movimento de precessão do periélio de Mercúrio foi uma anomalia no interior da teoria gravitacional de Newton que apenas se resolveu passados vários séculos com a formulação da Teoria da Relatividade Geral, no século XX. Em contraste, outras anomalias podem-se resolver muito rapidamente. Por exemplo, a descoberta acidental dos raios-x, por Röntgen, é uma anomalia que se resolveu num curto espaço de tempo. Enquanto estava a testar raios catódicos no seu laboratório, Röntgen apercebeu-se que uma placa de platina e bário brilhava em cada descarga no tubo de raios catódicos. Decorridas algumas semanas, Röntgen anunciou a sua descoberta, não sendo esta precedida por qualquer crise.

Uma crise é um período de insegurança profissional em que o paradigma vigente é questionado. Uma das características dos períodos de crise é a proliferação de novas teorias e de experiências de pensamento com vista a solucionar as anomalias no interior do paradigma (Kuhn 1977: 263). Vivem-se momentos semelhantes àqueles que governam a actividade científica em períodos pré-paradigmáticos.

3.4 *Revolução científica*

A transição de um período de ciência extraordinária para um novo

período de ciência normal, com um novo paradigma, opera-se por intermédio de uma revolução científica. Sucintamente, uma revolução científica é uma mudança de paradigma.

As revoluções científicas são comparáveis às revoluções políticas. O acumular de anomalias e a crise conduzem a um extremar de posições entre os cientistas. Inicialmente, um grupo maioritário, digamos, um grupo reaccionário, defende o 'velho' paradigma contra os 'novos' paradigmas candidatos. As posições extremam-se e há uma quebra na comunicação. No final de todo este período conturbado há um 'novo' paradigma que acaba por substituir o 'velho' paradigma.

Para haver uma revolução política não é suficiente haver uma crise social e uma revolta de uma parte da população contra o regime. Simultaneamente, tem de haver uma ideologia 'positiva' pronta a substituir a ideologia em vigor. Por exemplo, na chamada *Primavera Árabe Egípcia* não houve qualquer revolução, mas apenas uma revolta 'circular': ditadura militar → irmandade muçulmana → nova ditadura militar. O sentimento de revolta da população foi apenas 'negativo' (e.g. 'Moubarak, dégage') e a crise social não foi acompanhada por qualquer ideologia 'positiva' alternativa. Em contraste, a Revolução Francesa alicerçou-se numa ideologia influenciada pelo Iluminismo, nomeadamente, nas obras e ideias de Rousseau e Voltaire.

Por muito grande que seja a crise científica numa dada disciplina, o paradigma científico que a suporta nunca é abandonado se não houver um paradigma alternativo que o substitua. O paradigma ptolemaico foi acumulando anomalias durante séculos e nunca foi abandonado, enquanto não surgiu um paradigma alternativo – o paradigma copernicano. Esta exigência de haver necessariamente uma alternativa paradigmática 'positiva' para o corte com o passado, a par da crise resultante das anomalias, faz com que as revoluções científicas, tal como as revoluções políticas, sejam fenómenos raros.

Há, contudo, diferenças entre as revoluções políticas e as revoluções científicas. Por exemplo, algumas revoluções políticas são conservadoras, no sentido de que são revoluções que pretendem restaurar uma ordem e poderes passados. Franco e Pinochet acederam ao poder por revoluções conservadoras que instauraram 'velhas' ordens sociais. Na ciência isso não parece ser nunca o caso. Uma revolução científica nunca recupera um paradigma científico passado. Por sua vez, a ideia de que há revoluções políticas ditas *progressistas*, como a

Revolução Francesa, também não é directamente transponível para o domínio científico. Como veremos mais à frente, na secção 6, o alegado progresso entre revoluções científicas tem várias nuances, nomeadamente, não significa um progresso generalizado em todos os aspectos da ciência.

Ernan McMullin (1993: 59) refina uma ideia de Kuhn (1977: XVII) de que as revoluções podem ser de grande ou pequena dimensão. Segundo ele, as revoluções podem ter diferentes níveis de profundidade. Num dos extremos, a revolução do modelo heliocêntrico, e o respectivo abandono do modelo ptolemaico, é uma revolução científica de grande profundidade, que demorou mais de um século a concretizar-se. A revolução das teorias de combustão do oxigénio, e o abandono das respectivas teorias de combustão do flogisto, é uma revolução científica de profundidade média. A descoberta dos raios-x é uma revolução de pequena profundidade.¹

O presumível carácter revolucionário da descoberta dos raios-x tem sido objecto de interpretações dissonantes na literatura. Kuhn (1996: 61) insiste que esta descoberta é uma revolução científica, na medida em que implicou uma mudança de expectativas e de procedimentos. Bird (2001: 42), em contraste, argumenta que a dicotomia kuhiana ciência normal/ciência revolucionária não é exaustiva. A descoberta dos raios-x não encaixa plenamente nesta estrutura: por um lado, é uma anomalia resolvida pela actividade de ciência normal; por outro lado, constitui-se numa revolução científica, mas de menor escala. Brad Wray (2007: 68–69) contrapõe que a estrutura kuhiniana, na verdade, não se esgota na dicotomia ciência normal/ciência revolucionária, mas tem duas outras categorizações adicionais: mudanças originadas pela criação de paradigmas e descobertas pré-paradigmáticas. A descoberta dos raios-x é uma descoberta que não envolveu uma troca de paradigma. Originou um novo paradigma. No entanto, Wray defende que a descoberta dos raios-x não é uma revolução científica, porque não envolve uma mudança taxonómica, sendo esta uma das condições necessárias para a ocorrência de uma revolução científica.

¹ Kuhn (1993: 337) acaba por se distanciar de McMullin defendendo que, apesar de as revoluções científicas terem dimensões diferentes, as revoluções têm todas uma mesma dimensão epistémica.

Mais tarde, Kuhn (2000: 28–32) acaba por abandonar a ideia inicial de que uma revolução científica é uma mudança de paradigma. Influenciado pelos trabalhos de Quine sobre a linguagem e a tradução, Kuhn acaba por inscrever a noção de *revolução científica* no domínio da filosofia da linguagem. Uma teoria científica é uma estrutura conceptual que respeita uma taxonomia hierárquica. Uma revolução científica é uma mudança na estrutura conceptual taxonómica da teoria científica.

4 Incomensurabilidade

As teorias científicas ancoram-se em paradigmas científicos. Assim, teorias respeitantes a paradigmas científicos diferentes podem ser teorias incomensuráveis. Esta talvez seja a tese mais polémica da *Estrutura*. Na verdade, a polémica não se encontra na tese em si, mas nas posições de relativismo que, à primeira vista, se podem inferir da incomensurabilidade.

Em geral, o relativismo fundamenta-se numa alegada incompatibilidade entre teorias científicas incomensuráveis: se duas teorias científicas são incomensuráveis, então essas teorias são incomparáveis. As teorias científicas apenas são internamente comparáveis. Ou seja, apenas podem ser comparadas teorias científicas pertencentes a um mesmo paradigma científico. Teorias científicas pertencentes a paradigmas diferentes são incomparáveis. Para respondermos a este pretenso relativismo na *Estrutura* temos de avançar devagar. Começemos por clarificar a origem do termo 'incomensurabilidade'.

O termo 'incomensurabilidade' é um termo matemático. Consideremos um triângulo rectângulo, cujos catetos têm um comprimento de 4cm e de 3cm. De acordo com o teorema de Pitágoras, a hipotenusa tem 5cm de comprimento. Ora, para os Gregos dois comprimentos diziam-se comensuráveis (literalmente, co-mensurável) se existisse um número inteiro que medisse esses dois comprimentos. Neste caso 1cm é o número inteiro que permite medir os três lados do triângulo. Consideremos agora um triângulo rectângulo isósceles, cujos catetos têm um comprimento l . Novamente, do teorema de Pitágoras segue-se que a hipotenusa do triângulo tem o comprimento $\sqrt{2} l$. Ora, em tais triângulos rectângulos isósceles o comprimento da hipotenusa não é comensurável com o comprimento dos catetos,

pois não existe um número inteiro que permita mensurar os três comprimentos. No entanto, e este é o aspecto importante que tende a ser ignorado a respeito do termo 'incomensurabilidade', o comprimento da hipotenusa pode ser comparado com o comprimento dos catetos. Concretamente, apesar de o comprimento da hipotenusa ser incomensurável com o comprimento dos catetos, o comprimento da hipotenusa é superior ao comprimento dos catetos. Aplicando estas ideias matemáticas às teorias científicas obtemos o resultado seguinte: se duas teorias científicas ancoradas em paradigmas diferentes forem incomensuráveis, não se segue daí que essas teorias científicas sejam incomparáveis. A tese de incomparabilidade não se segue da tese de incomensurabilidade.

No entanto, as coisas não são assim tão simples. Embora Kuhn insista que a incomensurabilidade de teorias científicas não implica que seja impossível comparar teorias científicas, a rejeição da tese da incomparabilidade não pode ser feita apenas invocando que na matemática, por definição, isso não é o caso. Na verdade, na análise das revoluções científicas, a tese de incomensurabilidade de teorias científicas levanta problemas na comparação de teorias científicas e, aparentemente, conduz a um relativismo.

Na incomensurabilidade de teorias científicas podem-se identificar três dimensões interrelacionadas: metodológica, semântica e perceptiva. A incomensurabilidade metodológica é a respeito dos critérios epistêmicos de avaliação das teorias científicas. A incomensurabilidade semântica é a respeito do significado e referência dos termos das teorias científicas. A incomensurabilidade perceptiva é a respeito da noção de *mundo*. Em seguida, analiso cada uma destas três dimensões da incomensurabilidade.

4.1 *Incomensurabilidade metodológica*

Cada paradigma tem os seus próprios critérios epistêmicos para avaliação das teorias científicas. Quando se verifica uma mudança de paradigma, os critérios de epistêmicos de avaliação de teorias científicas também se modificam. A incomensurabilidade metodológica defende assim que não existem critérios epistêmicos neutros nem trans-paradigmáticos, partilhados pela comunidade científica, para avaliação de teorias científicas na transição paradigmática.

Tal como nas revoluções políticas, na escolha de paradigmas não existe um critério mais elevado do que o próprio consentimento da comunidade relevante. Para descobrir como as revoluções científicas são produzidas, devemos assim examinar, não apenas o impacto da natureza e da lógica, mas também as técnicas de argumentação persuasiva efectiva na (...) comunidade de cientistas. (Kuhn 1996: 94)

A incomensurabilidade metodológica de paradigmas estabelece-se no seguinte conjunto de ideias. As teorias científicas são ancoradas em paradigmas científicos. Não havendo critérios epistémicos trans-paradigmáticos para a avaliação de diferentes paradigmas, então não existem critérios epistémicos trans-paradigmáticos para a avaliação de teorias científicas ancoradas em diferentes paradigmas. Assumindo que as teorias científicas são crenças verdadeiras e justificadas, a justificação das teorias científicas depende assim do paradigma em questão. Paradigmas diferentes originam justificações diferentes. À luz do paradigma *x*, a crença *p* é verdadeira; à luz do paradigma *y*, a crença *p* é falsa. Não havendo qualquer terreno comum de justificação trans-paradigmática, a justificação das teorias científicas é relativa ao paradigma. Isto é o chamado *relativismo epistémico*.

Recuperando a analogia com as revoluções políticas, a incomensurabilidade metodológica pretende defender que, após uma revolução política, não será possível avaliar, por exemplo, se as condições de vida da sociedade em geral são ou não melhores do que as da sociedade anterior à revolução. Isto é implausível. O homem comum e o cientista não vivem completamente imersos em universos orwellianos fechados de reescrita permanente da história. Não é plausível que, por exemplo, 'guerra' possa começar a significar *paz* e 'paz' possa começar a significar *guerra*, sem que haja um ponto de vista neutro sobre se a *guerra* é um estado social melhor do que a *paz*. Há critérios trans-paradigmáticos, quer sejam políticos, quer sejam científicos – critérios neutros e universais –, que nos permitem fazer uma avaliação e comparação entre regimes políticos ou teorias científicas.

Mais tarde, Kuhn (1977: 330–333; 1996: 184–186, 199–200) afastou-se da incomensurabilidade metodológica. Acabou por defender que existem valores epistémicos trans-paradigmáticos – 'precisão, consistência, alcance, simplicidade, fecundidade' (Kuhn 1977: 322) –

que permitem avaliar as teorias científicas. Kuhn enfatiza que esta avaliação não segue um algoritmo para a aplicação desses valores, na medida que vários algoritmos seriam igualmente possíveis.²

Sankey (2013: 37) considera que nesta rejeição de Kuhn de um procedimento algorítmico persiste ainda um elemento residual de incomensurabilidade que alimenta o relativismo epistémico. Contrariamente a Sankey, não me parece que deste elemento residual de incomensurabilidade se possa extrair algum relativismo epistémico. O processo racional de avaliação não é um processo algorítmico. Se isso fosse o caso, as avaliações de teorias científicas seriam processos meramente computacionais. Há margem para o chamado *desacordo racional*. Uma discussão sobre os *prós* e *contras* e que atribui diferentes pesos aos critérios epistémicos partilhados é aquilo que considero ser um processo racional da avaliação.

4.2 *Incomensurabilidade semântica*

A incomensurabilidade semântica pretende inferir que se duas teorias são incomensuráveis, então essas teorias são incomparáveis, *via* aspectos semânticos das teorias.

- (1) Se duas teorias são semanticamente incomensuráveis, então essas teorias são intraduzíveis.
- (2) Se duas teorias são intraduzíveis, então essas teorias não são comparáveis.
- (\therefore) Se duas teorias são semanticamente incomensuráveis, então essas teorias não são comparáveis.

Kuhn aceita a premissa (1), mas tenta refutar a premissa (2).

A incomensurabilidade semântica de teorias científicas pode ser considerada global ou local. Uma incomensurabilidade é global se todos os termos das teorias científicas pertencentes a um paradigma são incomensuráveis com todos os termos de teorias científicas pertencentes a um outro paradigma. Esta incomensurabilidade global é desproporcionada. O significado de alguns termos científicos mantém-se inalterado na mudança paradigmática. Por exemplo, o significado

² Há uma grande discussão na literatura sobre este assunto. Ver Okasha (2011; 2015), Morreau (2015) e Stegenga (2015).

dos termos matemáticos básicos, das operações elementares 'multiplicação', 'soma', 'igualdade', etc. mantém-se inalterado na mudança paradigmática da física clássica para a física relativista (e.g., o significado da terminologia matemática empregue na segunda lei de Newton, $F = m.a$, é a mesma que na equação de Einstein, $E = m.c^2$).

A incomensurabilidade das teorias científicas é local. Na transição paradigmática, um conjunto de termos muda de significado, mas para outro conjunto de termos o seu significado não se modifica. O historiador de ciência debate-se assim com o problema de avaliar e identificar a verdadeira dimensão destes dois conjuntos. Em geral, verifica-se a tensão seguinte: o conjunto de termos que muda de significado é inferior ao conjunto de termos invariantes, mas, em sentido contrário, os termos que mudam de significado podem ser muito mais centrais no paradigma do que aqueles que se mantêm invariantes. Por exemplo, na teoria ptolemaica os corpos celestes designados pelos termos 'Lua' e 'Sol' eram planetas. Na transição para a teoria heliocêntrica os termos 'Lua' e 'Sol' passaram a designar *satélite* e *estrela*, respectivamente. Houve uma mudança de significado.

Na transição paradigmática há novos termos que emergem no novo paradigma, sendo difícil estabelecer a correspondência efectiva do termo no paradigma precedente. Por exemplo, na Relatividade Geral o termo 'geodésica' é um termo novo, advindo da geometria não-euclidiana riemanniana, cujo significado físico não tem uma correspondência clara na física clássica. Na relatividade, uma geodésica é a menor distância entre dois pontos, sendo a linha que define o percurso de um raio de luz. Na física clássica, o significado de 'geodésica' é, aproximadamente, capturado pelos termos 'recta' ou 'curva', mas, na verdade, nenhum destes termos consegue capturar na totalidade o significado que o termo 'geodésica' tem em relatividade (por exemplo, a noção de *linha percorrida por um raio de luz* simplesmente evapora-se). É a respeito destes termos que Kuhn defende a incomensurabilidade semântica: um termo científico é incomensurável quando é irredutivelmente intraduzível na linguagem de um outro paradigma diferente no qual se ancora.

A respeito da premissa 2, Kuhn estabelece uma distinção entre tradução e interpretação. Apesar de haver termos irredutíveis na tradução, não se segue que esses termos não possam ser interpretados numa nova linguagem. Se esta actividade interpretativa não fosse

possível, então a história da ciência seria uma actividade impossível. Portanto, a premissa 2 é falsa.

4.3 *Incomensurabilidade perceptiva*

A incomensurabilidade perceptiva é a dimensão mais polémica das três dimensões de incomensurabilidade. Kuhn refere-se a esta dimensão em diferentes passagens:

(...) apesar de o mundo não mudar com uma mudança de paradigma, o cientista em seguida trabalha num mundo diferente. (Kuhn 1996: 121)

Sujeitos crescidos em sociedades diferentes comportam-se, em algumas ocasiões, como se vissem coisas diferentes. (Kuhn 1996: 193)

Durante as revoluções, os cientistas vêem coisas novas e diferentes quando (...) olham para os mesmos aspectos já examinados anteriormente. É como se a comunidade profissional tivesse sido subitamente transportada para um novo planeta (...) [N]uma mudança de paradigma os cientistas começam a ver o seu mundo de investigação de forma diferente. (Kuhn 1996: 111)

Tenho simpatia pela ideia de que há uma impregnação teórica das observações e de que a nossa *visão* do mundo se altera nas transições revolucionárias. Estas minhas apreciações são apenas apreciações epistémicas e não são apreciações ontológicas. No entanto, se lermos com atenção as passagens anteriores reparamos que são ligeiramente ambíguas. Ora o termo 'mundo' é usado com um significado ontológico, ora é usado com um significado epistémico. As passagens anteriores parecem defender que a própria realidade, enquanto entidade ontológica, se pode modificar à medida que obtemos conhecimento sobre a mesma, ou que temos unicamente acesso a uma realidade epistémica que se modifica à medida que a conhecemos.

Kuhn apresentou uma pequena clarificação das passagens anteriores, introduzindo uma distinção entre *sensações* e *estímulos*: estímulos iguais podem originar sensações diferentes; estímulos diferentes podem originar sensações iguais. Por exemplo, perante o mesmo estímulo da imagem pato-coelho podemos ter a sensação de observação

dum pato ou ter a sensação de observação dum coelho. Reciprocamente, perante dois estímulos diferentes de comprimentos de onda diferentes podemos ter uma mesma sensação de cor (Kuhn 1977: 308).

Todavia, Kuhn manteve na ambiguidade o carácter mais polémico da incomensurabilidade perceptiva: '[o]s membros de comunidades científicas diferentes vivem em mundos diferentes, e (...) as revoluções científicas mudam o mundo em que um cientista trabalha' (Kuhn 1977: 309, nota 18). Parece-me que esta ambiguidade pode ser interpretada simplesmente como uma *façon de parler*. Na minha melhor interpretação, 'o mundo em que um cientista trabalha muda', mas apenas no sentido de que o conhecimento do cientista acerca do mundo se modifica aquando de uma revolução científica. Porém, o mundo – a realidade – não muda de todo com o conhecimento do cientista acerca do mesmo. A realidade – os objectos supostos pelas nossas melhores teorias científicas e pelo senso comum – é objectiva e independente do mental. Um ptolemaico e um copernicano 'vivem' numa mesma realidade, embora tenham conhecimentos diferentes acerca dessa mesma realidade. Como veremos em seguida, esta minha interpretação não é de todo consensual na literatura. Alguns autores consideram que nas passagens acima Kuhn pretende afirmar que o que existe depende do nosso conhecimento. A epistemologia precede a ontologia. Isto abre caminho ao construtivismo.

5 Construtivismo

Hoyningen-Huene (1993: cap. 2) propõe um paralelismo entre a distinção kantiana, mundo fenoménico vs. coisa em si (númeno),³ e a distinção kuhniiana, sensação vs. estímulo: 'o hipotético mundo em si da *Estrutura* é agora o postulado mundo de estímulos; o mundo fenoménico da *Estrutura* é agora o mundo de objectos revelado à sensação' (Hoyningen-Huene 1993: 44).⁴

3 'Não podemos ter conhecimento de nenhum objecto, enquanto coisa em si, mas tão-somente como objecto da intuição sensível, ou seja, como fenómeno; de onde deriva, em consequência, a restrição de todo o conhecimento especulativo da razão aos simples objectos da experiência.' (Kant 1994: BXXVI)

4 Estou pouco seguro de que as ideias a discutir nesta secção sejam as ideias

O mundo fenoménico kantiano é o mundo enformado pelas formas puras da intuição – as formas do espaço e do tempo. A *coisa em si* kantiana é aquilo que é permanentemente incognoscível. No seu paralelismo, Hoyningen-Huene propõe que a coisa em si kantiana emerge na proposta de Kuhn como *um mundo em si*, que se mantém fixo nas transições paradigmáticas das revoluções científicas. Por sua vez, o *mundo fenoménico* kantiano emerge na proposta de Kuhn como um mundo que se vai 'trocando' nas transições paradigmáticas das revoluções científicas. Assim, não existe apenas um mundo fenoménico, mas *mundos fenoménicos múltiplos*, consoante o paradigma científico partilhado pela comunidade.⁵ Estamos assim perante uma doutrina construtivista, onde a realidade é parcialmente 'construída' pelo sujeito, em virtude do que este conhece dela. Esta doutrina é diametralmente oposta à doutrina do realismo segundo a qual 'os espécimes da maior parte dos tipos físicos científicos e de senso comum correntes existem objectiva e independente do mental' (Devitt 1984: 23).

De acordo com Devitt (1984; 2001: cap. 9), a doutrina do construtivismo é constituída por três ingredientes: o mundo em si e o mundo fenoménico, ambos de Kant, e por um relativismo. Neste contexto, o relativismo é a tese segundo a qual as teorias científicas dependem do paradigma em que se ancoram.

O mundo em si kantiano é uma alegada entidade que restringe o mundo fenoménico. Apesar de este mundo ser incognoscível, o mundo

de Kuhn sobre o assunto. Quer o mundo em si, quer os mundos fenoménicos múltiplos, devem ser vistos como mundos que Hoyningen-Huene pretende extrair de interpretações do material escrito de Kuhn.

5 O paralelismo de Hoyningen-Huene entre Kant e Kuhn não é totalmente correcto, porque, na verdade, Kuhn tem posições ambíguas relativamente à *coisa em si* e ao *mundo fenoménico* kantianos. Por exemplo, a respeito da coisa em si, ora a rejeita, ora a subscreve: 'A visão que tentei tactear também seria kantiana, mas sem 'a coisa em si' e com as categorias da mente que podem mudar ao longo do tempo à medida que a acomodação da linguagem e a experiência avança' (Kuhn 2000: 207); 'Subjacente a todos estes processos de diferenciação e modificação deve existir, claramente, algo fixo permanente e estável. Mas, tal como a *Ding an sich* [coisa em si] kantiana, é inefável, indescritível e indizível.' (Kuhn 2000: 104). Na subsecção anterior também já comentei a ambiguidade relativamente ao mundo fenoménico.

em si é um mundo objectivo e independente do sujeito. Bizarramente, o mundo em si tem as mesmas características metafísicas da realidade postulada pela doutrina do realismo – a realidade é objectiva e independente do mental –, excepto que, contrariamente ao pressuposto pelo realismo, não podemos conhecer coisa alguma acerca do mundo em si.

O mundo fenoménico kantiano é constituído pelas estruturas cognitivas do sujeito e pelo diverso que se apresenta aos sentidos. Grosseira e contemporaneamente, o diverso é a matéria dos dados brutos da experiência sensorial. O mundo fenoménico depende assim do sujeito. Se não houvesse seres humanos, não haveria mundo fenoménico. Porém, o mundo fenoménico kantiano é um mundo objectivo. As estruturas cognitivas que os sujeitos impõem na matéria experimental – as formas puras da intuição kantianas (o tempo e o espaço) – são as mesmas para todos os sujeitos.

Os alegados mundos fenoménicos múltiplos resultam de uma combinação do relativismo com o mundo fenoménico kantiano. Em vez das formas puras da intuição (o espaço e o tempo), enquanto enformadoras da matéria experimental, temos múltiplos conceitos científicos ancorados em paradigmas que se modificam ao longo das revoluções científicas. Segundo a interpretação de Hoyningen-Huene, as formas puras da intuição kantianas do espaço e do tempo, enquanto formas intemporalmente fixas e objectivas, são substituídas na proposta de Kuhn por conceitos científicos, temporalmente mutáveis nas transições revolucionárias. Contrariamente ao carácter objectivo do mundo fenoménico kantiano, os mundos fenoménicos múltiplos de Hoyningen-Huene são mundos subjectivos que variam conforme o paradigma.

Em suma, os três ingredientes do construtivismo originam dois mundos de Hoyningen-Huene: um mundo em si, objectivo e independente, mas incognoscível; um mundo fenoménico múltiplo, dependente, subjectivo e cognoscível. Em seguida, apresento as minhas objecções ao construtivismo.

Para um naturalista, a nossa ontologia é estabelecida pela nossa melhor ciência. Nenhuma das nossas melhores teorias científicas está comprometida com alegadas coisas em si. O mundo em si é uma entidade obscura que, via princípio da parcimónia, deve ser eliminada da nossa ontologia.

A respeito da alegada existência de mundos fenoménicos múltiplos de Hoyningen-Huene, a sua refutação requer mais detalhe do que aquela que acabei de fazer relativamente ao mundo em si. Tais mundos fenoménicos múltiplos dependem de uma suposição de partida, que tende a ser ignorada, a saber: o mundo fenoménico existe. Apenas após se ter demonstrado a existência deste mundo fenoménico é que se poderá argumentar que as transições paradigmáticas implicam mundos fenoménicos múltiplos sucessivos (Devitt 2001). O mundo fenoménico foi uma criação de Kant. Vou começar por refutar o mundo fenoménico kantiano.

Kant defendeu que a forma pura do espaço era governada pelos axiomas da geometria de Euclides, que era a única geometria conhecida até então. A geometria euclidiana era uma forma de conhecimento *a priori* que se fundamentava na estrutura cognitiva dos sujeitos. O aparecimento das geometrias não-euclidianas no século XIX, e a sua posterior aplicação na Teoria da Relatividade Geral, mostraram que a geometria euclidiana não era a geometria da forma pura da intuição do espaço. As tentativas posteriores de emenda da proposta kantiana, por substituição da geometria euclidiana por uma outra geometria fisicamente corroborada, foram igualmente refutadas.⁶ Sendo o espaço kantiano necessariamente governado por uma geometria, o criticismo teria de se colocar na posição de permanente revisão, consoante a experiência física confirmasse novas geometrias para o espaço físico. Isto era absurdo. Ora o espaço fenoménico kantiano seria a três dimensões; ora o espaço fenoménico kantiano seria a quatro dimensões. Com este argumento também se refutou a pretensão kantiana do conhecimento geométrico como conhecimento sintético *a priori*. O fundamento da geometria não é a estrutura cognitiva dos sujeitos,

6 Por exemplo, Bertrand Russell (1956), ainda antes da formulação da Teoria da Relatividade, considerou que o conhecimento geométrico era conhecimento *a priori*. Russell manteve a ideia kantiana do espaço como uma estrutura mental que enforma toda a experiência. Todavia, contrariamente a Kant, as propriedades desse espaço não eram as propriedades da geometria euclidiana, mas as propriedades da geometria projectiva. Mais tarde, o próprio Russell (1956, 31) repudia esta tentativa de emenda do criticismo. De acordo com as suas palavras, se a sua proposta fosse correcta, a geometria que fundamenta a Teoria da Relatividade Geral era simplesmente impossível. A sua conclusão é retumbante: 'não penso que haja alguma coisa de válido neste meu primeiro livro!'

como Kant acreditava sê-lo, mas a experiência. Mais à frente, na secção 7, *Revoluções em Matemática*, regressaremos a este assunto.

A *Crítica da Razão Pura* foi uma epistemologia para a ciência newtoniana. O paradigma newtoniano era o paradigma dominante na época em que Kant redigiu a *Crítica*. Por outras palavras, o fundamento teórico para as formas puras do espaço e tempo é a física newtoniana. À luz da proposta de Hoyningen-Huene, as estruturas conceptuais do espaço e do tempo kantianas originais podem ser vistas como casos particulares de paradigmas científicos kuhnianos. Temos assim o seguinte paralelismo: as formas puras da intuição estão para o mundo fenoménico kantiano, tal como os conceitos científicos ancorados nos paradigmas estão para os mundos fenoménicos múltiplos de Hoyningen-Huene. *Mutatis mutandis*, o argumento do parágrafo anterior contra o mundo fenoménico kantiano também refuta os alegados mundos fenoménicos múltiplos de Hoyningen-Huene.

Pode-se replicar que o argumento contra o mundo fenoménico kantiano apenas refuta o carácter *objectivo* do mundo fenoménico kantiano. Todavia, dado que os mundos fenoménicos múltiplos de Hoyningen-Huene são subjectivos, o argumento contra o mundo fenoménico kantiano não se aplica aos mundos fenoménicos de Hoyningen-Huene. Nos mundos fenoménicos de Hoyningen-Huene há uma troca sucessiva de paradigmas que enformam a matéria da experiência.

Com vista a repararmos no carácter implausível dos alegados mundos fenoménicos múltiplos de Hoyningen-Huene, suponhamos que a transição do paradigma newtoniano, para o paradigma relativista, ocorre precisamente no dia 29 de Maio de 1919. O dia 29 de Maio de 1919 é o dia em que ocorre o eclipse solar (na ilha do Príncipe), no qual Eddington procede ao teste da Teoria da Relatividade. Se os alegados mundos fenoménicos existissem, antes do dia 29 de Maio de 1919, toda a comunidade de relativistas vivia num mundo fenoménico newtoniano e euclidiano; após o dia 29 de Maio de 1919 passou a viver num mundo fenoménico relativista e não-euclidiano. Sendo os alegados mundos fenoménicos os únicos mundos que os seres humanos podem conhecer, estaríamos assim perante um mundo que se modificaria à medida que o nosso conhecimento se modificasse.

Isto colide com truísmos de senso comum (Moore 1925). Para

o senso comum, não parece de todo que a realidade dependa de algum paradigma científico. Rigorosamente, para sujeitos num mesmo cone de luz, num instante t , a realidade é a mesma para todos eles, independentemente da formação científica ou do paradigma científico partilhado. O que há é susceptível de ser conhecido; há coisas que não conhecemos; por vezes, também estamos enganados acerca do que julgávamos conhecer; mas o que há não depende das nossas estruturas cognitivas, nem depende de conceitos científicos ancorados em paradigmas. O mundo actual é sempre, pleonasticamente, o mesmo nas transições paradigmáticas, embora a nossa *visão* do mundo actual se possa alterar nas transições paradigmáticas.

6 Progresso Científico

A questão que se levanta nesta secção é saber se existe progresso através das revoluções científicas. Para analisarmos esta questão temos de introduzir duas breves clarificações sobre o conceito *progresso científico*.

Progresso científico é um conceito normativo. Este conceito deve ser distinguido do conceito *desenvolvimento científico*. O conceito desenvolvimento científico é um conceito descritivo. Se se afirma que uma área científica progride, então tal afirmação supõe que o estado da arte da área vai melhorando ao longo do tempo. Por sua vez, se se afirma que uma área científica se desenvolve, então tal afirmação não significa necessariamente que houve uma melhoria do estado da arte. Na verdade, pode significar que o estado da arte da área, simplesmente, piorou ao longo do tempo. O desenvolvimento não é necessariamente uma melhoria de um estado de coisas. O nosso organismo pode desenvolver doenças malignas, piorando a nossa saúde, mas medicação adequada pode fazer com que o nosso estado de saúde progrida.

O progresso científico pode ser analisado segundo dois sentidos: retrospectivo e prospectivo. O sentido retrospectivo compara o estado da arte actual com um estado passado; o prospectivo compara o estado da arte actual com um estado futuro. Por exemplo, segundo o sentido retrospectivo, se me pretendo afastar da cidade do Porto, sem especificar nenhuma outra direcção para o meu afastamento, então, quanto mais me afastar dessa cidade, mais progirdo. Segundo o sentido prospectivo,

se me pretendo aproximar da cidade do Porto, independentemente do meu ponto de partida, então, quanto mais me aproximo dessa cidade, mais progrido. Num segundo momento, estes dois sentidos de progresso terão de ser 'medidos' relativamente a critérios concretos como critérios sociais (e.g., bem-estar e saúde da população), tecnológicos (e.g. meios de comunicação e transporte), metodológicos (e.g. inovações de métodos e instrumentação), cognitivos (e.g. profundidade e fecundidade do novo conhecimento), económicos (e.g., dinheiro alocado para a investigação), e muitos outros.⁷

Feitas estas clarificações, estamos agora em condições de analisar a proposta de Kuhn para o progresso científico. A sua análise incide sobre os aspectos metodológicos a respeito da resolução de quebra-cabeças. Defende o sentido retrospectivo de progresso, opondo-se, veementemente, a qualquer análise no sentido prospectivo teleológico: devemos procurar a 'evolução-a-partir-do-que-sabemos' em vez de procurar a 'evolução-em-direcção-ao-que-desejamos-saber' (Kuhn 1996: 171). Além disso, a sua proposta é epistemicamente neutra relativamente aos aspectos cognitivos do *conhecimento* e da *verosimilhança*. Por outras palavras, não está no horizonte da ciência uma cumulatividade de conhecimento nem sequer uma maior verosimilhança das teorias científicas.

Dadas as características da actividade de ciência normal, uma actividade centrada na resolução de quebra-cabeças, parece evidente que existe progresso científico neste domínio. Dentro de um paradigma, a comunidade encontra-se cada vez mais apetrechada para uma resolução competente e eficaz dos novos problemas e quebra-cabeças que emergem no interior do paradigma. Ao nível da transição revolucionária, Kuhn (1996: 206) também insiste que há progresso científico. O novo paradigma, quando aceite pela comunidade científica, resolve alguma anomalia – problema extraordinário do paradigma precedente – e consegue resolver mais problemas do que o paradigma precedente resolvia. Assim, quer ao nível da ciência normal, quer ao nível das transições revolucionárias, há progresso científico, mas apenas segundo uma perspectiva funcional e interna. O novo paradigma é

⁷ Para mais detalhes ver Niiniluoto (2019). Note-se que estes critérios podem ser inconsistentes entre si. Por exemplo, mais dinheiro alocado na investigação não implica necessariamente uma melhoria nas condições de saúde da população.

mais funcional, na sua capacidade de resolução de quebra-cabeças, e a comunidade científica é única comunidade em condições de avaliar internamente as virtudes desta capacidade.⁸

Temos de nos deter com mais minúcia no putativo progresso científico nas transições revolucionárias. Kuhn acaba por acrescentar mais algumas características às transições revolucionárias, fazendo com que o progresso articulado no anterior parágrafo não seja assim tão evidentemente 'progressivo'. Uma transição revolucionária é constituída por três características:

- 1) Há uma maior especialização da área científica, reduzindo a possibilidade de comunicação de praticantes de diferentes áreas; há um estreitamento e não uma ampliação da área; mesmo quando surge uma ampliação científica em termos globais da ciência, esta ampliação manifesta-se pelo aparecimento de novas especializações, mas cada vez mais incomunicantes entre si.
- 2) Alguns problemas e soluções do velho paradigma não transitam para o novo paradigma e serão irremediavelmente perdidos; não há uma cumulatividade do conhecimento científico; há conhecimentos científicos que são abandonados e os novos conhecimentos não englobam necessariamente os conhecimentos precedentes. 'Todas as crenças passadas sobre a natureza, mais cedo ou mais tarde, acabaram por se tornar falsas' (Kuhn 2000: 115).
- 3) O progresso científico não é um processo que visa uma maior verosimilhança das teorias científicas; embora haja uma compreensão mais refinada e detalhada da natureza, esse progresso não visa de antemão uma maior proximidade à verdade nem a qualquer outro objectivo preestabelecido (Kuhn 1996, 170-171).

O aspecto 1) compreende-se melhor segundo uma perspectiva epistemológica evolucionista para o conhecimento científico, onde as novas disciplinas vão emergindo como novos ramos duma árvore em crescimento. O conhecimento cresce à medida que surgem novas disciplinas. Este crescimento ocorre por divisão disciplinar ou por

⁸ Kuhn não detalha como podemos mensurar essa capacidade de resolução de problemas.

fusão disciplinar. Na divisão disciplinar, as novas disciplinas emergem de um tronco comum. Na fusão disciplinar, as novas disciplinas emergem por junção de ramos científicos diversos. São exemplo de divisão disciplinar a Matemática e a Biologia, derivadas da Filosofia, pelas mãos de Platão e de Aristóteles na Antiguidade. São exemplos de fusão disciplinar: a Física como resultante da fusão da Matemática e da Filosofia Natural, em meados do século XIX; a Biologia Molecular como resultante da fusão da Biologia e da Química; a Astrofísica como resultante da fusão da Astronomia e da Física.

O paralelismo entre a epistemologia evolucionista e a Biologia evolucionista verifica-se na medida em que as novas disciplinas emergem na ciência, tal como as novas espécies emergem no mundo natural. Apenas retrospectivamente conseguimos identificar a individuação das novas disciplinas científicas, mas sem conseguir precisar a data do seu aparecimento, tal como acontece na especiação da natureza. Este segundo aspecto significa também que apenas retrospectivamente se consegue identificar uma revolução científica, mas sem conseguir precisar a data da sua ocorrência. Este paralelismo – disciplinas científicas/espécies naturais – estreita-se ainda mais para os aspectos a-progressistas de Kuhn relativamente à verosimilhança das teorias científicas. Charles Darwin observa que 'após uma longa reflexão, não posso deixar de ter a convicção de que não existe qualquer tendência inata a um desenvolvimento progressivo [das espécies]' (Darwin 1872).⁹

Se é verdade que o florescimento disciplinar é uma marca de progresso científico, o crescendo na incomunicabilidade disciplinar a jusante não é um sinal de progresso científico. É aquilo que Kuhn designa de 'preço a pagar' pelo refinamento de instrumentos cognitivos. Contudo, contrariamente a Kuhn, não me parece que esta conclusão seja assim tão evidente. Na ciência, a desejável comunicação disciplinar é essencialmente feita pelo intercâmbio de publicações científicas. Existem linhas de fuga de comunicação em cada ramo disciplinar. As áreas disciplinares não são completamente incomunicáveis. Se isso fosse efectivamente o caso, o florescimento *interdisciplinar* jamais seria possível. O matemático analista, que direcciona a sua investigação para as aplicações à Física, adquire um léxico cada vez mais próximo, digamos

⁹ Ver também: 'a selecção natural ou a sobrevivência do mais adaptado não inclui necessariamente um desenvolvimento progressivo' (Darwin 2009: 99).

mos, do léxico da Física Teórica. Em simultâneo, cada vez se afasta mais do léxico do seu colega algebrista. Este movimento disciplinar, de aproximação e de afastamento, não implica qualquer revolução científica. É um movimento que faz parte da actividade normal de investigação dos cientistas.

Há ainda um outro aspecto sobre a incomunicabilidade entre pares que importa reflectir. Newton e Einstein são conhecidos pelas revoluções científicas que criaram na Física. Criaram um léxico e conceitos de Física radicalmente diferentes do que havia até então. Embora ambos se tenham debruçado sobre problemas passados, nomeadamente, com vista à resolução de problema extraordinários (i.e., anomalias), estas revoluções não ocorreram como resultado de uma comunicabilidade com os seus pares. Bem pelo contrário. O seu isolamento intelectual parece ter sido justamente a pedra de toque para a originalidade do seu pensamento revolucionário.

A não-cumulatividade do conhecimento científico, referida no ponto 2), é conhecida como 'perdas de Kuhn'. Por exemplo, a teoria geocêntrica explicava por que razão a Lua apresenta a mesma face virada para Terra, mas a teoria heliocêntrica não consegue explicar esse problema. A teoria de vórtices de Descartes explicava por que razão as órbitas planetárias são co-planares e com o mesmo sentido de translação, mas a teoria de Newton não dá qualquer explicação para esse fenómeno.

Parece-me que há um mal-entendido nas alegadas *perdas* de Kuhn. As chamadas *perdas de Kuhn*, na verdade, não se constituem em *perdas* de conhecimento científico. Por exemplo, quer a teoria de vórtices, quer a teoria geocêntrica, são teorias falsas e, portanto, não se constituem em conhecimento científico (Bird 2007: 71). Ou seja, não há aqui qualquer perda de conhecimento científico. Não se perde aquilo que não temos! Mais importante, uma 'perda de Kuhn' nunca é total: nessa perda deriva-se um 'pedaço' de conhecimento; um conhecimento 'negativo'; um 'ganho'. Ficamos pelo menos a saber que *p não é o caso*. Um aluno que detecta um erro de cálculo sistemático na resolução de um exercício matemático fica a saber que, pelo menos, não é dessa maneira que se resolve esse tipo de exercícios.

A posição kuhniiana expressa no ponto 2) alicerça-se na indução pessimista. O problema não é as teorias passadas terem sido falsificadas e as mesmas não serem consideradas como conhecimento científico.

A indução a partir desta premissa é que é preocupante: tal como teorias científicas passadas foram falsificadas, as teorias presentes também acabarão por ser falsificadas. E, portanto, não parece que haja progresso científico por intermédio de uma pressuposta cumulatividade do conhecimento científico.

Parece haver proposições científicas que não são susceptíveis de serem falsificadas: a água é H_2O ; os electrões têm carga negativa; a Terra é redonda; o homem evoluiu de outras espécies, etc. Ainda assim, um falsificacionista férreo pode considerar que todas as proposições científicas são susceptíveis de ser falsificadas, mesmo as que acabaram de ser citadas. Todavia, as proposições científicas não são apenas para ser consideradas numa óptica dual verdadeiro/falso. Esta óptica – 'tudo ou nada' – é uma óptica enviesada de análise.

Parece relativamente consensual que, ainda que todas as proposições científicas sejam susceptíveis de ser revistas pela experiência, as proposições científicas são verdadeiras ou *aproximadamente verdadeiras*. A noção de aproximadamente verdadeira permite que a contínua falsificação pela experiência de proposições científicas ao longo da história da ciência não ponha em causa a ideia de que o conhecimento científico é um processo cumulativo. Seja p uma proposição aproximadamente verdadeira e apropriadamente justificada. Seja q uma proposição, tal que $q = p$ é *aproximadamente verdadeira*. Então q é uma proposição que está em condições de ser conhecida, na medida em que q é uma crença 'totalmente' verdadeira. Assim, podemos acumular conhecimento de proposições que foram apenas aproximadamente verdadeiras (Bird 2007: 76).

Finalmente, consideremos o ponto 3). O argumento de Kuhn para o ponto 3) é de que, dada a incomensurabilidade entre paradigmas, não há um procedimento imediato para comparar teorias científicas pertencentes a paradigmas diferentes. Kuhn defende que, por exemplo, a Teoria da Relatividade de Einstein estará mais próxima da Física Aristotélica do que da Física de Newton. Portanto, a sucessão de teorias, teoria Aristotélica \rightarrow teoria newtoniana \rightarrow teoria relativista, não conduziu a uma aproximação à verdade.

Popper (1972), *contra* Kuhn, defende que há progresso científico, porque a sucessão de teorias científicas conduz a uma maior aproximação à verdade. Niiniluoto (1999: 204) desenvolve esta ideia. Dado o problema da incomensurabilidade, as teorias científicas que pertencem

a diferentes paradigmas devem ser parcialmente traduzidas entre si. Num segundo momento, as consequências das teorias devem ser comparadas em aplicações concretas. A partir de então poderá verificar-se se há ou não uma aproximação à verdade, na transição paradigmática.¹⁰

Kuhn (2000: cap. 4) tenta clarificar a desconexão entre progresso e verdade, afirmada no ponto 3) acima, mas parece-me incorrer num *obscurum per obscurius*. Começa por defender uma teoria de verdade por redundância, baseada em leis lógicas elementares, em particular, na lei da não-contradição. À luz desta lógica, uma proposição científica não é, em si mesma, verdadeira ou falsa. Em alternativa, propõe que o valor de verdade de uma proposição é avaliado em dois passos. Primeiro, é necessário verificar se a proposição em questão é candidata a ser verdadeira ou falsa, contra um léxico previamente fixado. Segundo, se essa proposição for então uma candidata a ser verdadeira/falsa, é necessário verificar se a proposição é uma asserção racional, contra as regras normais de justificação. Uma proposição é avaliada segundo um jogo de linguagem, dado um léxico particular. Por exemplo a proposição p , à luz do léxico x pode ser verdadeira, mas á luz do léxico y pode ser falsa.

A discussão que levei a cabo nesta secção é incompleta. Analisei a noção de *progresso científico* numa perspectiva completamente interna. Porém, a noção de *progresso científico* depende e é conflituante com uma noção mais ampla de progresso, a respeito da sociedade em geral e do bem-estar humano. Não é ético obter conhecimento científico por intermédio do sacrifício de seres humanos, nem por destruição do ambiente e da biodiversidade. Concomitantemente, as duas guerras mundiais no século XX fazem-nos olhar com suspeição para os 'avanços' tecnológico-científicos que culminaram em duas bombas atómicas largadas sobre a superfície terrestre com vista à matança indiscriminada de seres humanos. Outros 'avanços' tecnológico-científicos têm gerado um contínuo aquecimento global do planeta, na direcção de uma catástrofe ecológica monstruosa. Mais conhecimento científico nem sempre implica um maior progresso social, quer pela

10 Para um desenvolvimento da ideia de progresso associado à verosimilhança, ver Niiniluoto (2014).

forma como pode ser alcançado, quer pelas consequências que se podem derivar do mesmo.

7 Revoluções em Matemática

A Matemática não é abordada em parte alguma da *Estrutura*. À primeira vista, a Matemática não é uma ciência experimental e esta singularidade coloca-a à parte das restantes teorias científicas. Apenas muito depois da publicação da *Estrutura* é que alguns autores começaram a analisar a eventual aplicação do modelo kuhniano à Matemática.

Michael Crowe (1992) defende que 'nunca ocorrem revoluções na matemática'. De acordo com o modelo kuhniano, quando ocorre uma revolução, necessariamente, uma entidade do paradigma precedente é irremediavelmente descartada. O modelo ptolemaico foi completamente substituído pelo modelo copernicano; o flogisto foi substituído pelo oxigénio; a teoria newtoniana foi substituída pela teoria relativista. Ora, na Matemática o desenvolvimento de novas teorias não conduz a uma eliminação de teorias passadas. Mesmo do ponto de vista ontológico, não parece que entidades matemáticas precedentes sejam alguma vez eliminadas em detrimento de novas entidades. Por exemplo, o aparecimento das geometrias não-euclidianas, comprometida com triângulos, cuja soma dos ângulos internos é maior ou menor do que 180° , não conduziu à eliminação da figura triangular euclidiana cuja soma dos ângulos internos perfaz 180° .

Na sua análise do conceito *revolução matemática*, Crowe usa o termo matemática num sentido mais restrito do que o seu sentido habitual. Ele utiliza o termo matemática para referir as teorias e os conceitos matemáticos, excluindo deste âmbito outras propriedades subjacentes a essas teorias e conceitos. Nomeadamente, ficam de fora os aspectos da nomenclatura e do simbolismo matemático, da metodologia e dos princípios metamatemáticos. Assim, a sua proposta é consistente com a ideia de que podem existir revoluções matemáticas nestes últimos aspectos da matemática.

Os defensores da existência de revoluções em Matemática consideram que a estrutura de análise de Crowe é incorrecta (e.g., Dauben (1992)). Uma revolução não implica necessariamente que uma entidade ou teoria matemática seja irremediavelmente eliminada na transição revolucionária. Eis uma analogia. Na transição revolucionária

de um regime monárquico para um regime republicano podemos identificar dois tipos de revoluções. Em algumas revoluções, o monarca é irremediavelmente destituído; noutras, o monarca mantém-se no poder, mas com poderes bastante diminuídos relativamente ao regime precedente. Como referi na introdução deste artigo, a Revolução Francesa não deixou de ser uma revolução, mesmo quando a figura do monarca acabou por regressar mais tarde ao poder. A monarquia foi momentaneamente restaurada por Luís XVIII, no chamado período de *monarquia parlamentar*, mas com poderes bastantes mais diminuídos do que Luís XVI, antes da revolução. Paradigmaticamente, a monarquia do Reino Unido é uma figura 'decorativa' do regime parlamentar, após a chamada *Revolução Inglesa* do século XVII. Em contraste com a Revolução Inglesa, na chamada *Revolução Russa*, de 1917, o Czar Nicolau II foi assassinado e não foi substituído por um outro monarca. A sucessão de acontecimentos da Revolução Russa conduziu também a um corte com o regime feudal e estabeleceu-se um novo regime político.

As revoluções científicas podem ser assim de dois tipos. Nas revoluções do tipo *Revolução Russa* as entidades do paradigma precedente são irremediavelmente descartadas. Por exemplo, o modelo ptolemaico foi completamente descartado pelo modelo copernicano. Nas revoluções do tipo *Revolução Inglesa* não há qualquer eliminação de entidades, mas as teorias científicas precedentes perdem radicalmente muita da sua importância. Por exemplo, a teoria clássica newtoniana perdeu muita da sua importância com a revolução relativista einsteiniana, mas ainda assim continua a aplicar-se para velocidades muito inferiores à velocidade da luz. As revoluções matemáticas são revoluções deste segundo tipo. Não há uma supressão de entidades ou de teorias matemáticas, mas uma transformação radical da Matemática ou de uma sua especialidade, onde as teorias anteriores perdem muita da sua importância.¹¹

Philip Kitcher (1984) considera que quando há uma mudança nos princípios *metamatemáticos* de uma comunidade essa mudança é parecida com a mudança que ocorre aquando de uma revolução científica. Por exemplo, os princípios tácitos vigentes na metamatemática contemporânea são muito diferentes dos princípios adoptados por

11 Esta distinção, entre dois tipos de revoluções, resulta de Gillies (1992).

Newton e os seus sucessores do início do século XVIII. No século XVIII, os *Elementos de Euclides* ainda eram um paradigma formal do que deveria ser uma demonstração matemática; a Cinemática ainda fazia parte da Matemática, sendo, a par da Geometria, uma disciplina fundamental; as investigações algébricas eram admissíveis desde de que interpretáveis do ponto de vista da Geometria, Aritmética ou Cinemática. Em contraste, contemporaneamente, tem-se por princípio que as demonstrações devem ser formalizáveis; todas as teorias matemáticas devem ser apresentáveis em termos de uma teoria de conjuntos; a teoria de conjuntos é o fundamento da matemática; investigações sobre casos particulares são menos importantes do que investigações de propriedades gerais.¹²

Consideremos agora o surgimento das geometrias não-euclidianas. Vejamos em que medida o desenvolvimento histórico desta teoria matemática encaixa no modelo kuhniano de revolução científica.¹³

No início do *Elementos* de Euclides é estabelecido um conjunto de postulados e axiomas, a partir dos quais é derivado um conjunto de proposições geométricas indeléveis para toda a história da geometria. Porém, um desses postulados, chamado de *postulado das paralelas*, não era tão evidente como os restantes postulados. A formulação original do postulado das paralelas:

Se uma linha recta cair sobre duas linhas rectas e fizer ângulos internos de um mesmo lado menores do que dois ângulos rectos, então as duas linhas rectas, se estendidas indefinidamente, encontram-se num ponto do lado em que os ângulos são menores do que dois ângulos rectos. (Euclides 2007: 7)

Por exemplo, neste postulado não é evidente o significado de que uma recta pode ser *estendida* indefinidamente. Desde a Antiguidade houve várias tentativas (inglórias) de tornar mais claro o postulado ou de o derivar a partir dos outros postulados euclidianos.¹⁴ Este postulado era assim uma anomalia no interior do sistema euclidiano.

12 Caroline Dunmore (1992) também defende a existência de revoluções ao nível da metamatemática.

13 A respeito deste assunto, ver Boi (1992) e Zheng (1992).

14 Já na Antiguidade, Ptolomeu e Proclus debruçaram-se sobre o mesmo. Ver Kline (1972: 1005–1007) para uma síntese de outras críticas à geometria euclidiana.

Famosamente, d'Alembert, em 1759, declarou que o postulado das paralelas como "o escândalo dos Elementos da Geometria".¹⁵

A formulação das geometrias não-euclidianas consiste na substituição do postulado das paralelas pelo postulado de "nenhuma paralela" ou pelo postulado das "multi-paralelas", assumindo conjuntamente as restantes proposições dos *Elementos* que não dependem do postulado das paralelas.¹⁶ A primeira descrição completa do espaço geométrico em termos não-euclidianos foi elaborada no início do século XIX, de forma independente, pelo húngaro János Bolyai e pelo russo Nicolai Lobachevskii (actualmente chamada de *geometria hiperbólica*). Um pouco mais tarde, mas ainda no século XIX, Bernhard Riemann também avançou com uma proposta não-euclidiana (actualmente chamada de *geometria elíptica*).¹⁷

A crise da Geometria tinha múltiplas facetas. Até ao aparecimento das geometrias não-euclidianas, a geometria euclidiana era considerada como a geometria do espaço físico. Não havia qualquer distinção entre o espaço geométrico euclidiano e o espaço físico. A criação das geometrias não-euclidianas questionou esta indistinção e, a montante, conduziu ao questionamento dos fundamentos epistémicos e matemáticos das geometrias em geral. Por exemplo, a condicional da disputa sobre o fundamento epistémico da geometria euclidiana era a seguinte: se a geometria euclidiana não se aplica ao espaço físico e o fundamento epistémico da geometria euclidiana é empírico, então, ou a geometria euclidiana não é verdadeira ou a geometria euclidiana não é fundada no domínio empírico. Ao nível dos fundamentos matemáticos da geometria, as investigações procuravam formular demonstrações de consistência das novas geometrias, esclarecer as

15 Além desta anomalia recalcitrante em torno do postulado das paralelas, muitas outras anomalias foram sendo identificadas no sistema euclidiano.

16 Postulado de nenhuma paralela: por um ponto exterior a uma linha recta, nenhuma outra recta se pode traçar que não intersecta a primeira. Postulado das multi-paralelas: por um ponto exterior a uma linha recta, mais do que uma linha recta se pode traçar que não intersecta a primeira

17 Embora as geometrias não-euclidianas sejam creditadas como criações de Bolyai e Lobachevskii, na verdade, não são mais do que um epílogo de investigações anteriores levadas a cabo por Gauss, que se escusou a publicá-las em vida por receios de ridicularização académica.

relações lógicas entre as diferentes geometrias e procurar uma base axiomática mais clara para a própria geometria euclidiana.

A crise da Geometria termina no início do século XX. As questões da aplicabilidade ao espaço físico e dos fundamentos epistêmicos da geometria foram (acidentalmente) resolvidas pela Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Esta teoria estabelece que o espaço físico é descrito pela geometria não-euclidiana, ao invés da geometria euclidiana. A determinação da geometria do espaço físico tornou-se assim um assunto empírico, quer do ponto de vista científico, quer do ponto de vista epistêmico. Para a escola filosófica dominante deste período – o positivismo lógico – bem como para a sua herdeira – o empirismo lógico – a geometria passou a fundamentar-se na experiência. A doutrina kantiana do criticismo, segundo a qual o espaço geométrico era uma forma pura da intuição, foi definitivamente rejeitada, bem como as propostas convencionalistas da geometria de Poincaré.¹⁸

As geometrias não-euclidianas representam uma revolução ao nível da metamatemática. Foi descartada a crença de que a geometria euclidiana descrevia o espaço físico e de que seria a única teoria matemática consistente sobre o espaço físico. As geometrias não-euclidianas contribuíram para destronar a geometria euclidiana como paradigma formal de demonstração para as restantes teorias matemáticas. Instalou-se uma concepção epistêmica empirista para a geometria e que acabou por se estender à Matemática na sua totalidade, nomeadamente, pelas mãos de Willard van Quine e de Imre Lakatos, e que ainda prevalece na Filosofia da Matemática contemporânea.

Para além das mudanças ao nível da metamatemática, há dois outros aspectos de relevo associados às geometrias não-euclidianas e que 'assentam que nem uma luva' na proposta de Kuhn da estrutura das revoluções. Primeiro, o aparecimento das geometrias não-euclidianas foi um novo ramo da Matemática: '[n]o meio de todas as criações técnicas complexas do século XIX, a mais profunda de todas, a geometria não-euclidiana, era tecnicamente a mais simples. *Esta criação deu origem a novos ramos da matemática.*' (Kline 1972, 861, itálico meu). Foram criadas as geometrias elípticas (simples e dupla) e a geometria hiperbólica. O aparecimento das geometrias não-euclidianas

18 Para uma defesa do empirismo geométrico ver Reichenbach (1958).

enquadra-se assim no chamado *florescimento disciplinar* que ocorre durante as revoluções científicas.

Segundo, as geometrias não-euclidianas demoraram muito tempo a serem aceites pela comunidade matemática. Após a publicação dos trabalhos de Bolyai e Lobachevskii, estas geometrias foram ignoradas por quase toda a comunidade matemática, durante mais de trinta anos. Aqueles que porventura as conheciam, ou as consideravam uma mera curiosidade ou as classificavam como internamente inconsistentes. Apenas com a publicação póstuma dos trabalhos de Gauss sobre o assunto, bem como com a publicação dos trabalhos realizados por Riemann, as geometrias não-euclidianas começaram a ser respeitadas pela comunidade matemática (Kline 1980: 88). Este desenvolvimento 'silencioso' ou controverso daquilo que é cientificamente revolucionário vai ao encontro de uma passagem da autobiografia de Max Planck, igualmente citada por Kuhn, a respeito da resistência à mudança de paradigma na transição revolucionária: 'uma nova verdade científica não triunfa convencendo os seus oponentes a ver a luz, contrariamente, triunfa porque os seus oponentes acabam por morrer e uma nova geração cresce familiarizada com a mesma' (Planck 1950: 33–34).

8 Adendas ao modelo kuhniano

Na literatura não existem outros sistemas filosóficos para a estrutura das revoluções científicas. Os contemporâneos de Kuhn, como Popper, Lakatos ou Feyerabend, tentaram simplesmente acomodar nos seus sistemas filosóficos a noção de *revolução científica*. Por sua vez, na restante literatura pós-Kuhn nada mais existe do que adendas ao modelo kuhniano como ajustamentos, extensões ou refinações desse modelo original. Nesta secção sintetizo algumas dessas propostas.

Aquando da publicação da *Estrutura*, o principal sistema filosófico rival era o modelo falsificacionista de Popper. Este modelo dominava toda a discussão em filosofia da ciência. A resposta do falsificacionismo à noção de *revolução científica* foi desastrosa. De acordo com o modelo falsificacionista de Popper, uma teoria é considerada científica só se se sujeitar à falsificação da experiência. O conhecimento científico evolui segundo o ciclo seguinte: $P_1 \rightarrow TE \rightarrow EE \rightarrow P_2$, onde P_1 é o problema de partida, TE é uma teoria experimental que tenta

resolver o problema de partida, EE é um processo de eliminação de erros e P_2 é o problema que emerge deste processo de tentativa-erro (Popper 1972: 119). À luz deste modelo, a actividade científica é uma actividade em permanente revolução, num processo constante de tentativa de falsificação de teorias (Popper 1981: 95).

O falsificacionismo está em desacordo com a história da ciência. A obra de Copérnico – *De revolutionibus orbium coelestium* – foi publicada em 1543. A revolução copernicana sucedeu-se nos anos posteriores, nomeadamente, com as observações de Galileu, das fases de Vénus, em 1616. No entanto, assumindo o falsificacionismo como sendo uma tese correcta, segue-se que a teoria geocêntrica apenas teria sido falsificada em 1838, pela observação astronómica de Bessel de uma medição concreta de paralaxe estelar – *experimentum crucis*. Ou seja, para um falsificacionista, a revolução copernicana apenas ocorreu em 1838. Isto é historicamente incorrecto. Muito antes já a comunidade científica tinha rejeitado a teoria geocêntrica. A revolução copernicana ocorreu antes da suposta falsificação da teoria geocêntrica em 1838 (Lakatos 1978: 172–173).

Mauro Dorato (2017) faz notar que no modelo de Kuhn, quando de uma revolução, há uma mudança radical no tipo de fenómenos que precisam de ser explicados. No entanto, Kuhn não especifica a natureza dessa mudança na explicação. Dorato tenta preencher esta lacuna. O seu projecto não é global. Ele apenas foca a sua análise em três revoluções científicas: a descoberta da inércia, a relatividade restrita e a relatividade geral. Em todos estes três casos, ele identifica o padrão seguinte: antes da revolução havia fenómenos que eram explicados de forma causal; após a revolução, tais fenómenos passaram a ser explicados em termos estruturais por intermédio de uma explicação geométrica decorrente da nova teoria.

Consideremos o caso da revolução proporcionada pela lei da inércia. Para um aristotélico, o movimento de um projectil no espaço, liberto da força inicial que o projectou, era explicado de forma causal. O movimento de uma flecha no ar explicava-se de duas maneiras: ou o ar 'empurrado' pela ponta da seta, empurrava, por sua vez, a cauda da seta; ou o ar actuava como um motor contínuo sobre a seta em virtude do lançamento original pelo arco.¹⁹ Esta concepção causal do

¹⁹ 'Os projecteis movimentam-se, apesar de aquilo que os impulsionou não

movimentou perdurou durante séculos e apenas foi alterada com a lei da inércia. A lei da inércia de Newton afirma que um corpo se mantém em repouso ou em movimento rectilíneo uniforme se nenhuma força actuar sobre ele ou se a resultante das forças que actua sobre ele for nula. Esta lei explica o movimento da flecha de forma não causal. A flecha, no seu movimento, continua em movimento, em virtude da própria inércia. Esta é uma explicação estrutural de carácter geométrico, onde não intervém qualquer força (ignorando a força de gravidade e as forças de atrito).

Xiang Chen (2010) também propõe uma nova perspectiva sobre as revoluções científicas. Uma revolução científica consiste numa mudança entre tipos de conceitos: conceitos sobre objectos são transformados em conceitos sobre processos. Conceitos-objecto são conceitos como *planeta*, *molécula* ou *corvo*; conceitos-processo são conceitos como *órbita*, *onda* ou *evolução*. Estudos das ciências cognitivas mostram que os conceitos-objecto e os conceitos-processo ocorrem em partes distintas do cérebro. Isto constitui-se num obstáculo cognitivo à transformação de conceitos-objecto em conceitos-processo. Além disso, há um enviesamento cognitivo que se manifesta numa tendência para representar processos como sendo erroneamente objectos. Cognitivamente, a transformação de conceitos-objecto em conceitos-processo é assim uma transformação que, além de ser difícil, apenas ocorre por intermédio de um processo disruptivo. Deste modo, a resistência dos cientistas às mudanças numa revolução científica explica-se de forma cognitiva: os seres humanos têm limitações cognitivas intrínsecas em acomodar processos revolucionários.

Kuhn desenvolveu uma análise da revolução copernicana baseada numa mudança taxonómica de conceitos-objecto. Por exemplo, antes de Copérnico, o Sol e a Lua eram vistos como planetas e, após Copérnico, passaram a ser vistos como uma estrela e um satélite, respectivamente. Porém, Chen considera que esta análise está em conflito com estudos recentes na História da Astronomia a respeito da revolução copernicana. A maior parte dos astrónomos do século XVI não considerava o modelo de Copérnico como uma refutação

esteja em contacto com eles, ou por substituição das partes, como alguns o pensam, ou porque o ar que foi empurrado os empurra mais rápido do que o movimento natural dos projecteis' (Aristotle 1984: Physics book IV, 215a14-215a18)

do modelo de Ptolomeu, mas sim um melhoramento na técnica de cálculo dos movimentos planetários e que evitava a noção ptolemaica de *equante*. A revolução copernicana não é uma mudança taxonómica da cosmologia geocêntrica para a cosmologia heliocêntrica. Na cosmologia do século XVI, Copérnico nem sequer era visto como uma figura revolucionária.

Apenas no século XVII, por intermédio de Kepler e Galileu, houve uma mudança neste estado de coisas. Precisamente, Kepler introduziu uma mudança significativa na proposta de Copérnico. Aquilo que era visto como uma esfera celeste passou a ser visto como uma órbita. Uma esfera celeste era um objecto sólido constituído por matéria; uma órbita é simplesmente a trajectória percorrida por um planeta no seu movimento. Esta mudança de um conceito-objecto – *esfera celeste* – para um conceito-processo – *órbita* – inscreve Kepler como a figura determinante da chamada revolução copernicana. A revolução copernicana é uma mudança conceptual duma noção de *objecto* para uma noção de *processo*. Chen defende que este tipo de mudança conceptual também se encontra noutras revoluções científicas como a revolução darwiniana e a revolução óptica.²⁰

Ladislav Kvasz (2008: cap. 4) distingue entre revoluções científicas e rupturas epistémicas. O conceito *revolução científica* é respeitante à atitude sociológica que uma comunidade científica tem sobre uma teoria científica. O conceito *ruptura epistémica* é respeitante à descontinuidade no sistema linguístico em que uma dada teoria é formulada, centrada na maneira como formulamos, justificamos e testamos as nossas teorias. Assim, uma ruptura epistémica de uma teoria científica pode ser analisada independentemente da atitude da comunidade científica relativamente à teoria científica em questão. O conceito *ruptura epistémica* é um conceito mais fino do que o conceito *revolução científica* e permite, entre outras coisas, classificar as revoluções científicas. Kvasz (2008) aplica esta distinção à Matemática; enquanto Kvasz (2014) consiste numa extensão da distinção de Kvasz (2008) à Física. Na Física existem quatro tipos de rupturas epistémicas.

²⁰ Ver também Andersen, Barker e Chen (2006). Ver Bird (2012) para objecções à referência anterior.

Por ordem decrescente de magnitude as rupturas são assim ordenadas: idealizações, recodificações, relativizações e reformulações.²¹

Kvasz argumenta que muitos dos mal-entendidos em volta da Estrutura decorrem de Kuhn usar um mesmo conceito – *revolução científica* – para designar rupturas epistémicas diferentes. Por exemplo, a polémica atrás entre Crowe e Daubem, a respeito das revoluções matemáticas, decorre de o primeiro considerar como revoluções científicas apenas as idealizações, enquanto o segundo considerar que as revoluções científicas podem ser idealizações ou recodificações. Acresce que as próprias restantes categorias kuhnianas – *paradigma*, *anomalia* e *crise* – têm significados diferentes consoante a ruptura epistémica em questão. Por exemplo, uma ruptura epistémica de idealização consiste numa mudança do paradigma na idealização da teoria científica; enquanto uma ruptura epistémica de relativização consiste numa mudança de paradigma na reificação da teoria científica.

Por último, importa referir que várias propostas têm também sido desenvolvidas no âmbito da chamada *Epistemologia Social*. A Epistemologia Social é um ramo da Epistemologia que se foca na natureza social do empreendimento científico. Brad Wray (2011) é uma referência sobre o assunto. No entanto, Wray (2011) distancia-se dos estudos sociológicos da ciência que caracterizam a proposta de Kuhn como sendo uma sociologia construtivista. Precisamente, a sua investigação pretende articular a filosofia da ciência com a sociologia da ciência, no sentido de que as mudanças científicas são originalmente mudanças produzidas no interior de comunidades científicas.

Nesta linha de investigação, Vincenzo Politi (2018) desenvolve a ideia de Kuhn de *especialização científica* conectando-a com a noção de *revolução científica*. Politi defende que uma revolução científica consiste na emergência de uma nova especialidade científica, no sentido de que uma revolução ocorre na própria estrutura da comunidade científica. Havendo vários níveis de comunidades científicas, segue-se que também há vários níveis de revoluções científicas. As revoluções

21 Uma idealização é uma ruptura acerca dos objectos idealizados pelas teorias em questão. Uma recodificação é uma modificação de um sistema de referência a respeito das quantidades mensuráveis, da descrição de estado e da equação que descreve esse estado. Uma relativização é uma modificação dentro de um sistema de referência a respeito da sua representação. Finalmente, uma reformulação é uma descontinuidade menor na linguagem.

podem ser de alto-nível, quando ocorrem em comunidades científicas de alto-nível (e.g., comunidades de físicos ou químicos); as revoluções científicas podem ser de baixo-nível, quando ocorrem em comunidades científicas de baixo-nível (e.g. comunidades de geneticistas ou de físicos quânticos). Dada esta divisão por comunidades, as revoluções podem passar despercebidas nas comunidades científicas exteriores à comunidade científica da sua ocorrência. Concretamente, numa revolução científica, um grupo de cientistas desliga-se dum "grupo-mãe" para criar a sua própria especialidade científica. Contudo, este procedimento não implica qualquer alteração no ciclo kuhiano de desenvolvimento científico. Ou seja, a formação de novas especialidades científicas segue o mesmo padrão: ciência normal → crise → ciência extraordinária → revolução científica. Politi defende que, por exemplo, a descoberta da estrutura do ADN segue o ciclo anterior e teve um papel crucial na formação de uma nova especialidade científica – a biologia molecular.

9 Conclusão

Kuhn deu poucas entrevistas. Os entrevistadores tinham de preencher algumas condições para conseguirem a entrevista, nomeadamente, terem lido o material pós-*Estrutura* (Kuhn 2000: 321). Compreende-se bem a imposição de Kuhn. Quem se fica pela leitura da *Estrutura*, ignorando o material subsequente, perde a clarificação do seu pensamento. Neste artigo tentei analisar criticamente as ideias do pensamento de Kuhn. Procurei a clareza em vez da obscuridade; a evolução em vez da contradição; a unidade em vez da dispersão. O material filosófico pós-*Estrutura* revelou-se crucial para estes desideratos.²²

Eduardo Castro
Departamento de Matemática, Universidade da Beira Interior
LanCog Group, Centro de Filosofia da Universidade de Lisboa

²² Estou agradecido a Pedro Galvão os comentários a uma versão prévia deste artigo.

Referências

- Andersen, Hanne, Peter Barker e Xiang Chen. 2006. *The Cognitive Structure of Scientific Revolutions*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511498404.
- Aristotle. 1984. *The Complete Works of Aristotle the Revised Oxford Translation*, organizado por Jonathan Barnes. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Bird, Alexander. 2001. *Thomas Kuhn*. Princeton: Princeton University Press.
- Bird, Alexander. 2007. What Is Scientific Progress? *Noûs* 41 (1): 64–89. doi:10.1111/j.1468-0068.2007.00638.x.
- Bird, Alexander. 2012. What Can Cognitive Science Tell Us about Scientific Revolutions? *THEORIA. An International Journal for Theory, History and Foundations of Science* 27 (3): 293–321. doi:10.1387/theoria.6391.
- Boi, Luciano. 1992. The «revolution» in the geometrical vision of space in the nineteenth century, and the hermeneutical epistemology of mathematics. In *Revolutions in Mathematics*, organizado por Donald Gillies, 183–208. New York: Oxford University Press.
- Chen, Xiang. 2010. A Different Kind of Revolutionary Change: Transformation from Object to Process Concepts. *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 41 (2): 182–191. doi:10.1016/j.shpsa.2010.03.008.
- Crowe, Michael. 1992. Ten «laws» concerning patterns of change in the history of mathematics. In *Revolutions in Mathematics*, organizado por Donald Gillies, 15–20. New York: Oxford University Press.
- Darwin, Charles. 1872. Letter to Alpheus Hyatt. <https://www.darwinproject.ac.uk/letter/DCP-LETT-8658.xml>.
- Darwin, Charles. 2009. *The Origin of Species*. New York: Cambridge University Press.
- Dauben, Joseph. 1992. Conceptual revolutions in the history of mathematics: two studies in the growth of knowledge. In *Revolutions in Mathematics*, organizado por Donald Gillies, 49–71. New York: Oxford University Press.
- Devitt, Michael. 1984. *Realism and Truth*. Oxford: Blackwell.
- Devitt, Michael. 2001. Incommensurability and the Priority of Metaphysics. In *Incommensurability and Related Matters*, organizado por Paul Hoyningen-Huene Howard Sankey, 143–157. Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-015-9680-0_5.
- Dorato, Mauro. 2017. Dynamical versus Structural Explanations in Scientific Revolutions. *Synthese* 194 (7): 2307–2327. doi:10.1007/s11229-014-0546-7.
- Dunmore, Caroline. 1992. Meta-level revolutions in mathematics. In *Revolutions in Mathematics*, organizado por Donald Gillies, 209–225. New York: Oxford University Press.
- Euclides. 2007. *Euclid's Elements of Geometry*. Organizado por J. L. Heiberg. Traduzido por Richard Fitzpatrick. Sem local: Richard Fitzpatrick.
- Gillies, Donald. 1992. Introduction. In *Revolutions in Mathematics*, organizado por Donald Gillies, 1–14. New York: Oxford University Press.
- Hoyningen-Huene, Paul. 1993. *Reconstructing Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kant, Immanuel. 1994. *Crítica da Razão Pura*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Kitcher, Philip. 1984. *The Nature of Mathematical Knowledge*. New York: Oxford University Press.
- Kline, Morris. 1972. *Mathematical Thought From Ancient to Modern Times: Volume 3*. New York: Oxford University Press.
- Kline, Morris. 1980. *Mathematics: The Loss of Certainty*. New York: Oxford University Press.

- Kuhn, Thomas. 1977. *The Essential Tension*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, Thomas. 1993. Afterward. In *World Changes. Thomas Kuhn and the Nature of Science*, organizado por Paul Horwich, 311–341. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Kuhn, Thomas. 1996. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, Thomas. 2000. *The Road since Structure*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kvasz, Ladislav. 2008. *Patterns of Change*. Basel: Birkhäuser. doi:10.1007/978-3-7643-8840-9.
- Kvasz, Ladislav. 2014. Kuhn's Structure of Scientific Revolutions between Sociology and Epistemology. *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 46: 78–84. doi:10.1016/j.shpsa.2014.02.006.
- Lakatos, Imre. 1978. *The Methodology of Scientific Research Programmes: Philosophical Papers*. Organizado por John Worrall e Gregory Currie. Vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511621123.
- Masterman, Margaret. 1970. The Nature of a Paradigm. In *Criticism and the Growth of Knowledge: Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science*, London, 1965, organizado por Alan Musgrave e Imre Lakatos, 50–90. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139171434.008.
- McMullin, Ernan. 1993. Rationality and Paradigm Change in Science. In *World Changes. Thomas Kuhn and the Nature of Science*, organizado por Paul Horwich, 55–78. Cambridge: MIT Press.
- Moore, George. 1925. A Defence of Common Sense. In *Contemporary British Philosophy, Second Series*, organizado por J. H. Muirhead, 193–223. London: George Allen and Unwin.
- Morreau, Michael. 2015. Theory Choice and Social Choice: Kuhn Vindicated. *Mind* 124 (493): 239–262. doi:10.1093/mind/fzu176.
- Niiniluoto, Ilkka. 1999. *Critical Scientific Realism*. Oxford: Oxford University Press.
- Niiniluoto, Ilkka. 2014. Scientific Progress as Increasing Verisimilitude. *Studies in History and Philosophy of Science* 46: 73–77. doi:10.1016/j.shpsa.2014.02.002.
- Niiniluoto, Ilkka. 2019. Scientific Progress. Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editado por Edward N. Zalta. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/scientific-progress/>.
- Okasha, Samir. 2011. Theory Choice and Social Choice: Kuhn versus Arrow. *Mind* 120 (477): 83–115. doi:10.1093/mind/fzr010.
- Okasha, Samir. 2015. On Arrow's Theorem and Scientific Rationality: Reply to Morreau and Stegenga. *Mind* 124 (493): 279–294. doi:10.1093/mind/fzu177.
- Planck, Max. 1950. *Scientific Autobiography, and Other Papers*. London: Williams & Norgate.
- Politi, Vincenzo. 2018. Scientific Revolutions, Specialization and the Discovery of the Structure of DNA: Toward a New Picture of the Development of the Sciences. *Synthese* 195 (5): 2267–2293. doi:10.1007/s11229-017-1339-6.
- Popper, Karl. 1972. *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Popper, Karl. 1981. The Rationality of Scientific Revolutions. In *Scientific Revolutions*, organizado por Ian Hacking, 80–106. New York: Oxford University Press.
- Reichenbach, Hans. 1958. *The Philosophy of Space and Time*. New York: Dover.
- Russell, Bertrand. 1956. *An Essay on the Foundations of Geometry*. New York: Dover.

- Sankey, Howard. 2013. Methodological Incommensurability and Epistemic Relativism. *Topoi* 32 (1): 33–41. doi:10.1007/s11245-012-9139-6.
- Stegenga, Jacob. 2015. Theory Choice and Social Choice: Okasha versus Sen. *Mind* 124 (493): 263–277. doi:10.1093/mind/fzu180.
- Wray, Brad. 2007. Kuhnian Revolutions Revisited. *Synthese* 158 (1): 61–73. doi:10.1007/s11229-006-9050-z.
- Wray, Brad. 2011. *Kuhn's Evolutionary Social Epistemology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zheng, Yuxin. 1992. Non-Euclidean geometry. In *Revolutions in Mathematics*, organizado por Donald Gillies, 169–182. New York: Oxford University Press.