

## "Ora, direis, ouvir estrelas!" (parte-1)



**Figura 1 – A anã vermelha Proxima Centauri, a estrela mais próxima do nosso Sol, atualmente (cerca de 4,2 anos-luz). Fonte: Telescópio Hubble (NASA)**

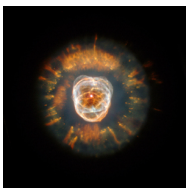
**Por: Prof. Roberto N. Onody \***

Após a sua formação, no interior de uma nebulosa, o destino de uma estrela dependerá essencialmente de sua massa. Quanto *menor* for o valor da sua massa, tanto *maior* será sua expectativa de vida. Outro fator que regulará o destino dessa estrela, é o seu entorno estelar. A dinâmica dos astros em nosso universo (desde o Big Bang) é controlada pelas interações (gravitacionais e de matéria e energia escura) com explosões e muitas, muitas colisões.

Se a estrela tiver massa entre 1,3 % e 8 % da massa do nosso Sol, a estrela (ou subestrela, pois faz fusão de deutério e não de hidrogênio) é uma *anã marrom* (para mais detalhes, veja [ref. 1](#)).

No intervalo de 8 % a 60 % da massa do Sol, a estrela é uma *anã vermelha* (que já faz fusão de hidrogênio). A estrela mais próxima do Sol, a Proxima Centauri, é uma anã vermelha (**Figura 1**). Durante os últimos 32.000 anos, ela foi a estrela mais próxima do Sol, e continuará a sê-lo por mais 25.000 anos!

A *maior parte* das estrelas que compõem o universo são anãs vermelhas. Estima-se que, na nossa Via-Láctea, *dois terços* das estrelas sejam anãs vermelhas! Muitas anãs vermelhas são orbitadas por exoplanetas. Para uma anã vermelha, modelos teóricos preveem que, a zona habitável estaria numa órbita muito próxima da estrela. E isso é um problema, pois a atuação do efeito maré faria com que sempre a mesma face do exoplaneta estivesse voltada para estrela. Num hemisfério teríamos sempre alta temperatura e no outro baixa temperatura. Na superfície, de uma anã vermelha, as temperaturas variam entre 2.000 e 3.500 °C (no Sol, a temperatura da fotosfera é cerca de 6.000 °C).



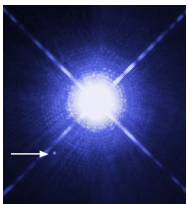
**Figura 2 – A nebulosa planetária do Esquimó (NGC2392), ganhou esse nome em 1787 quando foi visualizada por W. Herschel, pois lembra um capuz de pele de um esquimó. O material (hidrogênio, hélio, nitrogênio e oxigênio) é ejetado em alta velocidade, em todas as direções, formando uma espécie de bolha. Outrora, esse material formava as camadas externas de uma estrela gigante vermelha. A nebulosa Esquimó está há cerca de 2.870 anos-luz do Sol. Fonte: Telescópio Hubble (NASA)**

Na faixa entre 6 e 10 vezes a massa solar, teremos as estrelas parecidas com o nosso Sol. No seu núcleo, elas transformam hidrogênio em hélio. A temperatura necessária para essa fusão é de 15 milhões de graus Celsius (na superfície da estrela, porém, ela é bem menor). Quando o hidrogênio se esgota no núcleo, este se contrai pela força da gravidade, a temperatura sobe e as *camadas externas* da estrela se *expandem*. A estrela se torna, então, uma *gigante vermelha*. É o que acontecerá com o nosso Sol, daqui há alguns bilhões de anos. Estima-se que a expansão do Sol irá engolfar os planetas Mercúrio, Vênus, Terra e, quem sabe, Marte.

Na temperatura de 170 milhões de graus Celsius, a estrela passa a fundir núcleos de hélio para formar o carbono. O processo continua, com o núcleo estelar produzindo elementos químicos cada vez mais pesados. A partir do ferro, a fusão nuclear ao invés de produzir energia, consome energia. Quando a fusão nuclear cessa, o núcleo então, colapsa gravitacionalmente, pois era a fusão nuclear que se contrapunha à contração gravitacional, gerando energia, aumentando a temperatura e a pressão. O colapso, porém, não é total, e será contido pela 'força' de Fermi (veja próximo parágrafo). Como as camadas internas se contraem, por conservação de momento, as camadas externas da estrela se expandem, são ejetadas e se descolam, formando a chamada *nebulosa planetária* (**Figura 2**). A má escolha desse nome se deve ao fato que, para telescópios mais antigos, elas se pareciam muito com o planeta Urano. O núcleo, muito denso e quente, é agora uma estrela chamada *anã branca* (**Figura 3**).

Mas, por que a anã branca se formou? O que conteve a contração gravitacional? A resposta é que, devido à enorme densidade do núcleo estelar, surge uma força de repulsão que é de natureza quântica, uma manifestação do princípio de exclusão de Pauli (válido para todos os férmions como prótons, nêutrons e elétrons). Ele afirma que dois férmions não podem ter o mesmo conjunto de números quânticos. Em outras palavras, a contração gravitacional preenche os níveis mais baixos de energia e, novos férmions, são obrigados a ocupar energias mais altas, como se houvesse uma 'força' de repulsão. Ela resiste à atração gravitacional provocada por massas menores ou iguais a *1,4 vezes a massa do Sol*. É o chamado *limite de Chandrasekhar*. Não podem existir anãs brancas com massa maior do que a desse limite.

Em geral, a composição química das anãs brancas envolve carbono e oxigênio, mas, dependendo da massa inicial, também pode conter neônio e magnésio. Em geral, uma anã branca tem um diâmetro um pouco maior que o da Terra e uma densidade da ordem de  $1 \times 10^9 \text{ kg/m}^3$  (duzentas mil vezes maior que a densidade da Terra). Como não há mais fusão (de nenhuma espécie) no interior da anã branca, ela deverá se esfriar, se cristalizar e, em algumas *dezenas de bilhões de anos*, tornar-se uma *anã preta*. Como a idade estimada do universo é de 13,8 bilhões de anos, não deve haver nenhuma anã preta aí fora.



**Figura 3 – O sistema binário Sirius é composto pela estrela Sirius A (a mais brilhante estrela no céu noturno) e a anã branca Sirius B (o pontinho indicado pela seta). Está há cerca de 8,2 anos-luz do Sol. Fonte: Telescópio Hubble (NASA)**

Se uma anã branca pertence a um sistema binário (em geral, com outra estrela tipo Sol ou gigante vermelha) e a rotação entre as estrelas diminui para um período de cerca de 1 dia, a anã branca ficará tão próxima que roubará material da sua parceira, acretando hidrogênio na sua superfície. À medida que essa camada superficial de hidrogênio fica mais espessa, sua temperatura sobe até atingir um valor crítico (da ordem de 15 milhões de graus Celsius), a fusão nuclear tem início de forma explosiva – é uma nova. Muitas dessas explosões de novas podem ser vistas a olho nu e podem brilhar por várias semanas ou meses. Ao juntar mais material na superfície da anã branca, o fenômeno pode se repetir. Aproximadamente, ocorrem 50 novas por ano em galáxias como a nossa Via Láctea. As novas têm brilho dez milhões de vezes menor do que o de uma supernova (veja mais adiante).

Se a massa inicial da estrela estiver entre 10 e 25 vezes a massa solar, ela evoluirá para uma *estrela de nêutron*. Até o colapso do núcleo, o desenvolvimento de uma estrela de nêutron é muito semelhante ao de uma anã branca. No processo de expansão, a estrela se transforma numa *supergigante vermelha*. Como o tamanho e a massa do núcleo são maiores, quando cessa a fusão, prótons e elétrons se aniquilam formando nêutrons, liberando neutrinos e muita radiação eletromagnética de alta frequência – os raios-gama. O colapso do núcleo ocorre em menos de um segundo! Uma cataclísmica onda de choque se forma nas camadas exteriores, liberando ao espaço *elementos químicos pesados*. Futuros planetas, que se formem nas redondezas, muito se beneficiarão desse material!

Essa explosão catastrófica é chamada de *supernova*. É tão poderosa, que a luminosidade gerada por ela pode superar a de uma galáxia inteira! Muitas supernovas podem e já foram vistas a olho nu. Essa extraordinária luminosidade pode durar semanas, meses ou anos. Os astrônomos investigam as supernovas em vários comprimentos de onda eletromagnética – rádio, infravermelho, visível, ultravioleta, raios-x e raios-gama (**Figura 4**). O colapso gravitacional total agora é contido por nêutrons degenerados (repulsão nêutron-nêutron). Aqui, novamente, entra em ação a 'força' de Pauli. Estimativas calculam que a maior massa possível de uma estrela de nêutron deve estar entre 1,5 e 3,0 vezes a massa solar.



**Figura 4 – O material ejetado na supernova (chamados de remanescentes da explosão) fertilizará a composição química de futuros planetas. Na imagem, a nebulosa do Caranguejo após a explosão da supernova SN 1054 (ano que ela explodiu). Está a 6.500 anos-luz de distância, na direção do centro da Via-Láctea. Fonte: NASA/ESA**

Quando o núcleo de uma supergigante vermelha colapsa, a conservação do momento angular e do fluxo magnético fazem com que a estrela de nêutron gire muito rapidamente e tenha um campo magnético extraordinariamente intenso (cerca de

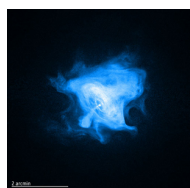
$10^{12}$  vezes o valor do campo magnético da Terra!). Ao nascer, uma estrela de nêutron *isolada* gira a pelo menos 60 voltas por segundo. Se nascer num sistema binário, a rotação pode chegar a 600 voltas por segundo. Ao longo do eixo norte-sul magnético, a estrela de nêutron emite partículas e muita radiação eletromagnética. Essa estrela de nêutron, que gira tão rapidamente, passou a ser conhecida como *Pulsar*! (Figura 5)

Em geral, o eixo de rotação de uma estrela de nêutron *não coincide* com o seu eixo magnético. Se acontecer que a nossa linha de visão aqui da Terra, se cruze com o jato de radiação (ao longo do eixo magnético) detectaremos sinais periódicos. Algo parecido com o que acontece quando um navio aproxima de um farol. Foi assim, que se encontrou a primeira estrela de nêutrons em 1967 (em comprimento de ondas de rádio). À época, chegou-se a especular que se tratava de uma tentativa de comunicação com a Terra de seres inteligentes extraterrestres.

O brilho das supernovas é utilizado para medir a distância da estrela de nêutron até a Terra. Sabe-se que o tempo de decaimento do seu brilho está relacionado com a luminosidade da estrela. Uma vez conhecida a sua luminosidade, obtém-se a magnitude absoluta. Em seguida, determinando-se (aqui na Terra) a magnitude aparente da estrela, pode-se calcular a distância da estrela à Terra.

As estrelas de nêutrons são muito pequenas, do tamanho de uma cidade, com diâmetro em torno de 10 a 20 km! Mas, sua densidade é absurda, cerca  $10^{17}$  kg/m<sup>3</sup>. São os objetos conhecidos mais densos do universo (excluindo-se os buracos negros). Para se escapar da atração gravitacional de uma estrela de nêutron, a velocidade de um corpo tem que ser maior do que 50% da velocidade da luz!

Na nossa Via-Láctea, já foram detectadas cerca de 1.300 estrelas de nêutrons. Mas, a quantidade de poeira e gás ao longo do disco galáctico, dificulta muito a sua observação. Estima-se que a Via-Láctea contenha cem mil estrelas de nêutrons ao longo do seu disco. A estrela de nêutron detectada (até agora) mais próxima da Terra está há cerca de 420 anos-luz.



**Figura 5 – O pulsar existente no interior da nebulosa do Caranguejo (veja Figura 4) detectado, em raios-x, pelo telescópio Chandra. Fonte: NASA**

Ora (direis) ouvir estrelas! Certo  
Perdeste o senso!" E eu vos direi, no entanto,  
Que, para ouvi-las, muita vez desperto  
E abro as janelas, pálido de espanto...

E conversamos toda a noite, enquanto  
A Via-Láctea, como um pálido aberto,  
Cintila. E, ao vir do sol, saudoso e em pranto,  
Inda as procuro pelo céu deserto.

Direis agora: "Tresloucado amigo!  
Que conversas com elas? Que sentido  
Tem o que dizem, quando estão contigo?"

E eu vos direi: "Amai para entendê-las!  
Pois só quem ama pode ter ouvido  
Capaz de ouvir e de entender estrelas.

*Olavo Bilac, soneto que se encontra no livro "Poesias", publicado em 1888.*

**(Continua)**

\* Físico, Professor Sênior do IFSC – USP

e-mail: [onody@ifsc.usp.br](mailto:onody@ifsc.usp.br)

(Agradecimento: ao Sr. Rui Sintra da Assessoria de Comunicação)

**Referências:**

<sup>1</sup> Anã Marrom – um objeto subestelar, Roberto N. Onody

<https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/ana-marrom/>