
O TEMPO NA MECÂNICA: DE COADJUVANTE A PROTAGONISTA⁺*

*André Ferrer P. Martins*¹
Faculdade de Educação – USP
João Zanetic
Instituto de Física – USP
São Paulo – SP

Resumo

O presente artigo procura interpretar, à luz dos referenciais epistemológicos de Thomas S. Kuhn e Gaston Bachelard, as diferentes concepções do conceito de tempo na transição do paradigma aristotélico-ptolomaico para a nova mecânica pós-copernicana. É particularmente destacado no artigo o erro cometido por Galileu e Descartes, ao tentarem estabelecer a lei da queda dos corpos, e como a superação de tal obstáculo levou à introdução do conceito de tempo de modo definitivo na análise dos movimentos.

Palavra-chave: *Tempo, História da Ciência, epistemologia e ensino de Física.*

Abstract

This article seeks to interpret, in the light of the epistemological references of Thomas S. Kuhn and Gaston Bachelard, the different interpretations of the concept of time during the transition from the Aristotelian-Ptolemaic paradigm to the new, post-Copernican mechanics. Particular attention is given to the error committed by Galileo and Descartes, in attempting to establish the law of falling bodies, and to how overcoming

⁺ Time in mechanics: from supporting actor to protagonist

* *Recebido: abril de 2001.*
Aceito: fevereiro de 2002.

¹ Aluno de pós-graduação (doutorado), atualmente bolsista da Fapesp. Bolsista da CAPES quando da elaboração do presente trabalho.

this obstacle lead to the introduction of the concept of time as definitive in the analysis of movement.

Keywords: *Time, History of Science, epistemology and Physics teaching.*

I. Introdução

Como resultado de uma dissertação de mestrado defendida em 1998 na USP (Martins, 1998), produziu-se um texto destinado preferencialmente a professores de ciências em geral, e de física em particular, no qual fazemos uma releitura histórica do período compreendido entre os séculos IV a.C. e XVII d.C. Nosso objetivo foi o de analisar como o conceito de *tempo* foi introduzido de modo definitivo no estudo dos movimentos, e as diferentes concepções desse conceito tanto no âmbito do paradigma aristotélico-ptolomaico como na chamada “nova mecânica”, representada pelos trabalhos de Copérnico, Galileu, Kepler e Newton, principalmente.

Em diversos momentos, fizemos uso dos referenciais epistemológicos oferecidos por Thomas Kuhn (1987) e Gaston Bachelard (1991 e 1996), que classificamos genericamente sob o “rótulo” de “epistemologias históricas da ciência”. Não apresentaremos aqui as principais idéias desses autores, pois isso tornaria por demais extenso este trabalho. Mas há, certamente, um bom número de referências que podem ser consultadas nesse sentido.

Embora este artigo não contemple vários outros aspectos históricos e filosóficos a respeito da evolução da compreensão do conceito de tempo, acreditamos que ele fornece elementos que possibilitam, a professores de física do ensino médio ou de disciplinas universitárias introdutórias, uma abordagem mais rica desse conceito em sala de aula.

Segue, então (com algumas alterações), o texto produzido.

II. O tempo na mecânica: de coadjuvante a protagonista

- *Que sucedeu?* - perguntou Fogg.
- *Senhor...* - balbuciou Fura-Vidas. *Casamento... impossível.*
- *Impossível?*
- *Impossível... para amanhã.*
- *Por quê?*
- *Porque amanhã... é domingo.*
- *Segunda-feira - replicou Fogg.*
- *Não... hoje... é... sábado...*
- *Sábado? Impossível!*

- *Sim, sim, sim!* - começou a gritar *Fura-Vidas*. *O senhor enganou-se num dia! Chegamos vinte e quatro horas antes... Mas agora não restam mais que... dez minutos.*

Julio Verne ¹

Para nós, que temos na *Filosofia do Não* de Bachelard um dos principais referenciais teóricos no campo epistemológico (Bachelard, 1991), talvez não haja nada mais natural do que iniciarmos este texto a partir de um *erro*. Galileu, ao estabelecer a lei de queda dos corpos, busca primeiramente relacionar a variação de velocidade dos corpos em queda com a *distância percorrida* a partir da origem, e não com o *intervalo* de tempo correspondente. Esse “erro”, no qual Galileu assume ter incorrido (nos *Discorsi*) durante certo tempo, também foi cometido por Descartes, como aponta Alexandre Koyré (Koyré, 1986). Por que dois “monstros” da ciência haveriam de titubear para introduzir o tempo no estudo do movimento de queda? Uma resposta satisfatória a esta questão só poderá emergir se conseguirmos compreender o trabalho de ambos no âmbito de uma *revolução científica*, no sentido kuhniano da expressão (Kuhn, 1987).

Galileu, que será o objeto mais direto de nossa análise, é um protagonista dessa revolução que, essencialmente, representou a transição entre dois paradigmas: do aristotélico-ptolomaico para o newtoniano. E é justamente por isso que necessitamos, inicialmente, adentrar no *universo conceitual* do primeiro paradigma. Somente dessa forma poderemos entender a natureza e o porquê da revolução, a relevância e a razão do erro galileano, e a *ruptura* existente entre as “visões de mundo” representadas por esses paradigmas em geral, e entre os “conceitos” de tempo a eles associados, em particular.

II.1. O universo de Aristóteles

Foi no âmbito da astronomia que os mais duros golpes foram deferidos contra a cosmologia aristotélica. O universo heliocêntrico de Nicolau Copérnico veio, no século XVI, a contribuir não apenas para uma completa reformulação da astronomia sob novas bases, como também para uma transformação radical na visão do homem e de seu papel no universo.

Tratava-se o universo herdado pelos contemporâneos de Copérnico de um *mundo fechado*. Suas raízes encontram-se por volta do século IV a.C. na Grécia, onde se consolidou a visão de que a Terra era esférica e encontrava-se imóvel no centro do

¹ Verne, 1970, p. 196.

universo. Ao seu redor circulavam, presos a esferas, a Lua, o Sol, os demais planetas (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno – visíveis a olho nu, e conhecidos desde a antigüidade) e, por último, as estrelas. Além delas não existia nada: nem espaço, nem matéria.

A esfera fora escolhida por ser a mais perfeita figura da geometria, sendo por isso a melhor opção de que dispunha o Criador para construir o mundo. Essa concepção aparece no *Timeu*, de Platão², onde nos diz o autor que o *tempo* foi criado *junto* com o universo, como “uma imagem móbil da eternidade”. Entretanto, havia também outras razões de natureza observacional que sustentavam a esfericidade da Terra, como o formato da sombra projetada por esta durante um eclipse lunar ou a maneira pela qual os navios desapareciam no horizonte (primeiramente o casco e, por fim, o mastro).

Quanto à imobilidade da Terra, nossos próprios sentidos atestam a seu favor, enquanto o Sol e as estrelas parecem caminhar no céu durante o dia e a noite, circundando-nos. Esse é um ponto importante, uma vez que o argumento dos sentidos somou-se a motivações teóricas, estéticas e religiosas para sustentar, durante séculos, o modelo cosmológico em questão.

Aristóteles (384-322), no *De Cælo*, justifica a esfericidade dos céus e a imobilidade da Terra da seguinte forma, como aponta W. D. Ross (1957), em sua obra sobre esse autor:

“A atividade de Deus é a vida eterna. Portanto o movimento do céu, que é um corpo divino, deve ser eterno, e por esta razão o céu deve ser uma esfera rotativa. Mas o centro de um corpo rotativo está em repouso. Deve haver, pois, uma terra em repouso no centro do universo.” (p. 140 – tradução livre)

O universo, esférico e geocêntrico, explicava, de modo bastante satisfatório, uma série de movimentos observados no céu, como o chamado “movimento diário” do Sol e das estrelas (de leste para oeste), e o movimento “para o norte” e “para o sul” do Sol, com o passar das estações, além dos eclipses. Havia também uma justificativa para a “ordem” dos astros a partir da Terra (Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter, Saturno e estrelas), uma vez que, quanto maior a proximidade com a última esfera, menor era o “atraso” para leste (em relação às estrelas) verificado ao longo do tempo no movimento do astro em questão, que era um movimento observado na prática.

² Platão, 1977, p. 50.

No entanto, os planetas apresentavam movimentos mais complexos, conhecidos como *movimentos retrógrados*. Pareciam “errar” pelo céu noturno³, interrompendo por um certo período o seu movimento para leste e avançando para oeste, retrocedendo novamente em seguida. Tais movimentos desafiaram desde cedo os *articuladores* do universo geocêntrico. Dentre eles, Eudoxo e Calipo, ainda no século IV a.C., estabeleceram um sistema de *esferas homocêntricas* no qual cada planeta pertencia não a uma, mas a um conjunto de armações esféricas concêntricas e interligadas. Embora bastante sofisticado, esse sistema não explicava adequadamente as variações de brilho observadas nos planetas, sendo abandonado pelos astrônomos em detrimento de outra concepção geométrica mais satisfatória: o sistema de *epiciclos* e *deferentes*, desenvolvido por Apolônio e Hiparco entre os séculos III e II a.C. Nele, um certo planeta era posto a circular sobre uma pequena esfera (o epiciclo), cujo centro girava sobre uma circunferência maior (o deferente), conforme indica a figura abaixo:

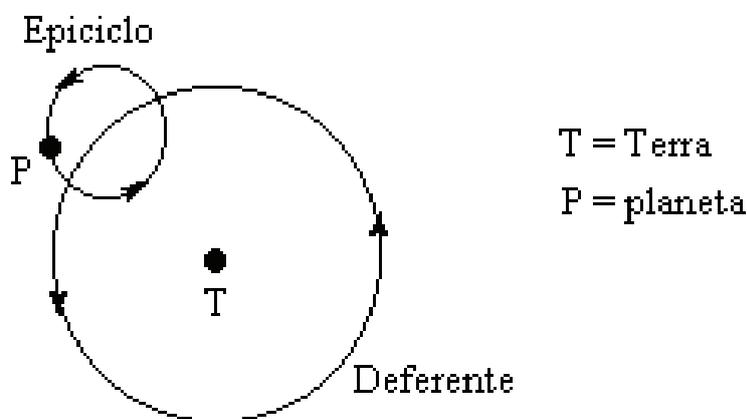


Fig. 1- O sistema epiciclo-deferente

Já no século II a.C., Ptolomeu será responsável por uma grande “síntese” da astronomia grega desenvolvida até então, e sua obra *Almagesto* revela uma série de outros “artifícios” geométricos que foram utilizados pelos astrônomos na tentativa de adequar o modelo às observações das posições planetárias. Além de epiciclos e deferentes, havia *epiciclos menores*, *excêntricos* (círculos cujos centros estariam deslocados do corpo em torno do qual ocorria o movimento) e *equantos* (pontos também deslocados do centro geométrico do deferente, mas em torno do qual a velocidade de rotação do mesmo deveria ser uniforme).

O importante nesse ponto é percebermos como o problema das posições planetárias acabou levando os astrônomos da antiguidade a construir um modelo cada vez mais aprimorado e “geometrizado” do universo, numa tentativa de “salvar” a *esfera*, conciliando “observação” e “sentidos”. Resgatando novamente os conceitos

³ Daí o próprio nome de “planeta”, que significa “astro errante” (em grego).

kuhnianos, esferas homocêntricas, epiciclos, deferentes, etc., representariam a articulação de um paradigma numa prática identificada com a “ciência normal”. Na medida em que, como veremos a seguir, o modelo aristotélico-ptolomaico vinculava-se a uma *teoria do movimento e da constituição material do universo*, sendo ainda incorporado e adaptado por um sistema religioso, tornou-se cada vez mais difícil romper com essa visão de mundo. É nesse sentido, de um *corpo de conhecimentos* articulado, coeso, estruturado, explicativo de uma certa “ordem das coisas”, que podemos falar em “paradigma”. É neste momento que se faz necessária nossa discussão, para que conceitos como “revolução” e “incomensurabilidade” possam ter alguma significação quando emergirmos (Kuhn, op.cit.).

Embora o sistema de Ptolomeu não conseguisse ajustar-se fielmente às observações, dominou como modelo *astronômico* (no que se refere à previsibilidade das posições dos astros) durante quase 1800 anos. Entretanto, foi o sistema de esferas homocêntricas que acabou por ser incorporado à *cosmologia* aristotélica, permanecendo, em parte, aceito durante todo esse período. Dessa forma, a realidade *ontológica* das armações esféricas poderia ser descartada por alguns, que lhes imputavam uma “realidade metafórica”.⁴

A *cosmologia aristotélica* separava rigidamente o universo, finito, em duas regiões distintas: o mundo supralunar ou celeste, que se estendia a partir da esfera da Lua até a última esfera (das estrelas), e o mundo sublunar ou terrestre, situado abaixo da esfera lunar, que continha a Terra. O mundo supralunar era constituído de “éter”, um sólido cristalino puro, inalterável e sem peso, compatível com a eternidade, perfeição e imutabilidade dos céus. As esferas eram consideradas espessas o suficiente para que o movimento dos astros em seu interior pudesse explicar as variações de brilho observadas. O movimento circular de cada esfera, a partir das estrelas, era transmitido às demais, até à Lua.

Enquanto isso, o mundo sublunar constituía-se de quatro elementos fundamentais, também ordenados em esferas a partir do centro do universo: terra, água, ar e fogo. Na ausência de qualquer distúrbio, esses quatro elementos deveriam permanecer em repouso, espelhando a estrutura das esferas celestes. No entanto, a região sublunar é constantemente perturbada, uma vez que o movimento mais imediato da esfera lunar (e, em última instância, das estrelas) movia a fronteira entre essa e as camadas inferiores de fogo, gerando correntes que impeliam e misturavam os demais elementos, em proporções variadas. Dessa forma, a composição de cada uma das esferas não é “pura”, embora haja predominância do elemento próprio daquela esfera. Adquirindo “traços” de outros, um elemento transforma suas características, originando, de acordo com as proporções da mistura (*causada pelo movimento dos céus*), as

⁴ Kuhn, 1990, p. 79 e 101-102. Essa não parece ser a posição de Aristóteles, para quem as esferas eram reais. Ver Ross, op.cit., p. 143.

diversas substâncias presentes na Terra. Os céus, portanto, embora separados da Terra, seriam os *responsáveis* pelas *mudanças e corrupções* à nossa volta.

De modo compatível e complementar ao exposto acima, na concepção aristotélica do movimento *terrestre* há a necessidade de uma “força” para que os corpos sejam alijados de suas “posições naturais”, às quais tendem a retornar, uma vez que a força cesse. O movimento “para cima” e “para baixo” nada mais é, portanto, do que a *atualização* de uma *potência*. De tal sorte que uma pedra, lançada verticalmente para cima, tende a regressar ao Solo, num movimento de retorno ao seu “lugar natural”, o centro da Terra e *do universo*. Esse ponto é crucial para compreendermos a importância do *espaço* na visão de mundo aristotélica, pois, mesmo que a Terra fosse deslocada de sua posição atual, ainda assim a pedra mover-se-ia para o ponto geométrico considerado o centro do universo. Portanto, o centro da terra “coincide” com o do universo, e esse argumento reforça ainda mais a *esfericidade* e *imobilidade* da Terra.

O espaço não é, entretanto, separado da matéria que o preenche. No mundo de Aristóteles *não há vácuo*, e o espaço é um *pleno* de matéria que, por ser *contínua*, pode ser infinitamente dividida sem que se chegue a um limite.

Mas, como se situa a questão do *tempo* na cosmologia aristotélica? Adentramos aqui, certamente, em um ponto de grande interesse para a perspectiva colocada por nosso trabalho. Em sua obra sobre Aristóteles, Ross (op.cit.) aponta que o tempo é, na concepção desse filósofo, *infinito* em dois sentidos: do ponto de vista da adição, ou seja, não pode esgotar-se por nenhuma adição de partes, e do ponto de vista da divisão, ou seja, é divisível *ad infinitum*. O “infinito temporal” não existe, entretanto, *simultaneamente*, uma vez que cada parte desaparece, embora não deixe de haver outras.⁵

“O tempo não existe como um todo dado infinito, pois não está na natureza de suas partes coexistir; mas, diferente da extensão, o tempo é potencialmente infinito desde o ponto de vista da adição. O tempo, como a extensão, é infinitamente divisível, mas não infinitamente dividido.” (Ross, op.cit., p. 126 – tradução livre)

Podemos ver como o universo finito de Aristóteles não o permite atribuir à “extensão” a possibilidade de infinitude quanto à adição. Por outro lado, é clara a ênfase ontológica dada ao presente, na concepção de tempo exposta acima.

O tempo é, também, contínuo, pois está ocupado por um movimento contínuo. E o movimento, por sua vez, é contínuo porque se dá através de um espaço

⁵ A própria impossibilidade de um começo e um fim para o tempo é um argumento a favor da idéia de infinito.

contínuo. Dessa forma, a idéia de “anterior” e “posterior” relaciona-se com o espaço, com o movimento, e em terceiro lugar, com o tempo. Em relação a este, podemos distinguir um “antes” e um “depois”, ou seja, dois “agoras” com um intervalo (contínuo) entre eles. Esses “agoras” não seriam as menores partes do tempo. Isso porque, para Aristóteles, o intervalo contínuo entre esses dois “agoras” pode ser (potencialmente) dividido ao infinito. E nenhum contínuo poderia ser composto de indivisíveis⁶. Como argumenta Ross (op.cit.):

*“(...) se em virtude de seus **agora** o tempo é numerado, não devemos supor que os **agora** são partes do tempo, assim como tampouco supomos que os pontos são partes da linha. Não existe tempo mínimo como não existe linha mínima.”* (p. 133 – tradução livre – grifo nosso)

Aristóteles relaciona o tempo ao movimento em geral, afirmando que o tempo é o aspecto numerável do movimento, o número do movimento com respeito ao “antes” e “depois”. O tempo e o movimento definem-se um ao outro:

“Não apenas medimos o movimento pelo tempo, mas também o tempo pelo movimento, porque eles se definem um ao outro. O tempo marca o movimento, visto que é seu número, e o movimento marca o tempo.” (Apud G. J. Whitrow, 1993, p. 57)

O movimento dos céus, portanto, por ser circular, regular e imutável, forneceria uma medida perfeita desse tempo contínuo ao mesmo tempo em que *faz* com que o próprio tempo seja contínuo, o que nos lembra a visão platônica de um tempo “produzido” pela rotação das esferas celestes.

Outro ponto importante, assinalado por Ross (op.cit.), é o fato de Aristóteles questionar-se quanto à possibilidade de o tempo existir na ausência da alma, se o tempo poderia existir na ausência da alma, ou seja, sem alguém que possa “contar”. Nessa hipótese, o tempo em si não existiria, mas apenas o movimento (que é seu “substrato”), sem aspecto mensurável.

Há diversas considerações a serem feitas a partir dos últimos parágrafos, que situam a questão temporal na cosmologia aristotélica. Primeiramente, parece-nos claro, a essa altura, o caráter “*secundário*” que o tempo assume dentro deste paradigma. O movimento *não é* relativo ao *tempo*, embora este seja seu aspecto “numerável”, mas

⁶ Essa questão é complexa, e está relacionada à própria definição de *contínuo* em Aristóteles, que, por sua vez, depende de outros termos fundamentais (*contato*, *extremos*, etc.). Para mais detalhes ver Ross, op.cit., p. 134-136.

ao *lugar*. No universo aristotélico, os *lugares* estão bem determinados em uma rígida hierarquia de um mundo fechado, e o privilégio é do *espaço-matéria*. O tempo é um coadjuvante que, aparentemente, desapareceria com a ausência do homem.

A importância do *espaço* é discutida por Kuhn (1990) quando assevera que esse conceito, na concepção aristotélica, difere radicalmente do *espaço newtoniano*. Este último caracteriza-se pela *homogeneidade* e *isotropia*, sendo *fisicamente neutro*, não existindo nenhuma região ou direção preferencial para o movimento. Por outro lado, o primeiro caracteriza-se por uma diferenciação de *lugares* que *atuam* no movimento dos corpos. Como coloca Kuhn:

“O próprio espaço fornece o impulso que leva o fogo e as pedras para os seus lugares naturais de repouso na periferia e no centro. As interações da matéria e do espaço determinam o movimento e o repouso dos corpos.” (p. 121)

O autor considera ainda que esta visão incorpora certos “resíduos” de concepções mais primitivas de espaço associadas ao “espaço da vida”, segundo as quais, as diferentes regiões e direções têm características diferentes. Kuhn cita como exemplo o fato de, em muitas sociedades mais antigas, palavras que denotam direções estarem associadas a partes do corpo e refletirem as diferenças dessas partes.

Chegamos com isso a um segundo ponto a ressaltar a respeito da cosmologia aristotélica. Os “resíduos” de concepções primitivas de espaço, como foi exposto acima, relacionam-se a uma visão essencialmente *anímica* do mundo, onde a distinção entre o “orgânico” e o “inorgânico” deixa de ser clara, e os objetos parecem ser movidos por “desejos” e “motivações” internas. Kuhn, embora saliente que o animismo não é toda a base psicológica da teoria aristotélica do movimento, reforça a idéia de que no universo conceitual desse mundo fechado está presente um componente anímico que, por sua vez, é bastante comum nas concepções infantis sobre a natureza. Há diversos estudos em educação que relacionam as visões das crianças sobre o movimento com a teoria aristotélica, e evidenciam muitas vezes o caráter anímico de ambas.

“As pedras de Aristóteles não estão vivas, embora o seu universo freqüentemente pareça estar, pelo menos metaforicamente. (...) Mas a sua percepção da pedra ao saltar da mão para atingir o seu lugar natural no centro do universo não é assim tão diferente da percepção da criança sobre o balão que gosta do ar ou da caixa que cai porque gosta de estar aí. O vocabulário mudou; os conceitos são manipulados pela lógica dos adultos; o animismo foi transformado. Mas a maior parte da atração da doutrina de Aristóteles deve

residir na naturalidade da percepção que apóia a doutrina.” (Kuhn, op.cit., p. 119)

Parece-nos que é nesse “animismo transformado” que se encontra embebido o conceito de *tempo* em Aristóteles. Embora compartilhando de certas características que estarão presentes no “tempo absoluto” de Newton, como a continuidade e a infinitude, tais semelhanças são apenas aparentes. Sua infinitude não é “atual”, mas “potencial”, e a continuidade não é, ontologicamente, congruente com a visão newtoniana. Como vimos, o tempo para Aristóteles é apenas o “aspecto numerável do movimento”, que adquire algum sentido somente *na presença de uma alma que possa “contar”*. A necessidade dessa “alma” é, certamente, um componente *anímico*, ainda que a idéia de mensurabilidade e de numeração resgate também uma certa visão *empirista* (ou realista ingênua).

Será que tal análise encontra respaldo nas concepções infantis sobre o tempo? As crianças costumam associar o tempo a diversos outros conceitos, mas principalmente com as idéias de “mudança” e “movimento”. Desse modo, o tempo passa, por exemplo, *enquanto* uma pessoa está em crescimento, mas não a partir do momento em que se torna adulta. Um estudo com crianças de 7 a 11 anos de idade (Proverbio e Lai, 1989) mostrou que as mais novas estabelecem uma conexão entre “tempo físico” e “tempo meteorológico” ou “clima”, caminhando aos poucos para um conceito mais abstrato de tempo, independente das ações do sujeito ou de fenômenos percebidos por ele. Já Piaget, em seus estudos com crianças sobre a noção de tempo evidencia mais precisamente como esse conceito encontra-se inicialmente vinculado com o *deslocamento* ou a *velocidade* nas análises dos movimentos. Isso ocorre tanto antes quanto depois de estabelecidas as noções de *sucessão* e *simultaneidade* de eventos (ou ordem dos acontecimentos) por parte da criança.⁷ Se, por um lado, alguns aspectos das concepções infantis pareçam corresponder a uma *outra espécie* de animismo (talvez mais “elementar” e egocêntrico), por outro, elas compartilham com a visão aristotélica o que lhes falta: um *empirismo* que meça o tempo de forma inequívoca, ou um realismo que dê a ele uma certa “existência” em si e uma certa “independência” ontológica e epistemológica, ou ainda, uma “racionalidade” que o incorpore num quadro conceitual pleno, num conjunto de noções sem “resíduos anímicos”. Enfim, que o faça independente de uma “alma” que o “conte”, ou de uma “mudança” que confirme sua passagem.

⁷ Piaget, 1981, p. 16-18.

Seria importante evocarmos, diante dessa análise, as “doutrinas filosóficas” de Gaston Bachelard, além da idéia de “perfil epistemológico”⁸. O conceito de tempo caro à cosmologia aristotélica apresentaria, principalmente sob essa perspectiva, elementos das duas primeiras “doutrinas” consideradas por Bachelard em sua hierarquia: o animismo (ou realismo ingênuo) e o empirismo (claro e positivista). Esperamos haver delineado acima aspectos do que poderia ser considerado um “conceito anímico de tempo”, ainda que de modo incompleto e simplificado. Embora não tenhamos discutido em pormenores aquilo que corresponderia a uma visão empirista, parece-nos claro que, da mesma forma que para a massa haveria uma “conduta da balança” (“a massa é o que a balança mede”), no caso do tempo seria possível falarmos em uma “conduta do relógio” (“o tempo é o que o relógio mede”, ou seja, o conceito passa a ser definido pelo aparelho de medida).

Como vimos, seria difícil atribuir um grande peso a tal conceito empirista no paradigma aristotélico, pois não se trata exatamente de *medir* o tempo, mas de usar a noção de tempo, que supõe a possibilidade de numeração, como uma medida do movimento. Mas, quando o movimento circular dos céus é apresentado como “uma medida perfeita do tempo”, e quando este, contínuo, passa a ser referenciado por aquele, salientam-se aspectos de um empirismo que ainda não representa uma “conduta

⁸ Em *A Filosofia do Não* Bachelard defende que existam certas “fases” atravessadas durante a evolução filosófica de um conhecimento científico particular, que caminha no sentido de uma coerência racional. Essas fases iriam do animismo (ou realismo ingênuo) ao ultra-racionalismo, passando pelo realismo (ou empirismo claro e positivista), e pelo racionalismo tradicional. O ultra-racionalismo engloba os denominados racionalismos complexo e dialético. Pode-se falar em “progresso filosófico” dos conceitos, e em “hierarquia de doutrinas filosóficas”, ambas as noções fundamentando a idéia de “perfil epistemológico”.

Como exemplo, Bachelard usa o conceito de massa. Em sua forma *animista*, a massa aparece como “uma apreciação quantitativa grosseira” da realidade, relacionada essencialmente às “coisas grandes”. A noção *empirista* de massa estaria vinculada a uma pretensa determinação objetiva e precisa (Bachelard refere-se a uma “conduta da balança”). O conceito *racionalista* de massa nasce, para Bachelard, com a mecânica newtoniana, que o insere num “corpo de noções”. Já não representa uma experiência imediata e direta, mas define-se com referência a outras noções (força e aceleração), sendo uma espécie de “coeficiente de devir”. É enquanto relação. O *racionalismo complexo* seria exemplificado pela noção de massa da teoria da relatividade, onde ela passa a ser função da velocidade, e não mais heterogênea à energia. Por último, Bachelard apresenta o conceito de massa presente na mecânica de Dirac como um exemplo do *ultra-racionalismo dialético*.

É dentro dessa “filosofia dispersa” que surge o conceito de *perfil epistemológico*, segundo o qual as diferentes doutrinas filosóficas encontram, no indivíduo, um certo “peso relativo”, uma certa “intensidade de presença”. A evolução do espírito, através das fases representadas na hierarquia de escolas filosóficas, significaria “superação de obstáculos epistemológicos” (Bachelard enumera e analisa uma série de tipos de obstáculos na obra *A Formação do Espírito Científico* - 1996).

do relógio”, mas que abre caminho para tal. Parece-nos que a importância atribuída ao espaço não permitiu à cosmologia aristotélica estabelecer esse conceito empirista *claro* do tempo. Embora existissem à época relógios de Sol e de água, a sombra do “gnômom” ainda devia-se ao movimento do Sol no interior de uma esfera de éter ao redor da Terra, e a água das clepsidras ainda gotejava em direção ao seu “lugar natural”.

II.2. A transição

A superação do ponto de vista aristotélico não foi um processo “fácil e tranquilo”, resultado de alguma “experiência crucial” ou simplesmente de novos conhecimentos *acrescentados* a esse saber. Pelo contrário, a substituição desse paradigma, por outro lado, requer uma *revolução científica* caracterizada por uma *ruptura* profunda com o conhecimento estabelecido. Seria ingênuo achar que o paradigma aristotélico-ptolomaico pudesse ser substituído facilmente por outro, ou que alguma simples experiência (como a hipotética experiência realizada por Galileu na torre de Pisa) fosse suficiente para “refutar” tal visão de mundo. Será necessária a construção de uma nova “teoria do movimento”, que dê conta dos fenômenos sob a ótica de uma Terra planetária.

O período de “gestação” dessa nova teoria do movimento foi longo. Ptolomeu, que viveu no século II a.C., pode ser considerado umas das últimas grandes figuras da ciência antiga. O saber ocidental decaiu sob o domínio romano e com a ascensão do pensamento cristão. Resgatado posteriormente pelos árabes durante a invasão da península Ibérica no século VII, “ressurgiu” na Europa por volta do século X, quando as primeiras traduções latinas do árabe passaram a ser aceitas. Ao longo de todo esse período o “mundo islâmico” tornou-se um pólo de conhecimento.

Esse processo de recuperação do saber antigo intensifica-se no século XIII, com o surgimento das primeiras *universidades*, que irão abrigar a tradição filosófica conhecida como *escolástica*. Kuhn aponta que existiam inúmeros problemas na *recuperação* dos textos antigos, fazendo com que parecessem, aos olhos dos medievais, contraditórios e desconexos. Consideravam, por exemplo, que Aristóteles e Ptolomeu eram quase contemporâneos, e pertencentes à mesma tradição, quando na verdade o pensamento aristotélico era mais “filosófico” e “cosmológico”, enquanto o ptolomaico era mais “matemático”. Isso tudo contribuiu para lançar dúvidas sobre toda a tradição.⁹

A Igreja teve um papel determinante nesse processo, uma vez que praticamente concentrou todo o conhecimento durante a Idade Média. Entretanto, sua atitude face ao “saber dos antigos” não foi uniforme ao longo do tempo, o que explica inclusive o declínio e ressurgimento do legado da antigüidade clássica. Os primeiros teólogos cristãos eram hostis com relação ao conhecimento “pagão”, numa época em

⁹ Kuhn, op.cit., p. 127-129.

que a fé cristã procurava afirmar-se. Santo Agostinho (354-430), em particular, representou esse pensamento, muito embora tenha sido influenciado por textos platônicos. Em suas *Confissões*, ele apresenta uma longa discussão sobre o tempo, que surge no contexto de uma indagação de natureza religiosa: “*o que estaria fazendo Deus antes da criação?*”. Sua conclusão é a de que o *próprio tempo* passou a existir *com* a criação (aproximando-se da visão platônica). A partir disso, Agostinho passa a tentar responder “*o que é o tempo?*”. Para ele, o “passado” já não existe, e o “futuro” ainda não veio. Numa tentativa de atribuir realidade ao “presente”, passa a considerar alguns intervalos de tempo (cem anos, um ano, um dia), mostrando que sempre há, em qualquer divisão que se faça, um passado que já não é, e um futuro que ainda será. Conclui que o presente não tem nenhuma “duração”:

“Se pudermos conceber um espaço de tempo que não seja suscetível de ser subdividido em mais partes, por mais pequeninas que sejam, só a esse podemos chamar tempo presente. Mas este voa tão rapidamente do futuro ao passado, que não tem nenhuma duração. Se a tivesse, dividir-se-ia em passado e futuro. Logo, o tempo presente não tem nenhum espaço.” (Agostinho, 1980, p. 219)

Apesar de afirmar que o presente não tem duração, Agostinho admite que podemos comparar intervalos de tempo, na poesia ou na música, e dizer, por exemplo, que “uma sílaba tem o dobro de tempo de outra”. Em consequência disso irá negar (afastando-se da visão aristotélica) que o tempo seja o movimento dos corpos, em geral, e dos astros, em particular. No entanto, a concepção de Agostinho compartilha com a de Aristóteles um certo “componente anímico”, uma vez que a “medida” do tempo é realizada, pelo primeiro, por via de seu *espírito*, por onde passam as expectativas futuras em direção à memória, enquanto que o segundo, como vimos anteriormente, necessita de uma *alma* que conte.

Nos séculos XII e XIII, com a hegemonia do cristianismo assegurada, tornaram-se necessárias algumas modificações para *fundir* a cosmologia aristotélico-ptolomaica com as inconciliáveis teses da Igreja. Desse modo, abandonou-se por exemplo a idéia aristotélica de que o universo e o movimento sempre existiram (em claro confronto com as escrituras), enquanto que a impossibilidade do vazio foi questionada por alguns limitava o poder infinito de Deus. As esferas homocêntricas num universo geocêntrico adaptaram-se perfeitamente à visão cristã, na qual o ser humano vivia num mundo terreno de corrupções e mudanças, aspirando alcançar a salvação com a elevação de sua alma aos céus eternos e imutáveis. *Microcosmo* e *macrocosmo* confundem-se e complementam-se; anjos e arcanjos movimentam os céus. Não é à toa que S. Tomás de Aquino (1225-1274), teólogo que mais contribuiu para a “fusão”, defende a existência de três tipos de tempo: a eternidade “atemporal”

(prerrogativa de Deus apenas), o tempo dos anjos e dos corpos celestes (com início, mas sem fim), e o dos corpos e fenômenos terrestres (uma sucessão com começo e fim definidos). Associa o tempo ao movimento, assim como faz Aristóteles, afirmando que o “antes” e o “depois” no movimento é que constituem a sucessão temporal. Compartilha, entretanto, com Santo Agostinho a noção de que o tempo foi criado *junto* com o Universo (Tomás de Aquino, 1973).

II.3. A revolução de Copérnico

O Renascimento foi o momento propício para a revolução. O impulso dado à astronomia pelas navegações, que exigiam um melhor conhecimento dos céus e uma mais precisa marcação do tempo, e pela necessária reforma do calendário Juliano, uniu-se a diversos fatores de ordem política, econômica e social, para formar o “caldo” que iria alimentar Copérnico, Galileu e Kepler.¹⁰ Além disso, influenciará o pensamento renascentista a corrente *neoplatônica*, cujas raízes encontram-se nos primeiros séculos da era cristã, e que valorizava a matemática e a geometria, as “formas ideais” de um mundo incorruptível contra a evidência dos sentidos.

É nesse contexto que surge o trabalho de Nicolau Copérnico (1473-1543), de importância capital para o desenvolvimento de uma nova astronomia e cosmologia. Para nós, que temos na questão do *tempo* nossa preocupação imediata, a obra de Copérnico não trouxe qualquer contribuição *direta*. Entretanto, indiretamente, seu papel foi crucial, na medida em que abalou *todo* um sistema explicativo *coerente*. Uma mudança na astronomia teve que ser acompanhada por uma nova teoria do movimento, e é nesse momento que surgirá a questão temporal, como veremos.

O *De Revolutionibus Orbium Caelestium*, publicado em 1543, era um livro essencialmente técnico, destinado a astrônomos. Embora tenha propiciado a revolução, não se tratava de uma obra “revolucionária”, vinculada que estava à antiga tradição. Copérnico tinha objeções à astronomia de sua época que, segundo ele, era incapaz de resolver o problema dos planetas (ao longo dos séculos que separam Ptolomeu de Copérnico acumularam-se pequenos *erros* das posições planetárias, gerando uma incongruência maior entre o antigo sistema e as observações). Sob seus “óculos” neoplatônicos o sistema ptolomaico parecia “monstruoso”. A mobilidade da Terra

¹⁰ Segundo Koyré, esse período, que acabou por destruir a síntese aristotélica, não corresponde (como se diz muitas vezes) a uma época dotada de “espírito crítico” ou “espírito de ciência”. Pelo contrário, trata-se “da época da mais grosseira e mais profunda superstição, da época em que a crença na magia e na feitiçaria se expandiu de modo prodigioso, infinitamente mais do que na Idade Média.” Para o historiador, o desenvolvimento da ciência ocorreu à margem do “espírito renascentista”, ao qual Kepler encontra-se mais ligado que Galileu. Ver Koyré, A. - A Contribuição Científica da Renascença. In: Koyré, 1991, p. 46-55.

representava para ele, a princípio, um *artifício matemático útil* capaz de minorar as discrepâncias e trazer uma “harmonia” para o modelo do universo.

Em muitos aspectos, o Universo de Copérnico assemelhava-se ao da cosmologia aristotélica: era esférico, assim como a Terra, e finito. O movimento dos corpos celestes era uniforme, circular e perpétuo, ou composto de movimentos circulares. Esses movimentos seriam *naturais* numa esfera, o que permite a Copérnico *romper* com a tradição e atribuir, de imediato, um movimento de rotação (em torno do próprio eixo) para nosso planeta, o que explicaria a rotação diurna dos astros (de leste para oeste). Como a imobilidade seria mais “nobre e divina” que a mudança, argumenta o autor que a primeira deveria ser imputada aos céus (e às estrelas), e não à Terra. Essa, por sua vez, apresentava mais *dois* movimentos: o de rotação orbital anual em torno do Sol, e um movimento cônico anual do eixo. Esse segundo movimento evidencia mais uma vez a relação de Copérnico com aspectos do pensamento aristotélico, em vias de superação. Porque imagina a Terra *fixa numa esfera* que gira em torno do Sol, precisa supor o movimento cônico do eixo para “compensar” a variação de direção a que ele estaria submetido durante uma rotação anual. Atribuindo a *aparência* dos movimentos aos céus e a sua *realidade* à Terra, o modelo copernicano explicava não apenas a rotação diurna dos astros, mas o movimento (aparente) do Sol “para leste”, em relação às estrelas, bem como as estações do ano. Entretanto, até aqui o novo universo é *equivalente* ao anterior, e quem sabe, *mais* complicado. É com relação aos movimentos dos planetas, no entanto, que a explicação copernicana parece mais simples, uma vez que não são necessários epíclis maiores. O movimento retrógrado torna-se também um movimento aparente, produzido quando a Terra “ultrapassa” os planetas “exteriores” (Marte, Júpiter e Saturno) ou é “ultrapassada” pelos “interiores” (Mercúrio e Vênus). Vistos da Terra móvel, os planetas parecem ir e vir em relação ao fundo de estrelas. Qualitativamente, a nova visão é mais *econômica* que a anterior, mas a previsão *quantitativa* do novo modelo era tão boa quanto a dos modelos geocêntricos contemporâneos. Na ausência E, para chegar a tal, Copérnico teve que usar epíclis menores e excêntricos, inclusive para o movimento da Terra. O seu sistema, como um todo, não é mais simples ou mais exato que o de Ptolomeu. Nas palavras de Kuhn, “Copérnico não resolveu o problema dos planetas”.¹¹

As principais motivações para a adesão ao copernicanismo parecem ter sido de natureza “*estética*”. Além da eliminação dos epíclis maiores, o novo modelo oferecia uma explicação imediata para o fato de Mercúrio e Vênus aparecerem sempre próximos ao Sol, bem como vinculava o tamanho relativo das órbitas planetárias, estabelecendo uma certa “coerência” para todo o sistema. A “harmonia geométrica” ainda era uma *promessa* no heliocentrismo copernicano, mas foi suficiente para conseguir *adeptos* dispostos a extrair de sua obra o essencial à construção de um novo

¹¹ Kuhn, op.cit., p. 198-199.

universo. Copérnico tornara aguda a *crise* do paradigma aristotélico-ptolomaico, e fornecera uma fundamentação *astronômica* suficiente para isso. Entretanto, como um personagem de transição, seu vínculo a antigas concepções não lhe permitiu construir uma “*física*” compatível com o movimento da Terra. Seus sucessores herdariam novos problemas colocados por sua astronomia, cuja resolução representaria o processo de *articulação* necessário à consolidação da nova cosmologia.

A oposição às idéias de Copérnico foi crescendo cada vez mais durante o século XVI, acirrando-se no início do século XVII. Mesmo antes da publicação do *De Revolutionibus*, Lutero contrapôs as idéias de Copérnico à Sagrada Escritura, cuja autoridade máxima será também evocada por Calvino.

No bojo da luta entre católicos e protestantes inseriu-se o copernicanismo, apanhando dos dois lados. Estes partidários de uma interpretação literal da Bíblia, forneceram uma oposição feroz, mas a estrutura institucional dos católicos acabou contribuindo para uma atitude mais severa. A Inquisição procurou combater fortemente a doutrina copernicana, não permitindo a impressão de livros que considerassem a Terra móvel, colocando o *De Revolutionibus* no *Índex* (em 1616), impondo a “prisão” e retratação de Galileu (em 1633), entre outros atos.

No entanto, a Terra se move! E a cada revolução de nosso planeta tornava-se mais difícil manter a dicotomia celeste-terrestre, própria do aristotelismo. O trabalho de outros, como Kepler e Galileu, irá pavimentar a estrada que leva à nova mecânica. Antes de Kepler, Tycho Brahe (1546-1601) foi o responsável por uma enorme melhoria das observações e um aumento da precisão dos dados astronômicos, que serão herdados por Kepler. Tycho, fiel ao paradigma geocêntrico, estabeleceu um modelo de “compromisso”, que considerava a Terra como corpo central, mas onde os planetas deveriam girar à volta do Sol. Era *equivalente* ao modelo copernicano, mas tinha o mérito de abandonar o uso de “esferas cristalinas”, uma vez que a órbita do Sol deveria “cruzar” a de Marte. Tycho também contribuiu no sentido de romper com a idéia de imutabilidade dos céus, ao observar vários cometas que, devido à ausência de paralaxe, deveriam deslocar-se além da esfera lunar. Fenômenos como esses “jogavam a favor” do sistema de Copérnico, e evidenciavam uma mudança de significado, importância e interpretação.

Uma cisão mais profunda com a cosmovisão geocêntrica coube a Johannes Kepler (1571-1630). Copernicano desde cedo, além de melhorar certos detalhes matemáticos do modelo heliocêntrico, estudará especialmente a órbita de Marte, que continha as maiores irregularidades, chegando à sua famosa lei das órbitas elípticas. Com isso, não apenas substituiu *todos* os excêntricos e epiciclos da antiga astronomia, como rompeu com a *tradição do círculo* e do *movimento uniforme*, uma vez que a velocidade de um planeta deveria variar ao longo de sua órbita, o que é o cerne da segunda lei, conhecida como “lei das áreas”. Fortemente influenciado pelo pensamento neoplatônico e pitagórico, Kepler considerava o Sol como a *causa física* dos

movimentos dos planetas, que eram *empurrados* em suas órbitas por raios de uma força motriz (*anima motrix*), cuja origem era o Sol. Buscou uma série de outras “harmonias” matemáticas e geométricas no universo, como por exemplo uma relação entre velocidades orbitais dos planetas e a escala musical, e uma relação das dimensões e do número das órbitas com os cinco “sólidos regulares”. Sua terceira lei, que relacionava os diversos planetas entre si por meio de uma relação matemática simples, é um exemplo bem sucedido dessa busca.

II.4. A nova mecânica

Chegamos, finalmente, a Galileu Galilei (1564-1642). No âmbito da astronomia, o cientista italiano trouxe grandiosas contribuições no sentido da *articulação* do modelo copernicano. Com o uso do telescópio, observou os céus como nunca ninguém havia visto, e relatou a profusão de estrelas da via-láctea, as montanhas da Lua, as manchas solares, os satélites de Júpiter e as fases de Vênus. Tudo isso era compatível com a nova cosmologia que surgia, na qual não havia a separação entre o celeste e o terrestre, entre o incorruptível dos astros e a corrupção terrena. Entretanto, o telescópio em si não “provava” o heliocentrismo, e sequer foi *reconhecido* de imediato como um instrumento válido para as observações astronômicas. Sua principal função foi a de *popularizar* a astronomia copernicana.

No entanto, o que mais nos importa nesse momento é o trabalho efetivo de Galileu na construção de uma nova *teoria do movimento*. Sem ela, a astronomia copernicana tornar-se-ia “frágil”. O movimento da Terra trazia questões para a física “terrestre” que claramente estavam em desacordo com a visão aristotélica. À idéia do movimento em direção ao “lugar natural”, Galileu contrapôs a *relatividade do movimento*, inaugurando uma nova “interpretação natural”¹² ou seja, uma nova forma de olhar o real, um novo *prisma* diante dos fenômenos. O *espaço* da física tradicional era *absoluto*, mas não no sentido newtoniano, e sim devido à noção absoluta de *lugar*, de uma hierarquia rígida e fixa dos elementos no universo geocêntrico. Como compreender a queda vertical dos corpos numa Terra planetária?

A idéia de movimento *compartilhado*, de *composição* de movimentos, da dependência do movimento em relação ao observador (presente nas “transformações de Galileu”), fundamentarão a nova física. Mas não nos poderemos deter na análise de tal construção repleta de argumentos perspicazes e contundentes, próprios do autor. Voltemo-nos à questão do tempo.

Dá-se o estabelecimento da lei de queda dos corpos na Terceira Jornada (*Do Movimento Local*) do *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove*

¹² Expressão usada por P. Feyerabend (1977).

scienze attenenti alla Mecanica ed ai Movimenti Localli, publicado em 1638. Galileu (pela boca de Salviati) inicia dizendo:

“Vamos expor uma nova ciência a respeito de um tema muito antigo. Não existe na natureza nada anterior ao MOVIMENTO e, com referência a ele, não poucos e pequenos volumes foram escritos pelos filósofos; apesar disso, muitas propriedades dignas de serem conhecidas não foram até o momento nem observadas, nem demonstradas. (...) não foi demonstrado, que eu saiba, que um móvel, que cai a partir do repouso, percorre em tempos iguais espaços que mantêm entre si a mesma proporção que têm os números ímpares sucessivos a partir da unidade.” (Galilei, 1988, p. 153)

Segue-se uma definição de movimento uniforme e alguns axiomas e teoremas. Em seguida, Galileu apresenta sua definição de “movimento naturalmente acelerado”. É aqui que sua opção pelo tempo explicita-se:

“Finalmente, no estudo do movimento naturalmente acelerado, fomos, por assim dizer, conduzidos pela mão graças à observação das regras seguidas habitualmente pela própria natureza em todas as suas outras manifestações nas quais ela faz uso de meios mais imediatos, mais simples e mais fáceis. (...)

Quando, portanto, observo uma pedra que cai de uma certa altura a partir do repouso e que adquire pouco a pouco novos acréscimos de velocidade, por que não posso acreditar que tais acréscimos de velocidade não ocorrem segundo a proporção mais simples e mais óbvia? Se considerarmos atentamente o problema, não encontraremos nenhum acréscimo mais simples que aquele que sempre se repete da mesma maneira. O que entenderemos facilmente, se considerarmos a estrita afinidade existente entre o tempo e o movimento: do mesmo modo, com efeito, que a uniformidade do movimento se define e se concebe com base na igualdade dos tempos e dos espaços (...), assim também, mediante uma divisão do tempo em partes iguais, podemos perceber que os aumentos de velocidade acontecem com simplicidade; concebemos no espírito que um movimento é uniforme e, do mesmo modo, continuamente acelerado, quando, em tempos iguais quaisquer, adquire aumentos iguais de velocidade.” (p. 160)

O modo “mais simples e óbvio” será portanto, para Galileu, aquele no qual acréscimos iguais de velocidade ocorram em *tempos* iguais. Koyré, entretanto, nos lembra que Galileu nem sempre pensou assim. Em seu manuscrito *De Motu*, escrito durante o período em que passou em Pisa, chegou a defender que a aceleração do movimento de queda ocorria somente no início do movimento, sendo a velocidade final de queda (proporcional ao peso do objeto) atingida a partir de um dado momento, permanecendo constante depois.¹³

Em uma carta posterior a Paolo Sarpi, de 1604, Galileu mostra já *conhecer* a lei de queda, mas parece buscar uma explicação que relacione a velocidade de queda com a *distância* percorrida:

“Refletindo nos problemas do movimento, para os quais, a fim de demonstrar os acidentes por mim observados, me faltava um princípio absolutamente indubitável que pudesse estabelecer como axioma, cheguei a uma proposição que parece suficientemente natural e evidente; estando ela suposta, demonstro depois o resto, nomeadamente que os espaços percorridos pelo movimento natural estão na proporção dupla do tempo e que, por conseguinte, os espaços percorridos em tempos iguais são como os números ímpares ab unitate e as outras coisas. E o princípio é este: que o móvel natural vai aumentando de velocidade na própria proporção em que se afasta do ponto de partida; (...)” (Apud Koyré, op.cit., p. 107 – grifo nosso)

Como vemos, Galileu estava na “pista” errada! Seu erro, como aponta Koyré, foi, ao instaurar uma nova forma de olhar o fenômeno da queda dos corpos, trazendo definitivamente a matemática para a física, “geometrizando em excesso”, tentando atribuir ao espaço aquilo que era válido para o tempo (Descartes incorreu também nesse erro, do qual não se libertou). Mas o seu “princípio” não o permitia deduzir a lei de queda, conhecida por ele. Num trecho posterior dos *Discorsi*, Sagredo apresenta-nos a antiga proposta de Galileu, relacionando velocidade e espaço, à qual Salviati responde, afirmando ter cometido o mesmo engano durante certo tempo.

Salviati ainda irá combater uma objeção de Simplício que, pensando num grave ascendente, afirma que esse *nunca atingirá o repouso*, uma vez que há infinitos “graus de lentidão” pelos quais o grave deve passar. Esse problema dos infinitésimos permite a Galileu explicitar-nos sua visão de tempo contínuo, com infinitos instantes:

“Salviati - É isso o que aconteceria, Sr. Simplício, se o móvel se detivesse durante algum tempo em cada grau de velocidade; acontece, porém, que ele simplesmente passa sem demorar mais que um instante. E, visto que em todo intervalo de tempo, por menor que

¹³ Koyré, 1986, p. 83.

seja, existem infinitos instantes, estes são suficientes para corresponder aos infinitos graus de velocidade que diminui. Que esse grave ascendente não permaneça durante algum intervalo de tempo num mesmo grau de velocidade, fica evidente do seguinte modo: se, fixado um intervalo de tempo determinado, no primeiro instante desse tempo e também no último, se encontrasse que o móvel tem o mesmo grau de velocidade, poderia, a partir desse segundo grau de velocidade, ser igualmente elevado por um espaço semelhante, da mesma maneira que do primeiro foi levado ao segundo e, pela mesma razão, passaria do segundo ao terceiro, para continuar finalmente seu movimento uniforme ao infinito.” (Galilei, op.cit., p. 163)

Essa discussão dos “infinitos instantes e graus de velocidades” remete-nos ao fato de que as noções de contínuo e de infinito, em Galileu, já não representam mais o que representavam para Aristóteles. Para o primeiro, uma grandeza contínua seria composta por uma infinidade de elementos infinitamente pequenos (os “indivisíveis”), ou seja, o *divisível* seria composto por *indivisíveis*¹⁴. Já para o segundo, como vimos, o *contínuo infinitamente divisível*, seja ele espacial ou temporal, não poderia ser composto por indivisíveis. Vemos assim como a idéia de *divisibilidade ao infinito* do tempo já não tem o mesmo significado anterior, indicando uma *ruptura* conceitual.

Retomando brevemente as indagações iniciais de nosso texto, diríamos que o “erro” de Galileu mostra a sua dificuldade em romper com uma física essencialmente “espacial”, onde o tempo era um mero coadjuvante. As idéias neoplatônicas que o influenciaram também contribuíram para essa “geometrização em excesso”. Outros aspectos de seu pensamento evidenciam, como vimos com Koyré, seu vínculo (principalmente no início da carreira) com visões aristotélicas.¹⁵ Galileu foi ainda um personagem de transição entre dois paradigmas, mas certamente muito mais vinculado ao novo saber. A velha tradição gradualmente perdia o seu *lugar*.

¹⁴ Gandt (1986) discute a visão de Galileu, que parte da própria idéia de contínuo em Aristóteles para dela tirar conclusões bastante diversas. Segundo o pensador italiano, para que uma linha possa ser dividida e subdividida ao infinito, as “partes” devem ser em número infinito – caso contrário a divisão terminaria – e devem ser “sem grandeza” (e, portanto, indivisíveis) – caso contrário formariam, em número infinito, uma extensão infinita. Em suma: o contínuo divisível seria composto por indivisíveis.

¹⁵ Por exemplo, com relação à lei da inércia, Galileu parece ter chegado a uma espécie de “inércia circular”, ou seja, à noção de um movimento circular infinito na ausência de “forças”. Koyré, op.cit., p. 285-286.

A “temporalização” do movimento de queda insere-se, portanto, na construção de uma teoria do movimento incomensurável com o paradigma anterior. Esse momento marca de forma indelével a introdução do conceito de tempo de modo *profundo* na mecânica, abrindo o caminho que leva ao tempo absoluto newtoniano.

Apontada a *dificuldade*, seria lícito perguntar quais fatores poderiam ter *contribuído* para essa análise galileana. Certamente que os trabalhos dos críticos medievais de Aristóteles, como Oresme e Buridan, além de outros importantes autores citados por Koyré¹⁶, como J. B. Benedetti, representaram boa parte desses fatores. Seriam os únicos? Com um pouco de cautela, arriscaríamos dizer que não.

Os primeiros relógios mecânicos datam do final do século XIII, e parecem ter sido herdeiros de espécies de “calendários mecânicos”, ao mesmo tempo destinados a marcar o tempo e simular o movimento dos céus. Ornamentavam as grandes catedrais, inicialmente, e aos poucos passaram a existir relógios públicos. No século XIV surge a ampulheta, e no século XV, os relógios de algibeira. A “marcação do tempo” não passava apenas a estar mais presente na vida cotidiana, mas também trazia consigo marcas profundas na maneira de encarar o *tempo* em si. Embora esses relógios mecânicos “primitivos” fossem bastante imprecisos, a idéia de *mecanismo* levou quase que diretamente ao estabelecimento de metáforas em relação ao cosmos: o universo como um relógio. Whitrow (op.cit.) aponta como tal visão já está presente implicitamente em Oresme, no século XIV, e mais explicitamente em Kepler, já no século XVII.

Se as revoluções dos astros assemelhavam-se às de um relógio, esse por sua vez, era cada vez mais usado e importante na Terra (haja visto, por exemplo, o problema da marcação do tempo para as navegações). Whitrow afirma que a imagem típica do tempo no Renascimento era a do destruidor munido de uma foice, e foi aos poucos sendo substituída por visões mais otimistas (inclusive em relação à história) ao longo do século XVII.

A revolução de que trata este trabalho é certamente fruto de uma época, e portanto não apenas motivada por fatores “internos” à ciência. Ainda que Galileu não se tenha valido de relógios mecânicos, o desenvolvimento mais propriamente *tecnológico* dos mesmos, próprio de sua época, alterou a visão comum e científica do tempo, o que pode ter contribuído para a “temporalização” do movimento de queda.

Nos *Discorsi*, Galileu descreve a sua famosa experiência do plano inclinado, de onde deriva a lei $s \propto t^2$. Preocupa-se em relatar o mecanismo de medida do tempo através de sua “clepsidra”:

¹⁶ Koyré, op.cit., p. 58-75. Ver também o artigo: Giambattista Benedetti, Crítico de Aristóteles. In: Koyré, 1991, p. 128-151.

“No que diz respeito à medida do tempo, empregávamos um grande recipiente cheio de água, suspenso no alto, o qual, por um pequeno orifício feito no fundo, deixava cair um fino fio de água, que era recolhido num pequeno copo durante todo o tempo em que a bola descia pela canaleta ou por suas partes. As quantidades de água assim recolhidas eram a cada vez pesadas com uma balança muito precisa, sendo as diferenças e proporções entre os pesos correspondentes às diferenças e proporções entre os tempos; e isto com tal precisão que, como afirmei, estas operações, muitas vezes repetidas, nunca diferiam de maneira significativa.” (Galilei, op.cit., p.176)

A inexatidão inerente às experiências galileanas, manifestada aqui em sua medida do tempo, permite-nos compreender a relutância do autor em atribuir um valor concreto à aceleração dos corpos em queda. Galileu parece ter percebido a importância de uma medição mais precisa do tempo, e seus estudos com o pêndulo refletem tal necessidade. Entretanto, ele não utilizou o movimento pendular em suas experiências, e será C. Huygens o responsável não apenas pela construção dos primeiros relógios mecânicos de pêndulo, mas pela determinação correta do valor de g .¹⁷

Aristóteles estabelecera que “o tempo é a medida do movimento”. Chegara a hora, então, de *medi-lo*.

Teria sentido, conseqüentemente, retomarmos o referencial bachelardiano para analisar o conceito de tempo em Galileu. Já não encontramos aqui os “resíduos anímicos” que salientamos estarem presentes no aristotelismo. A clepsidra substitui a “alma que conta”, instituindo um *empirismo claro*, e uma “independência conceitual” ao tempo. Podemos agora falar em uma “conduta do relógio” correspondente a um *realismo ingênuo*. A *medição* precisa do tempo define o próprio tempo, assim como a balança define a massa. E que interessante simbiose entre as condutas “da balança” e “do relógio” proporciona-nos Galileu, que *mede* o tempo *pesando* a água!

Essa noção empirista encontra-se fortemente ligada a aspectos da organização econômica e social, estando cada vez mais presente na vida do cidadão comum ao longo dos séculos. Ainda hoje, é comum pensar-se o tempo como sendo “aquilo que o relógio mede”, e o “horário de verão”, por exemplo, ainda parece “roubar” *efetivamente* uma hora na vida de muitos.

Voltando a Galileu, ingênuo seria atribuímos a ele apenas essa visão. A representação que ele faz do tempo por meio de uma linha reta geométrica, em vários teoremas e proposições dos *Discorsi*, abre caminho para o conceito de tempo absoluto de Newton, que procuraremos caracterizar a seguir (dentro ainda de uma análise

¹⁷ Koyré, A. Uma Experiência de Medida. In: Koyré, 1991, p. 271-300.

bachelardiana) como uma visão *racionalista* do tempo. Entretanto, Galileu não *explicita* essa visão, não a abstrai inteiramente dos fenômenos, como fará Newton.

A astronomia copernicana abriu a possibilidade de novas especulações sobre o universo. Nos séculos XVI e XVII renasceram concepções de um universo infinito, assim como o *atomismo* ganha a força que perdera com a vitória do *pleno* aristotélico na antigüidade. Essas idéias misturam-se na cosmologia de René Descartes (1598-1650), que imaginou um mundo constituído de partículas indivisíveis, mas que preenchiam de tal forma o universo que o tornavam um *pleno* de corpúsculos. Está presente em Descartes a noção de um *mecanismo físico* que explicasse o movimento circular dos astros, representado pelos “vórtices” de sua cosmologia.

Kuhn assinala como o rompimento da dicotomia celeste-terrestre tornara a questão do movimento planetário um problema de “mecânica aplicada”. Robert Hooke (1635-1703) e Isaac Newton (1642-1727), utilizando-se do conceito de inércia de Descartes, darão na mesma época o “salto” fundamental e crucial, afirmando que a Lua cai como uma maçã, ou seja, a mesma força gravitacional é a responsável pelos dois movimentos. Coube a Newton o estabelecimento de uma *lei matemática* para a atração.

É interessante notar como a idéia de *gravidade* como inata à matéria ia, de certo modo, de encontro a uma explicação puramente *mecânica* e *corpúscular*, parecendo conter elementos da cosmologia de Aristóteles. Newton reconheceu esse fato, e a busca de uma “causa” da gravidade o atormentou durante toda a vida. Talvez esse ponto tenha sido bastante motivador para o auxílio que Newton procurou na alquimia e na filosofia hermética, entre outras influências.

Newton inicia o *Principia* com um conjunto de definições (quantidade de matéria, quantidade de movimento, força centrípeta, etc.), nas quais já aparece o tempo. No escólio da primeira parte, ele afirma não haver definido certas grandezas (entre elas o tempo) por serem bem conhecidas de todos, mas acrescenta:

“Contudo, observo que o leigo não concebe essas quantidades sob outras noções exceto a partir das relações que elas guardam com os objetos perceptíveis. Daí surgem certos preconceitos, para a remoção dos quais será conveniente distingui-las entre absolutas e relativas, verdadeiras e aparentes, matemáticas e comuns.

I - O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração; o tempo relativo, aparente e comum é alguma medida de duração perceptível e externa (seja ela exata ou não uniforme) que é obtida através do movimento e que é normalmente usada no lugar do tempo verdadeiro, tal como uma hora, um dia, um mês, um ano.” (Newton, 1990, p. 7)

Os “preconceitos” aos quais Newton se refere no início da citação acima representam justamente as dificuldades de abstração de um tal conceito absoluto de tempo a partir da vida comum. São *obstáculos*, no sentido bachelardiano, como o são a experiência primeira, o animismo, o substancialismo, entre outros (Bachelard, 1996). A concepção newtoniana de tempo absoluto é claramente separada do tempo “relativo, aparente e comum”, que é uma *medida* do primeiro. O tempo absoluto não tem relação com “qualquer coisa externa”, é uma abstração. Já não há mais espaço, em Newton, para uma “conduta do relógio”, no sentido de um conceito empírico de tempo. A separação entre a “medida do tempo” e o “tempo *em si*” permite-nos caracterizar essa noção como um conceito *racionalista* de tempo, ainda dentro do referencial epistemológico de Bachelard (Bachelard, 1991).

Reiterando sua posição, continua Newton um pouco adiante:

“Tempo absoluto, em astronomia, é distinguido do tempo relativo, pela equação ou correção do tempo aparente. Porque os dias naturais são de fato desiguais, apesar de serem comumente considerados como iguais e usados como uma medida de tempo; os astrônomos corrigem essa desigualdade, para que possam medir os movimentos celestes por um tempo mais rigoroso. Pode ser que não haja algo como movimento uniforme, onde o tempo possa ser rigorosamente medido. Todos os movimentos podem ser acelerados e retardados, mas o fluxo de tempo absoluto não é passível de mudanças. A duração ou perseverança da existência das coisas permanece a mesma, sejam os movimentos rápidos ou lentos, ou até completamente nulos. E, portanto, essa duração deve ser distinguida daquelas que são apenas suas medidas perceptíveis, a partir das quais aquela é deduzida através da equação astronômica.” (p. 8-9)

Com o cálculo infinitesimal e a consolidação da nova cosmologia, insere-se o tempo num outro quadro conceitual “completo”, fazendo parte de um conjunto de noções que estabelecem outro vínculo entre a razão e o sensível, superando um realismo imediato.

Não podemos esquecer, no entanto, a relação estabelecida por Newton entre o *dt* e a ação de Deus no universo, que gerou duras críticas por parte de seu contemporâneo Leibniz (1646-1716), para quem o tempo não tem uma existência

independente dos objetos e das pessoas que o concebem. Ao contrário, é a “ordem sucessiva das coisas” que nos dá a noção de tempo, sendo ele, pois, relativo¹⁸.

Para Leibniz, o tempo é algo “ideal”, constituindo-se a partir de relações, o que não o impede de ser dotado de “quantidade”:

“Assim, como já deixei dito, supor que Deus tenha criado o mesmo mundo mais cedo é supor algo de quimérico. É fazer do tempo uma coisa absoluta, independente de Deus, ao passo que o tempo deve coexistir com as criaturas, e não se concebe senão pela ordem e quantidade de suas mudanças.” (Leibniz, 1983, p. 205)

Alexandre Koyré nos chama a atenção para o fato de que o Deus de Leibniz não é o Deus de Newton, e isso está na base da divergência entre ambos.¹⁹ Mais uma citação de Leibniz (com a qual certamente Newton não concordaria) evidencia-nos isso, e nos remete ao que foi dito anteriormente sobre a visão newtoniana do papel de Deus:

“Newton e seus asseclas têm ainda uma divertidíssima opinião sobre a obra de Deus. Conforme eles, Deus de vez em quando precisa dar corda em seu relógio, porque senão ele deixaria de andar. O cientista não teve visão suficiente para imaginar um movimento perpétuo. (...) Na minha opinião, a mesma força e vigor subsiste sempre, passando somente de matéria em matéria, conforme as leis da natureza e a bela ordem preestabelecida.” (Leibniz, op.cit., p. 169)

Outra importante crítica ao conceito de tempo em Newton deveu-se a E. Mach, que o encarava como um “ocioso conceito metafísico”²⁰. Entretanto, até o advento da teoria da relatividade, a noção newtoniana de tempo reinará, absoluta.

Com o trabalho de Newton podemos dizer que se completa a revolução. O universo aristotélico-ptolomaico fora substituído por outro, que trouxe um conjunto de *novos problemas* e possibilidades para a ciência, além de haver influenciado diversas

¹⁸ A concepção leibniziana do tempo encontra-se, nesse aspecto, bastante “sintonizada” com a visão relativística que surgirá séculos mais tarde.

¹⁹ Koyré, s/d, p. 232-233.

outras áreas, tais como a filosofia e a política. Tratava-se de uma nova maneira de *olhar* a natureza, que *rompia* radicalmente com os conceitos da antiga cosmologia, colocando a perspectiva de um “universo mecânico”, governado por *leis* matemáticas precisas, e funcionando como um *relógio*. Ainda que o próprio Newton não ratificasse essa noção, surgiria o *determinismo* matemático e científico como decorrência de sua grandiosa obra.

Ao mundo fechado e à hierarquia de “lugares” sobrepunha-se um mundo infinito, e um espaço homogêneo e isotrópico. Com relação ao conceito de tempo, assistimos também a uma transição entre incomensuráveis: de uma ênfase animista-empirista, que vimos estar presente em Aristóteles, para o racionalismo característico do novo paradigma, ambas as noções imersas em seus respectivos universos conceituais. E nessa transição, o conceito de tempo passa de mero coadjuvante de uma física não matematizável a protagonista de uma nova mecânica matematizada.

III. Referências bibliográficas

AGOSTINHO, STO. **Confissões**. Tradução. J. Oliveira Santos; A. Ambrósio de Pina. 2.ed. São Paulo: Abril Cultural, 1980. (Coleção Os Pensadores).

BACHELARD, G. **A Filosofia do Não: Filosofia do Novo Espírito Científico**. Tradução Joaquim José Moura Ramos. 5.ed. Lisboa: Presença, 1991.

BACHELARD, G. **A Formação do Espírito Científico**. Tradução Estela dos Santos Abreu. 1.ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

FEYERABEND, P. **Contra o Método**. Tradução Octanny S. da Mota; Leonidas Hegenberg. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977.

GALILEI, G. **Duas Novas Ciências**. Tradução Letizio Mariconda; Pablo R. Mariconda. 2.ed. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins. São Paulo: Nova Stella, 1988.

GANDT, F. de. Nascimento e Metamorfose de uma Teoria Matemática: a Geometria dos Indivisíveis na Itália (Galileo, Cavalieri, Torricelli). **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v.10, p. 27-59, 1986.

KOYRÉ, A. **Do Mundo Fechado ao Universo Infinito**. Tradução Jorge Pires. Lisboa: Gradiva, s/d.

KOYRÉ, A. **Estudos Galilaicos**. Tradução Nuno F. da Fonseca. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1986.

²⁰ Não poderemos nos aprofundar aqui nas críticas de Mach a Newton. Quanto a isso, ver: Mach (1949) e Rodrigues (1988).

KOYRÉ, A. A contribuição científica da Renascença; Giambattista Benedetti, crítico de Aristóteles; Uma Experiência de Medida. In: KOYRÉ, A. **Estudos de História do Pensamento Científico**. Tradução Márcio Ramalho. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Tradução Beatriz Vianna Boeira; Nelson Boeira. 2.ed. São Paulo: Perspectiva, 1987.

KUHN, T. S. **A Revolução Copernicana**. Tradução Marília C. Fontes. Lisboa Edições, 1990.

LEIBNIZ, G. W. **Correspondência com Clarke**. Tradução Carlos Lopes de Mattos. 2.ed. São Paulo: Abril Cultural, 1983. (Coleção Os Pensadores).

MACH, E. **Desarrollo historico-critico de la Mecanica**. Tradução Jose Babini. Buenos Aires: Espasa - Calpe, 1949.

MARTINS, A. F. P. **O ensino do conceito de tempo: contribuições históricas e epistemológicas**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NEWTON, I. **Principia: Princípios matemáticos de Filosofia Natural**. Tradução Trieste Ricci et al. São Paulo: Nova Stella, 1990. v.1.

PIAGET, J. Os dados genéticos da epistemologia física. In: PIAGET, J. (org.) **Lógica e Conhecimento Científico**. Porto: Livraria Civilização Ed., 1981. v.2

PLATÃO **Diálogos** (v. XI - Timeu - Crítias - O 2º Alcibíades - Hípias Menor). Tradução Carlos Alberto Nunes, Belém: Universidade Federal do Pará, 1977.

PROVERBIO, E.; LAI, S. Spontaneous models and the formalization of the concepts of weather and time at the elementary school level. **International Journal of Science Education**, v.11, n.1, p.113-123, 1989.

RODRIGUES, I. G. **Aspectos epistemológicos da mecânica de Newton: novas formas de compreensão dos conceitos**. 1988. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROSS, W. D. **Aristoteles**. Tradução Diego F. Pró. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1957.

TOMÁS DE AQUINO, STO. **Compêndio de Teologia**. Tradução Luiz João Baraúna. São Paulo: Abril Cultural, 1973. (Coleção Os Pensadores).

VERNE, J. **A Volta ao Mundo em 80 Dias**. São Paulo: Codil, 1970.

WHITROW, G. J. **O Tempo na História: concepções do tempo da pré-história aos nossos dias**. Tradução Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1993.