



# Buracos negros no cosmos



M

edidas recentes indicam que nosso universo deve ter entre 13 e 14 bilhões de anos. Mas o que os cientistas querem dizer exatamente com isso? Formalmente falando, tudo o que os cientistas podem afirmar hoje é que há 13 ou 14 bilhões de anos nosso universo era tão denso e quente que as leis da natureza seriam diferentes das que conhecemos hoje. O “momento” em que o universo “escapou” dessa época misteriosa, denominada *época de Planck*, foi batizado de *big-bang*. Ao contrário do que o nome pode sugerir, esse evento *não* deve ser associado a algum tipo de explosão colossal que teria tomado lugar em algum ponto específico do cosmos, mas sim a uma grande liberação de energia que aconteceu “simultaneamente” em todos os pontos do espaço.

Desde então o universo tem se expandido. A princípio, o plasma de partículas elementares que formava a sopa cósmica era extremamente quente, mas à medida que o universo se expandia, ele também se esfriava. Um minuto depois do big-bang, ele estava frio o suficiente para que núcleos leves como o de Hélio 4 ( ${}^4\text{He}^{++}$ ), formado de dois prótons e dois nêutrons, comesçassem a ser sintetizados. Podemos estimar, inclusive, que, devido a isso, algo próximo de 23% da matéria ordinária (isto é, formada pelos elementos que compõem a tabela periódica) deve estar na forma de  ${}^4\text{He}^{++}$ ; e eis que observações astronômicas confirmam tal predição.

**GEORGE E. A. MATSAS**  
é professor do Instituto de Física Teórica da Unesp.

Concepção  
artística de um  
buraco negro  
(região escura  
ao centro)  
rodeado de gás  
(cortesia Nasa)



Algumas centenas de milhares de anos depois, o universo está mais frio e os elétrons começam a ser capturados pelos íons positivos,  $^2H^+$ ,  $^4He^{++}$ , etc., que compõem o plasma, fazendo com que ele se converta numa sopa de átomos eletricamente neutros. A partir daí, os fótons, que devem ser entendidos como partículas de luz, evoluem livres, isto é, eles praticamente não são mais perturbados pelo resto da matéria. Esses fótons passam então a constituir um banho de radiação livre permeando todo o cosmos, dando origem à assim chamada radiação cósmica de fundo (RCF). A confirmação experimental de sua existência veio em 1964 graças aos engenheiros de telecomunicação americanos Arno Penzias e Robert Wilson que detectaram a RCF como um ruído indesejável no sinal captado por suas antenas. Por essa grande descoberta, Penzias e Wilson foram agraciados com o prêmio Nobel em 1978. *Estas e várias outras confirmações experimentais modernas feitas tanto na Terra como em satélites fizeram do big-bang o paradigma da cosmologia padrão e uma das grandes conquistas do engenho humano.*

Apesar disso, pouco se pode afirmar sobre quais fenômenos devemos esperar na misteriosa época de Planck associados ao big-bang. Para se ter uma idéia, estimati-

vas teóricas sugerem que a densidade de matéria nessa época seria da ordem de  $10^{94} g/cm^3$ . Se você tiver dificuldade com notação científica, não se preocupe! É praticamente impossível para qualquer um ter uma real intuição da enormidade desse valor. É possível inclusive que tenha sido nessa época que o próprio espaço e tempo tenham surgido assim como os entendemos hoje. Mas essa e várias outras indagações profundas são temas ainda em aberto.

Um pouco menos problemático, mas ainda assim muito complicado, é saber o que aconteceu com o universo nas primeiras frações de segundo depois do big-bang. Este tema tem consumido grande parte da energia dos cosmólogos que vêem o universo primordial como um potencial *Jurassic Park* de partículas elementares, estruturas e corpos celestes exóticos. Um deles seriam os chamados *buracos negros*. Se as flutuações de energia nos primeiros instantes após o big-bang foram grandes o suficiente, é possível que bocados de matéria tenham colapsado sob o próprio peso dando origem a buracos negros. O quão grandes seriam estes *buracos negros primordiais* (se é que eles realmente chegaram a se formar) depende das características do universo logo depois da época de Planck.

Mas, afinal, *o que são buracos negros?*

Buracos negros talvez sejam os objetos mais extraordinários do universo, cuja existência hoje, mais do que nunca, está às portas de uma confirmação definitiva. Pode-se pensar neles como uma espécie de bolha de puro vácuo em algum lugar do espaço sideral gerando um campo gravitacional incrivelmente intenso. Esse campo seria forte o suficiente para levar todo corpo que o adentrasse a ser inevitavelmente tragado cada vez mais para seu interior até ser inexoravelmente destruído numa certa região denominada *singularidade*. Ainda assim, esta é apenas uma pálida imagem do que são esses objetos de onde nem mesmo a luz pode escapar, pois, além de tudo isso, um buraco negro acaba por distorcer terrivelmente o espaço e o tempo em suas imediações.

O nascimento da idéia de buraco negro é tão interessante quanto suas propriedades. Sua origem remonta os idos de 1915 quando o físico alemão Albert Einstein enunciou a teoria da relatividade geral. A primeira solução das equações de Einstein foi descoberta em circunstâncias heróicas, meses depois, em plena Primeira Guerra Mundial pelo astrofísico alemão e, então, oficial do exército em serviço no *front* russo, Karl Schwarzschild. Apesar de a solução de Schwarzschild levar diretamente ao conceito de buraco negro, até o início da década de 30, a maior parte dos físicos (até mesmo Einstein!) possuía opiniões equivocadas sobre seu significado. Apenas, mais tarde, notou-se que Robert Oppenheimer e colaboradores estavam certos em afirmar que estrelas muito grandes ao se apagarem deveriam colapsar indefinidamente sob seu próprio peso dando origem a buracos negros. Ainda hoje esse mecanismo é aceito como sendo o mais promissor para geração de buracos negros.

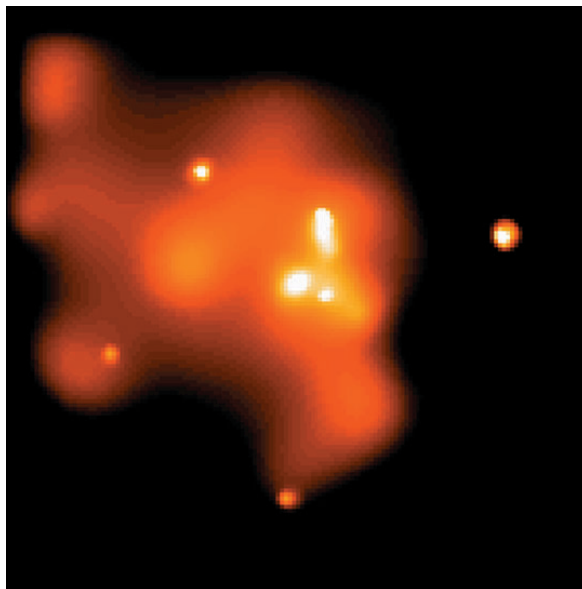
A fronteira que delimita a região de não-retorno, separando o interior do exterior de um buraco negro, é denominada *horizonte de eventos*. Assim como um marinheiro não pode enxergar além da linha do horizonte, não podemos ver nada do que se passa dentro do horizonte de eventos de um buraco negro.

Toda a energia dos buracos negros está condensada nas singularidades. As singularidades dos buracos negros guardam muita semelhança com o big-bang. Por exemplo, espera-se que a singularidade dos buracos negros e o big-bang tenham densidades de energia semelhantes, apesar de apenas podermos ter certeza disso quando for formulada uma teoria adequada para analisar situações extremas como essas. Há várias teorias candidatando-se para esse fim: *supergravidade*, *teoria de supercordas*, *teoria M*, *gravitação quântica de Loops*, etc., mas ainda estamos longe de chegar a um consenso de qual, se alguma destas, seria a correta. A tarefa de formular tal teoria é muito dificultada pela falta de dados experimentais que sirvam de guia, e qualquer tentativa de gerar artificialmente em laboratório as condições do universo na época de Planck esbarra em limitações tecnológicas. *Anéis de colisão de última geração* de partículas elementares, como o Tevatron no Fermilab/ EUA, não conseguem compactar a matéria além de densidades de  $10^{30} \text{ g/cm}^3$ ; muito abaixo, portanto, dos  $10^{94} \text{ g/cm}^3$  necessários.

As semelhanças entre buracos negros e o universo não param aí. Até o início da década de 70 tudo o que sabíamos sobre buracos negros havia sido extraído da relatividade geral. Segundo ela, buracos negros seriam indestrutíveis e não haveria forma de sequer diminuir seu tamanho. Mas ao fundir alguns elementos da mecânica quântica à relatividade geral através de um tratamento denominado *gravitação semiclássica* e aplicar esse formalismo à teoria de buracos negros, o físico inglês Stephen Hawking descobriu, em 1974, que buracos negros emitem partículas elementares, tais como elétrons, prótons e nêutrons, diminuindo de tamanho em decorrência. Apesar de, tipicamente, esse fenômeno ser muito pequeno para ser observado com as técnicas atuais, o efeito descoberto por Hawking revolucionou toda nossa visão sobre o assunto; *afinal, buracos negros não devem ser tão negros nem tão indestrutíveis quanto pensávamos*.

Como fruto da radiação Hawking, ob-

A região  
luminosa  
aparece como  
consequência da  
radiação emitida  
pela matéria que  
orbita o buraco  
negro situado no  
centro da Via  
Láctea (cortesia  
X-Ray Chandra  
Observatory)



servadores parados fora de um buraco negro devem ser capazes de identificar um ambiente térmico formado pelas partículas emitidas por ele. Assim como a temperatura do universo aumenta à medida que voltamos no tempo, isto é, retrocedemos na direção do big-bang, a temperatura do banho térmico que envolve o buraco negro aumenta à medida que nos aproximamos de seu horizonte. Suficientemente próximo do buraco, a temperatura do banho seria tão alta que as partículas ao colidirem poderiam alcançar densidades da ordem da época de Planck. Sondar essa região seria, portanto, como olhar para o próprio big-bang. Infelizmente essa região teria uma dimensão tão diminuta que nossa sonda teria de ter um tamanho inimaginavelmente pequeno; algo da ordem de um bilionésimo de bilionésimo de bilionésimo de micrômetro.

Há, atualmente, um grande esforço no sentido de se observar os buracos negros. Mas quão difícil seria isso? O grande problema em observar os buracos negros reside justamente no fato de eles serem negros

(ou quase). Para observá-los temos que usar o que buracos negros têm de mais característico: seu tremendo *campo gravitacional* e conseqüentemente sua enorme influência na órbita de poeira e estrelas vizinhas que podem, estas sim, ser observadas por meio de nossos telescópios.

Medidas feitas pelo satélite Uhuru na década de 70 mostraram a existência de alguns sistemas binários constituídos de estrelas gigantes (fáceis de observar) orbitando ao redor de companheiras invisíveis! Analisando a rotação, massa e outros parâmetros da estrela visível, concluiu-se, em muitos casos, que a companheira invisível gera campos gravitacionais tão intensos que aparentemente não poderia ser outra coisa senão um buraco negro. Um dos exemplos mais famosos está no sistema binário chamado Cygnus X-1, em que um buraco negro com uma massa entre 6 e 20 massas solares deve estar orbitando uma estrela gigante de 20 ou 30 massas solares com período de 5,6 dias.

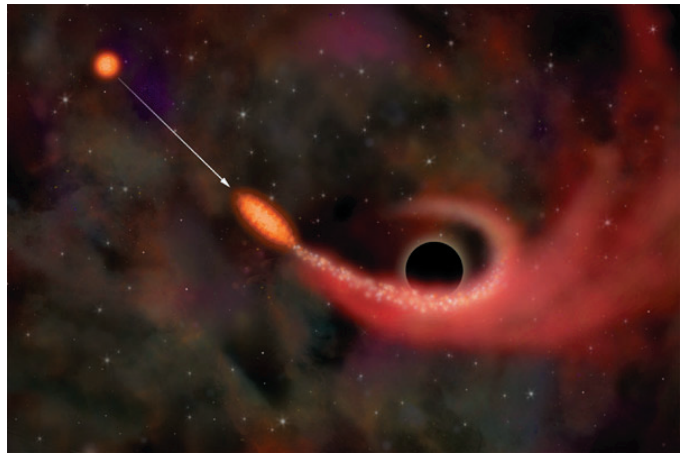
Buracos negros com as dimensões que

encontramos em Cygnus X-1 estão longe de ser os mais espetaculares. Os maiores buracos negros devem se situar no bojo central da maior parte das galáxias. Ainda não é clara a origem desses buracos negros, mas é certo que uma parte expressiva da massa das galáxias pode estar concentrada em buracos negros gigantes situados na região central dos bojos galáticos. Por exemplo, a nossa galáxia, chamada Via Láctea, possui várias dezenas de bilhões de estrelas, sendo que medidas recentes extraídas a partir da monitoração da órbita de certas estrelas na região de Sgr A\* indicam que seu centro deve abrigar um buraco negro com energia equivalente a mais de 3 milhões de massas solares. Em particular, verificou-se que uma das estrelas passou a menos de 17 horas-luz do buraco negro. Tivesse ela se aproximado um pouco mais e a teríamos visto desaparecendo dentro do horizonte.

Até agora apenas temos evidências *indiretas* da existência de buracos negros; não é possível descartar completamente, por exemplo, que o que achamos serem buracos negros não são algum tipo ainda desconhecido de estrela morta superdensa. *Apenas uma observação direta da fronteira de não-retorno (o horizonte de eventos), que é a impressão digital de um buraco negro,*

*permitiria que anunciássemos, sem sombra de dúvida, quais candidatos a buracos negros são o que de fato pensamos ser.* Esperamos que observações astronômicas de alta precisão programadas para o futuro próximo acusem o desaparecimento de energia nas imediações de alguns desses corpos invisíveis. Se isso se verificar, a única explicação razoável seria que tais objetos são de fato buracos negros e que estão devorando toda a energia que conseguem engolir. Aliás, há evidências recentes de que foi algo desse tipo que aconteceu na galáxia RX J1242-11, onde uma estrela teria sido literalmente esfacelada por um buraco negro próximo e depois engolida por ele.

Nos últimos 50 anos buracos negros saíram do completo ostracismo para assumirem *status* de celebridade na física e na astrofísica. Ainda estamos longe de conhecer todos os papéis que buracos negros protagonizarão nesta trama cósmica, mas seus recursos quase ilimitados e suas múltiplas facetas prometem-nos ainda muitas surpresas, não só no que tange à explicação de fenômenos astrofísicos mas como uma porta para os mistérios da física da época de Planck que tanto ansiamos conhecer, para então, poder desvendar a própria “origem do universo”. Quem viver verá.



Concepção  
artística do  
recente  
“esfacelamento”  
de uma estrela  
por “forças de  
maré” sofrida ao  
passar próximo de  
um buraco negro  
na galáxia RX  
J1242-11  
(cortesia Nasa)