Tempo - A 4ª Dimensão

Resumo

O tempo sempre despertou o interesse do homem. Desde a origem da civilização, o homem busca maneiras de medi-lo com exatidão cada vez mais apurada. Mas o que é o tempo? O que a ciência atual define como tempo? Existe diferença entre o tempo civil e o tempo que a ciência entende como grandeza? Este artigo aborda algumas dessas questões, procurando colocar a visão da ciência a respeito de certos enigmas que cercam a idéia de tempo. São abordados o tempo astronômico, o tempo legal e o tempo relativístico, bem como suas inter-relações. Também está inserido um breve histórico da construção do relógio. Por fim, por meio da teoria da relatividade, discute-se a idéia da dilatação do tempo e sua relação com as viagens para o passado e para o futuro.

Abstract

The time has always attracted man's attention. Since the beginning of the civilization, man tries to measure it with great exactness. But what is time? What does the actual Science defines as time? Is there a difference between civil time and the time that Science defines as a dimension? This article approaches some of these questions and tries to insert the Science vision regarding certain enigmas about time's ideas. Astronomical time, legal time and relativistic time, as well as their relations, are showed in this article. There is also a brief historical registration of the clock built. At last, by means of the relativity theory, we explain the time dilation idea and its relation with the past and future travels.

Segundo a Física, para que um fenômeno seja bem conhecido, precisamos determinar exatamente o local e o instante em que ele ocorreu. A localização espacial necessita de três coordenadas para ser completamente compreendida. Dessa forma, a variável tempo torna-se a quarta dimensão necessária para o completo entendimento de um fenômeno físico.

Fig 1: sistema de três coordenadas para localização espacial de um ponto P.

A Teoria da Relatividade de Einstein revelou, no início do século XX, que a variável tempo não é uma grandeza absoluta, como se pensava até então. O tempo pode sofrer dilatação, conforme a velocidade do observador ou daquele que estiver marcando a sua contagem. Experiências teóricas já comprovaram essa previsão e hoje não mais se discute a veracidade dessa afirmação.

O tempo é, então, uma grandeza física variável e relativa.

Como nós o entendemos, o tempo começou a ser contado a partir do início do Universo, que se acredita ter ocorrido numa explosão conhecida como *big-bang*. A partir dessa explosão,

*Doutorando em Educação Matemática - UNESP. Mestre em Ensino da Matemática - PUC-SP. Bacharel e Licenciado em Física - UNITAU. Engenheiro Mecânico - UNITAU. Professor da Uni Sant'Anna e das Faculdades Integradas "Campos Salles".

começa-se a contar o tempo, tendo passado até hoje cerca de 13,6 bilhões de anos. Entretanto, essa visão é demasiado simplista, pois, com base nela, imaginamos que, no tempo zero, toda a matéria do Universo estaria comprimida em um único ponto.

Mas, e antes do tempo zero? Falar em antes do tempo zero é falar no que existia antes da criação do Universo (ou antes do *big-bang*) e essa resposta pode se tornar mais filosófica do que científica. Antes do *big-bang*, não existia tempo, pois não existe “antes” do antes... Ou não existe “antes” antes do tempo existir... Ou vice-versa...

Deixando de lado essa questão do “antes”, temos ainda, de acordo com a ciência atual, que, conforme Gleiser: *“O conceito de tempo, tal como o entendemos em nosso dia-a-dia, o tique-taque constante e regular do passar das horas, não faz sentido perto da origem do Universo. A física, que usa esse tempo uniforme e familiar, não funciona nas condições extremas que reinavam nos primórdios cósmicos. A realidade não é descrita por um espaço inerte e por um tempo regular, fluindo como um rio. Tanto espaço quanto tempo flutuavam caoticamente: o espaço deformado em todas as direções e, em cada ponto, um tempo diverso”*.

O tempo, como nós o conhecemos, está confinado ao nosso Universo. Desde que admitimos que o *big-bang* ocorreu de fato, a matéria se expande a partir do tempo zero e continua se expandindo até hoje. Entretanto, dado que a velocidade da luz é a maior possível no Universo, temos que o mesmo é finito, embora esteja se expandindo continuamente. Fora desse Universo, não faz sentido falarmos em tempo. O tempo não flui num espaço potencial, sem a presença de matéria. É interessante constatar a necessidade da existência de matéria para que possa haver contagem de tempo. A matéria envelhece desde a sua criação. Não temos como sequer pensar em tempo, se não houver matéria para envelhecer. Lembrando: o tempo é relativo...

São exatamente as alterações do Universo que permitem o acesso ao tempo. Construída uma efeméride de um fenômeno, são feitas observações e, por interpolação inversa, obtém-se o

parâmetro que chamamos tempo. O fenômeno de referência pode ser chamado de relógio. Para conseguir determinar uma escala de tempo, os relógios construídos devem ser perpétuos e perenes e não devem sofrer descontinuidade de qualquer natureza ao longo de seu funcionamento.

O relógio natural, provavelmente o primeiro a ser imaginado pelo homem e que é usado até hoje em astronomia, é o movimento dos astros visíveis do Sistema Solar. A mecânica clássica, juntamente com a Teoria da Relatividade, descreve completamente esse movimento, que é considerado realizado num meio ideal (sem atrito).

Fig 2: gnômon

O gnômon (palavra de origem grega) é um relógio de sol, e constitui-se no instrumento astronômico mais antigo que se conhece. Trata-se de uma vareta fincada verticalmente num solo plano (horizontal). Ao longo do dia, a sombra da vareta percorre uma trajetória que permite que se identifique o passar do tempo.

Fig 3: sombra do gnômon

Além de permitir que se conte o tempo ao longo do dia, o gnômon foi usado com outra finalidade. A menor sombra do dia era marcada no terreno. No dia seguinte, era feito o mesmo procedimento de marcação e, em comparação com a menor sombra do dia anterior, observava-se

uma diferença. Se essa menor sombra estivesse aumentando com o passar dos dias, significava a aproximação do inverno. Chega um dia em que essa menor sombra é máxima e, a partir desse dia, a menor sombra passa a diminuir. O dia de menor sombra máxima é o solstício de inverno e o de menor sombra mínima é o solstício de verão. Com base nisso, os povos antigos podiam prever as estações de chuva e seca e assim a agricultura passou a ser mais eficiente.

O funcionamento restrito do relógio de sol fez com que o homem passasse a pesquisar formas mais práticas de medir o tempo. Assim, aperfeiçoou as suas técnicas usufruindo de uma outra força natural perene: a água. O escoamento do líquido de um reservatório com um pequeno orifício na base, de um nível superior para um inferior, e a regularidade da transferência do líquido para outro recipiente, deu origem ao relógio hidráulico, também chamado de clepsidra.

O aperfeiçoamento da clepsidra resultou na ampulheta, que é um relógio de areia formado por dois cones ocos de vidro, unidos pelo gargalo, de modo a deixar passar a areia de um para outro num determinado intervalo de tempo, através de um orifício. Para proteger o conjunto, era usada uma armação de madeira ou latão. Mais tarde, as ampulhetas foram feitas de uma só peça de vidro com um orifício para passagem da areia. Havia ampulheta de vinte e quatro horas, de uma hora e, as mais comuns, de meia hora.

Galileu Galilei, no século XVI, fez pesquisas de movimento estudando o deslocamento de esferas ao longo de um plano inclinado. Entretanto, ele esbarrou em um problema sério, que era como medir pequenos instantes de tempo com precisão. Sua idéia inicial foi usar as batidas do próprio coração como unidade de medida. Rapidamente ele percebeu que seu órgão não apresentava a regularidade necessária. Foi então que Galileu criou o seu relógio de água, constituído de um galão virado de cabeça para baixo, com o fundo cortado, tampado na boca com uma rolha e cheio de água. Ele fez um pequeno furo na rolha e a água passou a pingar, regularmente. Assim, Galileu criou uma unidade de tempo que chamou de pingos de água

para estudar os movimentos dos corpos. Com o desenvolvimento de suas pesquisas, Galileu chegou ao pêndulo, instrumento que inauguraria uma nova era na precisão da medida do tempo.

Com a eletrônica e a descoberta do efeito piezoelétrico, os relógios a quartzo passaram a servir como padrões, evoluindo posteriormente até os atuais padrões de césio, rubídio e *maser* de hidrogênio.

Em 1952, o NIST (*National Institute of Standards and Technology*, EUA) anunciou a construção do primeiro relógio atômico, utilizando átomos de césio. Este relógio foi denominado NBS-1. O NPL (*National Physical Laboratory*, Inglaterra), construiu, em 1955, o primeiro relógio atômico de raios de luz de césio, utilizável como padrão de calibração.

A 13ª CGPM (Conferência Geral de Pesos e Medidas), em 1967, definiu a unidade segundo baseada nas oscilações dos átomos de césio. A partir daí, o padrão da grandeza tempo não se baseou mais na astronomia.

Em 1999, entrou em operação o NIST – F1, com uma incerteza de 1,7 partes em 10^{-15} , que corresponde a um erro de um segundo em cerca de 20 bilhões de anos, tornando-se o melhor relógio do mundo, juntamente com um relógio similar construído em Paris. Esse novo padrão utiliza uma técnica chamada Relógio por Fonte de Césio.

Com base nessa precisão, a referência da rotação do nosso planeta deixou de ser confiável e, embora sua translação ainda seja utilizada como referência para o Tempo das Efemérides, é nos Pulsar, estrelas de nêutrons com pulsações bastante regulares, que o homem busca agora uma referência estável que seja imune às variações de diversas origens observadas no interior do Sistema Solar.

No Brasil, a partir de fevereiro de 1984, o Departamento de Serviço da Hora (DSH) foi credenciado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), como Laboratório Primário de Tempo e Frequência (LPTF), constituindo um dos laboratórios delegados da Diretoria de Metrologia

Científica e Industrial. A hora legal do Brasil é, então, gerada a partir da cidade do Rio de Janeiro e pode ser acessada a partir de seu *site* na web, <http://pcdsh01.on.br>

Como vimos, a precisão que hoje temos na marcação do tempo foi conquistada após séculos de pesquisas e aperfeiçoamento. A definição de uma unidade padrão é necessária para a conservação de uma escala contínua e para isso os aperfeiçoamentos são constantes em relação à teoria e ao instrumental observacional dos padrões. Mas vejamos como se origina a idéia de tempo com escala astronômica.

A observação primordial foi a do movimento aparente do Sol:

Fig 4: movimento aparente do Sol

O dia solar (verdadeiro) corresponde ao tempo decorrido entre duas passagens meridianas consecutivas do Sol. O dia solar não tem duração constante e pode variar em até 30 minutos. A razão é o movimento de translação da Terra. Como a órbita da Terra é elíptica, sua velocidade orbital não é constante: a maior velocidade ocorre no periélio, que é o ponto no qual a Terra está mais próxima do Sol. É essa variação de velocidade orbital que altera a duração do dia solar verdadeiro. O dia solar médio (média aritmética dos dias solares verdadeiros ao longo de um ano) tem 24 horas.

A equação do tempo fornece a diferença entre o dia solar médio e o verdadeiro:

$$ET = T_m - T_o$$

T_m e T_o são, respectivamente, tempos solares médio e verdadeiro

Assim como temos a noção aparente do movimento solar diurno, as estrelas irão se mover

no céu durante a noite (quando estão visíveis). Usando uma estrela distante como referência, o tempo decorrido entre duas passagens consecutivas da estrela pelo meridiano corresponde ao dia Sideral, que tem duração de 23h56min04,09s. O dia Sideral é, então, mais curto que o dia solar médio. A cada dia as estrelas nascem 3min55,91s mais cedo, quando observadas em noites consecutivas e nas mesmas condições. Após um ano, os dois instantes (sideral e solar) voltam a se igualar novamente.

O GMT (*Greenwich Mean Time*) é um sistema de 24 horas baseado na hora Solar média mais 12 horas em Greenwich, Inglaterra. A Hora Média de Greenwich é equivalente ao Tempo Universal Coordenado (UTC), o qual é disseminado por emissoras de tempo e frequência. A sigla GMT, atualmente, foi substituída por UTC.

Existe uma mudança de tempo intencional de um segundo, chamada *leap second* (segundo intercalado), usada para ajustar o UTC. A inserção de um segundo é chamada de segundo intercalado positivo, e a omissão de um segundo é chamada de segundo intercalado negativo. Um segundo intercalado positivo tem sido necessário aproximadamente uma vez por ano.

Mas, voltando à questão do tempo em si, vejamos o que a Teoria da Relatividade provou em relação ao tempo. Foi determinado que o tempo passa mais devagar para uma fonte que estiver com velocidade muito alta (compatível com a velocidade da luz). Isso pode ser calculado pela fórmula:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

com:

Δt = tempo decorrido para o referencial inercial (observador parado);

$\Delta t'$ = tempo decorrido para o referencial em movimento;

v = velocidade do observador em movimento em relação ao referencial inercial;

c = velocidade da luz = $3 \cdot 10^8$ m/s.

Para um observador que viaje a 99% da velocidade da luz, seu tempo de 1 ano equivale a cerca de 7 anos na Terra. Isso pode dar uma falsa idéia de que é possível viajar para o futuro. Falsa, pois não conseguimos dispor de energia suficiente para acelerar um corpo de dimensões macroscópicas a essa velocidade.

Uma das primeiras evidências da dilatação temporal foi obtida por meio de experimentos com uma partícula chamada *múon*. Experimentos em laboratório com *múons* em repouso mostram que eles se desintegram com uma vida média de $2,2 \cdot 10^{-6}$ s. Muitos *múons* são criados na alta atmosfera, como resultado do bombardeio dos raios cósmicos. Esses *múons* movem-se com velocidade próxima da luz ($v = 2,994 \cdot 10^8$ m/s). Portanto, entre o momento em que são criados e o momento em que se desintegram, deveriam percorrer, em média, uma distância de 650 metros. Entretanto, a experiência mostra que *múons* criados a 10.000 metros de altitude são detectados na superfície da Terra. Isso acontece por causa da dilatação temporal. O tempo de desintegração do *múon*, colocado como $\Delta t'$ na fórmula anterior, com sua velocidade v citada acima, fornece-nos o tempo de desintegração para um observador na Terra: $35 \cdot 10^{-6}$ s. Assim, calculando a distância percorrida nesse tempo, temos:

$$\Delta S = v \cdot \Delta t = 2,994 \cdot 10^8 \cdot 35 \cdot 10^{-6} = 10.479 \text{ m}$$

Outro teste realizado consistiu em comparar relógios atômicos de alta precisão. Um foi colocado em um avião que percorreu uma grande distância a uma grande velocidade em relação à Terra e outro foi mantido no solo. Terminado o vôo, os relógios foram comparados e constatou-se que o relógio do avião estava ligeiramente atrasado

em relação ao relógio que foi mantido no solo, exatamente como previa a teoria.

Essa dilatação do tempo leva muitas pessoas a sonhar com as viagens no tempo. Elas são constantemente abordadas em obras de ficção. Pesquisas recentes com gigantescos aceleradores de partículas e colisões de alta energia chegaram a avançar na tentativa de transição de tempo, mas sem chegar a resultados conclusivos. Entretanto, as pesquisas que são desenvolvidas em relação às transições ao passado esbarram no curioso paradoxo do avô: se você puder viajar ao passado, teoricamente poderá encontrar com seu avô. Fisicamente próximo ao seu avô, você poderia matá-lo (com uma arma, por exemplo). Matando seu avô, seu pai não nasceria. Se seu pai não nasce, você não tem como existir. Se você não existe, como matará seu avô?

Esse paradoxo simples é abordado no primeiro filme da série *De volta para o futuro* (*Back to the future*), de uma forma sutil, quando o protagonista vai ao passado e interfere no relacionamento de seus pais. O cinema é pródigo em representar ficções supostamente científicas. Há quem diga que os extraterrestres seriam o próprio ser humano do futuro, após ter conseguido romper a barreira do tempo. No filme *O Planeta dos Macacos*, acontece algo semelhante, quando o protagonista imagina fazer uma viagem espacial, quando, na verdade, não sai do lugar e faz apenas uma viagem no tempo.

Existem teorias não científicas que falam em Universos paralelos para justificar viagens ao passado ou ao futuro. No entanto, a Ciência não prevê que em sua evolução se chegue a soluções conclusivas sobre as viagens no tempo que, *a priori*, continuarão restritas à imaginação humana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOKZCO, R. *Astronomia: uma visão geral*. São Paulo: IAG-USP, 1989. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/>>.
- GLEISER, M. Antes do Começo. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 8 jun. 2003. Caderno Mais.
- LANDAU, L. D.; RUMER, I. B. *O que é a teoria da relatividade*. Lisboa, Portugal: Mir, 1986.
- PIMENTA, D.M. *O Relógio...sua história*. Rio de Janeiro: Dimep, 1976.
- SILVA, I. M. et al. *Os relógios e sua evolução*. Rio de Janeiro: CNPq, Observatório Nacional, Departamento Serviço da Hora, 2003. Disponível em: <<http://pcdsh01.on.br/>>.