



## e-Boletim de Física

International Centre for Condensed Matter Physics

Instituto de Física, Universidade de Brasília

Ano III, Maio de 2014 • <http://www.boletimdafisica.com/> • eBFIS 3 005-1(2014)

---

### Uma (pequena) História do Tempo

Samuel Simon\*

*Departamento de Filosofia, Universidade de Brasília, 70-910-900, Brasília, DF, Brasil*

O conceito de tempo possui uma longa história, que tem suas raízes no período clássico, onde é possível identificar, particularmente a partir do trabalho de Aristóteles, três noções estritamente vinculadas: o tempo psicológico, o tempo físico e o tempo cosmológico. Por sua vez, a história do tempo físico deve ser entendida como uma busca do aprimoramento e da relação estreita de três outros aspectos: sua medida, sua conceituação propriamente dita - particularmente vinculada à noção de continuidade - e o seu aspecto formal, dado pela matematização, a partir do período moderno. Esse aprimoramento parece ter tido um momento decisivo quando o pensamento medieval voltou-se para a quantificação de vários conceitos - especialmente com os calculadores do Merton College - o que, no caso do tempo, foi possível com a adoção (ou resgate) da álgebra que aprimorou o conceito de movimento, particularmente de velocidade e, indiretamente, do tempo. Mas se esse aprimoramento constituiu-se num legado para a Física contemporânea, a história da ciência recente nos revela novos vínculos: as relações entre esses três aspectos - a medida, a conceituação e o formalismo - decorrem agora dos princípios fundadores da Teoria da Relatividade e da estrutura matemática subjacente.

Palavras-chave: tempo; formalismo; Teoria da Relatividade.

The concept of time has a long history, which has its roots in the classical period, where it is possible to identify, particularly from the Aristotle's work, three closely related concepts: psychological time, physical time and cosmological time. As for the history of physical time, it must be understood as a quest for improvement and for the close relationship of three other aspects: its measure, its conceptualization properly speaking - particularly related to the notion of continuity - and its formal aspect, given by mathematization, which begins in the modern period. This improvement appears to have had a defining moment when the medieval philosophy turned to the quantification of various concepts - especially with the calculators of the Merton College - which, in case time, was possible with the adoption (or rescue) of the algebra, which improved upon the concept of movement, particularly speed, and indirectly that of time. But if this improvement constituted a legacy for contemporary physics, the history of recent science reveals new links: the relationship between these three aspects - measure, conceptualization and formalism- now derive from the founding principles of relativity theory and its underlying mathematical structure.

Keywords: time; formalism; relativity theory.

*“Que é, pois, o tempo? (...) Se ninguém me perguntar, eu sei; se o quiser explicar a quem me perguntar, já não sei”.*

Santo Agostinho, Confissões, livro XI.

Como algumas das noções que fundam as atuais teorias científicas, também o conceito de tempo tem suas raízes

em períodos muito remotos. Muito antes dos pensadores do período clássico iniciarem suas filosofias, egípcios, babilônios e chineses realizavam suas primeiras medidas da posição e do movimento dos corpos celestes e buscavam padrões temporais para determinar esses movimentos, construindo relógios de Sol e clepsidras. Assim, dois dos aspectos que identificamos como constitutivos de uma conceituação geral do tempo, o cosmológico e o físico, surgem relacionados. Determinar as fases da Lua, a posição das estrelas e realizar a confecção de calendários anuais dependiam diretamente de algum tipo de relógio. Não é, portanto, surpreendente que esses dois aspectos sejam examinados pelos primeiros filósofos gregos. O terceiro aspecto dessa conceituação geral, que chamaríamos de tempo psicológico – a percepção que se

---

\* samuell@unb.br

tem da passagem dos fenômenos —, surge um pouco mais tardiamente, mas ainda no período clássico.

Pitágoras (571–497) parece ser um dos primeiros filósofos a se interrogar sobre o tempo: o espaço (e talvez também o tempo) seria constituído de pontos — ou unidades de existência — e os objetos seriam constituídos por esses pontos de acordo com diferentes formas geométricas ([1], p. 68). Platão (427–347) [2], bastante influenciado por Pitágoras, define o tempo apenas no domínio cosmológico [3]. Alguns autores antes de Platão já haviam insistido sobre a importância do tempo cósmico ou pelo menos de sua relação com o que eles compreendiam como sendo o universo. Anaxágoras (500–428) [4] e Empédocles (495–435) [6], dentre outros, pensaram sobre esse tempo.

Aristóteles (384–322) [5] será o primeiro filósofo que contemplará os três aspectos do tempo: o psicológico, o cosmológico e o físico. Vale notar que embora o Estagirita [8] faça distinções nessas formas de tempo, existe uma estreita relação entre eles, mas Aristóteles sugere uma primazia do tempo psicológico. No entanto, é difícil afirmar essa precedência, pois, apesar da importância evidente da alma na percepção do tempo, como veremos a seguir, este se definia pelo movimento — estabelecendo sua definição geral [9] —, mas em estreita relação com o movimento da abóboda celeste [10]. De toda maneira, isso não altera a tradição do estudo do tempo físico, que já vinha sendo feito desde o período pré-socrático. De fato, Epicuro (341–271), pouco posterior a Aristóteles também insiste na importância da medida do tempo [11].

Santo Agostinho (354–430), fortemente influenciado por Platão e por Plotino (204–270), mas mais ainda pelo pensamento cristão, buscará uma síntese entre esses filósofos e as Escrituras. Consequentemente, o tempo cosmológico terá, para Santo Agostinho, estreita relação com a criação divina do universo [13]. Desse modo, a herança cristã marca uma ruptura com o universo eterno aristotélico, pois estabelece uma idade para o cosmo, criado conforme descrito nas Escrituras, segundo essa herança. A noção de um começo para o cosmo, praticamente ausente no pensamento clássico [15], marcará profundamente os estudos do período medieval. Assim, se ainda se pode falar de uma adesão importante a Aristóteles, surgem críticas a certos aspectos de sua filosofia, em particular ao estudo do movimento [16]. Ainda no que se refere ao tempo cósmico, um universo com uma “data de nascimento” contribuiu, entre outros aspectos, para os estudos sobre a idade da Terra como aqueles feitos de forma pioneira por Descartes, que propõe um dos primeiros modelos para formação do sistema solar, não necessariamente coincidente com as Escrituras [17].

Também o tempo psicológico insere-se nessa nova filosofia. No ano de 397, Santo Agostinho, na famosa passagem de suas Confissões (epígrafe acima), afirma não saber o que seja o tempo. No entanto, em outro trecho, logo adiante, ele o identifica com uma distensão da alma, uma percepção de momentos que se sucedem continuamente e que possuíam, em cada instante, uma atenção do pre-

sente, uma recordação do passado e uma expectativa do futuro. A novidade do conceito agostiniano reside na explicitação de uma continuidade ininterrupta na percepção da passagem dos fenômenos, pois a noção de um tempo concebido pela alma já havia sido enunciada por Aristóteles em sua Física [19]. Séculos mais tarde, Descartes se voltará para o exame dessa percepção temporal, mas irá separá-la do tempo físico; o tempo percebido pela alma será denominado duração [20] e, no que se refere ao tempo físico, adotará o enunciado de Aristóteles [22]. Essa separação pode ter sido importante para os estudos do século XVII, pois o tempo físico tornou-se independente do tempo psicológico, pelo menos enquanto objeto de estudo. Os estudos medievais, que precedem o período moderno, parecem confirmar essa hipótese.

Influenciados fortemente pelos matemáticos e filósofos árabes do século X-XII, autores como Thomas de Bradwardino (1290-1349), Jean de Buridan (1300-1358), dentre outros, elaboram uma série de estudos buscando quantificar certas qualidades. Esses autores, conhecidos como os “calculadores do Merton College”, discutem as relações entre intensio (intensidade, como, por exemplo, velocidade e calor) e extensio (extensão, como, por exemplo, distância e tempo) o que possibilita, inclusive, estabelecimento de representações gráficas entre a velocidade e o tempo. Nesse sentido, Bradwardino, influenciados pelos trabalhos da matemática árabe que desenvolveu (ou resgatou [23]) a álgebra, pode ter sido o primeiro a exprimir, algebricamente, a formulação aristotélica para a relação entre velocidade e força. Para este filósofo, a velocidade aumenta com a força aplicada e diminui conforme aumenta a resistência do meio. Bradwardino escreve a expressão  $v = \frac{f}{R}$ , para a relação aristotélica, sendo  $f$ ,  $v$  e  $R$ , a força, a velocidade e a resistência do meio, respectivamente [24]. Essa equação deve ter sido decisiva para os estudos que se seguiram logo em seguida. Nesse mesmo período, Guilherme de Heytesbury (1313-1372/1373) introduz algo próximo de uma velocidade instantânea ([25], p. 262), sendo o tempo, portanto, contínuo e ininterrupto. O conceito físico do tempo bem estabelecido com a formalização feita posteriormente por Galileu Galilei (1564-1642), Gottfried Leibniz (1646-1716) e Isaac Newton (1643-1727) expressará exatamente essa continuidade e o fato de se poder associar um número real a qualquer instante que se queira. Nesse sentido, a medida do tempo deverá acompanhar essa formalização e a continuidade a ela associada. Como é bem conhecido, Newton insiste na necessidade de um tempo absoluto, mas, no que se refere ao formalismo e às medidas - vale observar que o tempo absoluto, conforme definido nos Principia não é mensurável - será preservada a invariância temporal para qualquer tipo de movimento relativo.

Consideramos que, com a física newtoniana, o que chamamos as três “dimensões” do tempo físico - mensuração, conceituação e formalização - emergem de maneira clara, pois: a-) são necessários relógios para efetuar as medidas de intervalos temporais, b-) as medidas associadas a esses intervalos são as mesmas para qualquer movimento

dos referenciais ( $\Delta t = \Delta t'$ ), c-) as coordenadas temporais presentes nas equações devem corresponder a essas medidas para qualquer movimento relativo ( $t = t'$ ).

Se na física newtoniana as transformações entre sistemas de coordenadas preservam a invariância temporal, isso decorre do Princípio de Relatividade, nesse caso válido apenas para sistemas mecânicos, e da ausência de quaisquer limites para velocidade entre os sistemas de referência. As alterações impostas às medidas de intervalos temporais e às transformações nas coordenadas temporais, presentes na Teoria da Relatividade, decorrem dos princípios norteadores dessa teoria [26], mas ainda preserva a continuidade associada a essas coordenadas. Dito

de outra maneira, o lugar do tempo nas teorias físicas (e de noções como simultaneidade, muitas vezes identificada de maneira inapropriada com o “tempo”, sem maiores especificações) decorre das transformações a ele associado, que, por sua vez, decorrem das simetrias e dos invariantes do sistema. A Teoria da Relatividade mostrou claramente essa dependência, seja pelas transformações de Lorentz, seja pelas transformações gerais de coordenadas. Parece ser possível afirmar que a determinação do que chamamos “as três dimensões” do tempo decorre da descoberta das exigências impostas pela natureza e dos nossos recursos técnicos e formais conhecidos e disponíveis em cada etapa da história da ciência.

- 
- [1] U. Merzbach, and C. Boyer, History of Mathematics. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.
- [2] Platão. Timeu-Diálogos, vol. XI. Trad. C. A. Nunes, Belém: Universidade Federal do Pará, 1977.
- [3] “[A divindade] pensou em compor uma imagem móvel da eternidade e (...) fez da eternidade que perdura na unidade essa imagem eterna que se movimenta de acordo com o número a que chamamos tempo”, Platão, Timeu, 37d ([2], p. 53).
- [4] “[Para Anaxágoras] todas as coisas estavam juntos e em repouso em um tempo infinito; a inteligência introduziu o movimento e as separou”. Aristóteles, Física VIII, 250, em [5].
- [5] Aristóteles. Physique, in *Toutes les aevures majeures d’Aristote*. Trad. J.B. Saint-Hilaire, A. Pierron, C. Zervort. e-artnow. <https://bibliothque.immateriel.fr/fr/bibliothque>, 2013.
- [6] “O mesmo mundo alternadamente nasce e se destrói, e nasce de novo e se destrói novamente; e essa sucessão é eterna, como diz Empédocles (...)”. Simplício, Comentários sobre o Tratado do céu de Aristóteles, 293, 18, em [7], p. 106.
- [7] J. P. Dumont, Elementos de História da Filosofia Antiga. Trad. G.M. Rodrigues. Brasília: Editora UnB, 2004.
- [8] Aristóteles ganhou essa denominação por ter nascido em Estagira, na Macedônia.
- [9] “Porque o tempo é justamente isso: o número do movimento, segundo o antes e o depois”. Aristóteles, Física, IV, 219, em [5].
- [10] “Como temos dito, o tempo é medido pelo movimento (...); então o movimento circular é a medida por excelência, porque seu número é o mais conhecido. Nem a alteração, nem o aumento, nem a geração são uniformes, somente o deslocamento. Por isso se diz que o tempo é o movimento da esfera [celeste], porque por este são medidos os demais movimentos e o tempo por esse movimento”. Aristóteles, Física, IV, 223, em [5].
- [11] “Tampouco devemos atribuir ao tempo outro predicado qualquer e adotar outro termo como se tivesse a mesma essência contida na significação própria da palavra ‘tempo’, mas principalmente devemos refletir sobre aquilo a que atribuímos esse caráter peculiar do tempo e com que o medimos” [12].
- [12] D. Laertios, Vidas e Doutrinas dos Filósofos Ilustres. Trad. M. Gama Cury. Brasília: Editora UnB, 2008.
- [13] “Que fazia Deus antes de criar o céu e a terra? (...) Não houve tempo nenhum em que não fizésseis alguma coisa, pois fazíeis o próprio tempo”. Agostinho, Confissões, XI, 14 ([14], p. 237).
- [14] Augustine. St. Augustine’s Confessions. The Loeb Classical Library, with an English translation by W. Watts, vol. 2. New York: The Macmillan Co., 1912.
- [15] Essa é uma questão complexa, pois em Hesíodo o universo pode ter se originado do “caos”, noção não muito esclarecida até hoje, e Platão propõe um deus artesão, o Demiurgo, moldando o universo a partir de uma matéria amorfa. De toda maneira, a noção de um universo criado a partir de nada era objeto de crítica no pensamento grego.
- [16] Parte importante das críticas aos trabalhos de Aristóteles deveu-se à condenação pela Igreja à sua obra, em 1210 e 1277.
- [17] Descartes, Principes de la philosophie, partie IV, in AT, IX, 201. Paolo Rossi dedica um breve capítulo de seu livro Aux origines de la science moderne ([18], p. 249-63) para mostrar as dificuldades para se determinar uma idade para a Terra, particularmente em face das descobertas de fósseis já conhecidas na época de Aristóteles. Vale lembrar que em 1658 o arcebispo de Armagh, James Usher, baseado na Bíblia, determinou a criação do mundo em 23 de outubro de 4004 a.C. .
- [18] P. Rossi, Aux origines de la Science moderne. Paris : Éditions du Seuil, 1999.
- [19] “Se nada que não seja a alma (...) pode enumerar (...), resulta impossível a existência do tempo se m a existência da alma”. Aristóteles, Física, IV, 225, in Aristóteles, 2013.
- [20] Descartes, Meditations, III, 48, em [21], IX, 35.
- [21] C. AT. Adam et P. Tannery, Oeuvres de Descartes. Vol I-XI. Paris: Vrin, 1996.
- [22] Descartes, Principes de la philosophie, I, 57, em [21], IX, 49.
- [23] Merzbach (p. 31) [1] estima que a matemática desenvolvida na mesopotâmia no primeiro milênio já conhecia os rudimentos da álgebra.
- [24] Com essa expressão pode-se compreender a negação do vácuo por Aristóteles, pois resultaria numa velocidade infinita.
- [25] A. C. Crombie, Augustine to Galileo: The History of Science A.D. 400-1650. Cambridge: Harvard University

Press, 1959.

[26] Podemos também subordinar os princípios e seus invariantes às simetrias associadas aos sistemas físicos, pois,

após Noether sabemos que a uma simetria pode-se associar uma quantidade conservada.