



# CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

[www.bassalo.com.br](http://www.bassalo.com.br)

## O Tempo na Cosmologia

Em verbetes desta série, vimos que, em 1915, o físico germano-suíço-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921) postulou que a presença da energia-matéria no espaço induz neste uma geometria não-euclidiana, de modo que a força gravitacional entre os corpos no Universo é dada pela curvatura do espaço. Esse postulado é traduzido pela seguinte equação:

$$R_{\mu\nu} - (1/2) g_{\mu\nu} R = G_{\mu\nu} = -k T_{\mu\nu},$$

sendo  $R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}$ , onde  $R_{\mu\nu}$  é o tensor contraído de Riemann-Christoffel ou tensor de Ricci,  $G_{\mu\nu}$  é o tensor de Einstein,  $g_{\mu\nu}$  ( $g^{\mu\nu}$ ) é o tensor métrico,  $T_{\mu\nu}$  é o tensor energia-matéria, e  $k$  é a constante de gravitação de Einstein. Ao analisar sua equação, Einstein postulou que a curvatura do espaço deveria ser independente do tempo, ou seja, que o Universo deveria ser estático.

Contudo, ao procurar, em 1917, as soluções estáticas de sua equação observou que as mesmas eram impossíveis. Então, para contornar essa dificuldade, formulou a hipótese de que as forças entre as galáxias são independentes de suas massas e variam na razão direta da distância entre elas, isto é, que havia uma repulsão cósmica, além, é claro, da atração gravitacional newtoniana. Matematicamente, essa hipótese significava acrescentar ao primeiro termo de sua equação – o famoso termo cosmológico ou termo de repulsão cósmica  $:\Lambda g_{\mu\nu}$ , onde  $\Lambda$  é a hoje famosa constante cosmológica, isto é:  $G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = -k T_{\mu\nu}$ . Desse modo, Einstein demonstrou que o Universo era finito e de curvatura positiva, indicando que sua geometria não-euclidiana era esférica.

Assim, se um astronauta viajasse através de uma geodésica do mesmo, deveria voltar ao ponto de partida, porém ele nunca atingiria o seu passado.

Em virtude disso, esse modelo cosmológico ficou conhecido como Universo Cilíndrico de Einstein.

Ainda 1917, o astrônomo holandês Willem de Sitter (1872-1934) encontrou uma outra ***solução estática*** da ***equação de Einstein***. Com efeito, ao supor que o Universo era vazio, demonstrou que o espaço-tempo era curvo, razão pela qual seu modelo ficou conhecido como ***Universo Esférico de de Sitter***. Por sua vez, em 1922, o matemático russo Aleksandr Aleksandrovitch Friedman (1888-1925) formulou a hipótese de que a matéria do Universo se distribuía uniformemente, e, desse modo, encontrou duas ***soluções não-estáticas*** para a ***equação de Einstein***. Numa delas, o Universo se expandiria com o **tempo** e na outra, se contrairia. Entre 1924 e 1926, o astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953) realizou, no Observatório de Monte Wilson, observações que o levaram a afirmar que o Universo estava em expansão. Em vista disso, em 1927, o astrônomo belga, o Abade Georges-Henri Edouard Lemaître (1894-1966) formulou um modelo cosmológico segundo o qual o Universo teria começado a partir da ***explosão*** de um ***átomo primordial (ovo cósmico)*** que conteria toda a matéria do Universo. Em 1949, o matemático austro-húngaro Kurt Gödel

(1906-1978) encontrou uma solução para a equação de Einstein na qual o Universo é infinito, sem tempo cosmológico, estático (sem expansão) e giratório. Assim, nesse **Universo de Gödel**, um foguete pode viajar para qualquer região do passado, presente ou futuro e voltar atrás [Kurt Gödel, **A Remark about the Relationship between Relativity Theory and Idealistic Philosophy**, *IN*: Paul Arthur Schilpp (Editor), **Albert Einstein: Philosopher-Scientist** (Open Court, 1970)]. Por sua vez, em 1983, os físicos ingleses James Burnett Hartle e Stephen William Hawking (n.1942) propuseram uma função de onda schrödingeriana ( $\Psi_U$ ) para descrever o Universo. Para calcular  $\Psi_U$  deveremos resolver a **equação de Schrödinger**:  $H_U \Psi_U(\vec{r}, t) = i (\hbar/2\pi) \partial \Psi_U(\vec{r}, t) / \partial t$ . Portanto, conhecida a hamiltoniana do Universo ( $H_U$ ), a técnica para resolver essa equação é a de usar as **integrais de caminho de Feynman** (ICF). Contudo, além da dificuldade (que ainda permanece) de se definir a  $H_U$ , há dificuldades técnicas, qual seja, o aparecimento de divergências (valores infinitos) quando se resolve a ICF com o **tempo real**. Para contornar essa dificuldade, Hawking [Stephen William Hawking, **Uma Breve História do Tempo** (Rocco, 1988)] sugeriu que as ICF fossem realizadas em um **tempo imaginário**. Essa proposta de Hawking ficou conhecida como **Gravidade Quântica**.

Portanto, concluindo este verbete, vimos o aspecto do **tempo cosmológico** apresenta três interpretações: 1) o **tempo** começou com a explosão [denominada, em 1950, de **big bang** pelo astrofísico inglês Sir Fred Hoyle (1915-2001)] do **átomo primordial**, há cerca de 13 bilhões de anos (vide verbete nesta série); 2) o **tempo** não teve começo e nem terá fim, portanto, ele é infinito [é interessante destacar que essa interpretação também foi encontrada pelo cosmólogo brasileiro Mário Novello (n.1942), com o seu modelo de **Universo Eterno e Dinâmico**, proposto em 1984, em parceria com Hans Heitzmann]; 3) o **tempo** não é real e sim, imaginário.



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)