

A NGC 7293:
a nebulosa
mais próxima
de nós, a cerca
de 6 quatrilhões
de km

CIÊNCIA

ASTRONOMIA

Mais perto da origem do universo

Estudo detalha a presença de metais e a formação de estrelas na Via Láctea

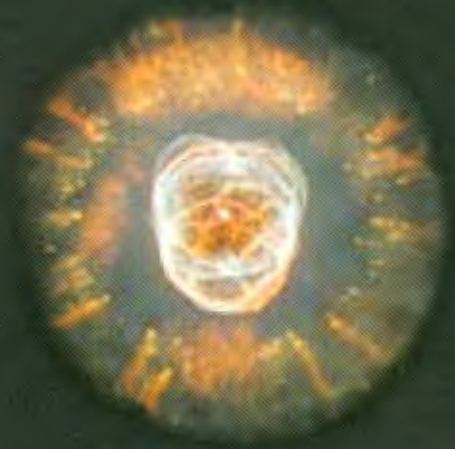
Um dia, a Via Láctea – a galáxia em forma de espiral a que pertence o Sistema Solar, onde vivemos – era bastante diferente. Quando tomou forma, há cerca de 15 bilhões de anos, não passava de uma imensa nuvem de gás constituída principalmente por hidrogênio e hélio, os átomos mais simples que existem. Bilhões de anos depois é que se formou a maior parte dos elementos químicos mais pesados – oxigênio, carbono e outros que, em proporções menores, dão consistência às estrelas, aos planetas e a tudo que os constitui. A compreensão apurada do processo de formação e de evolução das galáxias, que

no caso da Via Láctea equivale a 200 bilhões de estrelas, pode levar a um modelo mais claro da origem e da evolução do próprio Universo.

O astrônomo Walter Junqueira Maciel estuda há cerca de 15 anos essas transformações químicas das galáxias. Recentemente, seu grupo no Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da Universidade de São Paulo (USP) conseguiu detalhar como os elementos químicos mudam com o tempo. “Chegamos a uma precisão que os outros grupos de pesquisa não tinham”, diz ele. O astrônomo Hélio Jaques Rocha-Pinto, um de seus alunos de pós-graduação, mostrou que a abundância de elementos químicos metálicos, representados pelo ferro, deve ter aumentado pelo menos quatro vezes desde o surgimento da Via Láctea. Segundo Maciel, esses resultados permitem reduzir à metade a incerteza na relação entre a idade e a

abundância de metais obtida até o momento.

Há outras novidades. Em conjunto com especialistas dos Estados Unidos e da Finlândia, os pesquisadores do IAG conseguiram refinar os dados sobre a formação de estrelas na Via Láctea, que, eles demonstram, não é constante. Pensava-se que em galáxias como a nossa, já amadurecida ou, digamos, adulta, não pudessem ocorrer processos semelhantes aos das galáxias *starburst*, mais jovens, que às vezes se comportam como revoltosos adolescentes e mostram surtos (temporadas de intensa atividade) de formação de estrelas. “Nossa galáxia é um exemplo de muitas outras, nas quais se acreditava que a taxa de formação de estrelas não variou muito ao longo do tempo”, diz o pesquisador. Esses resultados constam da tese de doutoramento de Rocha-Pinto, a ser apresentada nos próximos meses.



NGC 2392: a estrela central (em amarelo) evolui para uma anã branca, enquanto uma nebulosa (em amarelo, acima da estrela) se expande a uma velocidade de 20 km/s

A equipe do IAG tem fortes evidências de que a Via Láctea foi um ativo berçário de estrelas em pelo menos dois períodos: um entre 2 e 4 bilhões de anos e outro entre 7 e 9 bilhões de anos. Houve também épocas em que nada se formou, provavelmente porque se havia esgotado temporariamente o estoque de gás que forma as estrelas (ver gráfico).

Por enquanto, esse comportamento tempestuoso de galáxias mais comportadas pode ser explicado somente por meio de hipóteses. Uma delas é que a aproximação de outras galáxias pode acelerar o processo de formação de estrelas. A aproximação, nesse caso, é algo bastante relativo. Passar perto quer dizer algo próximo a milhares de anos-luz (um ano-luz equivale a 9 trilhões de quilômetros ou um 9 seguido de 12 zeros). “Raramente as estrelas das galáxias encostam umas nas outras”, diz o pesquisador.

Rastros metálicos - Quando há um surto, formam-se milhões de estrelas de todos os tamanhos. O primeiro passo para estudar esse fenômeno é saber quantas de massa pequena e quantas de massa grande surgiram.

Mas como? Maciel conta que as estrelas maiores e mais velhas não aparecem mais no céu. Provavelmente já morreram, mas deixaram um registro precioso, a abundância de metais que se formaram ao longo de sua história – a chamada metalicidade. A presença de elementos mais pesados, como o oxigênio e o ferro, indica os rastros da formação estelar e, assim, é possível voltar até a época aproximada em que as estrelas surgiram. Publicada recentemente por Rocha-Pinto e Maciel na revista inglesa *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, essa pesquisa tornou-se uma referência básica e, segundo Maciel, já teve mais de meia centena de citações em outros trabalhos científicos.

Nebulosas fotoionizadas - O surgimento de estrelas é apenas uma das formas de acompanhar essa área, a evolução química das galáxias, um processo que ocorre simultaneamente às transformações estruturais, como a condensação que leva à formação de um bojo central ou de braços espirais, onde a formação de estrelas é mais intensa. No projeto *Nebulosas Fotoionizadas e Evolução Química das*

Galáxias, que contou com um financiamento de R\$ 6.616,25 da FAPESP, o grupo de Maciel desenvolve três linhas de pesquisa. A primeira trata da determinação de abundâncias químicas em nebulosas – imensas nuvens de gases, muito maiores e mais brilhantes do que as estrelas. “Podemos medir em nebulosas a abundância de alguns elementos químicos com uma precisão que não se vê em outros objetos celestes”, diz o pesquisador.

Ao longo dos últimos dez anos, com base nas observações realizadas com o uso de dois telescópios – um de 1,60 metro de diâmetro do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), em Brasópolis, no sul de Minas, e outro de 1,50 metro do *European Southern Observatory* (ESO), observatório europeu situado em La Silla, nos Andes chilenos –, o grupo montou um banco de dados com mais de uma centena de nebulosas e estrelas. Para cada uma, os pesquisadores avaliaram a abundância de hélio, oxigênio, nitrogênio, enxofre, neônio e argônio.

O segundo projeto, que Maciel considera mais ambicioso, refere-se ao estudo das variações dos teores de elementos químicos nas galáxias, os

chamados gradientes de abundância. Usam-se os dados do trabalho anterior e os obtidos por grupos na França e nos Estados Unidos, já que as variações são muito pequenas e necessitam de bancos de dados relativamente extensos. O terceiro bloco diz respeito à distribuição de metais na Via Láctea e à taxa de formação estelar, obtidas a partir de dados de estrelas anãs, semelhantes ao Sol.

O trabalho começou com a observação de nebulosas fotoionizadas, assim chamadas porque em seu centro há uma estrela quente, com uma intensa radiação eletromagnética usada para liberar elétrons. No início, a pesquisa centrou-se nas nebulosas situadas apenas nas vizinhanças do Sol, no disco da Via Láctea. O disco, ao menos no caso das galáxias espirais como a Via Láctea, forma os braços, num desenho parecido ao de um polvo gigante. O Sistema Solar encontra-se num dos braços da galáxia, a 20 mil anos-luz do bojo. Mais recentemente, as investigações foram estendidas para regiões mais distantes, localizadas no bojo e nas bordas da galáxia.

O bojo constitui o núcleo galáctico, ou a parte esférica central da Via Láctea, e é considerado pela teoria clássica de formação galáctica como uma das primeiras regiões a serem formadas, juntamente com o halo, a parte mais externa, o envoltório estelar da galáxia, de menor densidade. No bojo da Via Láctea, nebulosas com grande abundância de hélio em relação ao hidrogênio e de nitrogênio em relação ao oxigênio não são muito frequentes. “Essa constatação sugere que esses objetos originaram-se de estrelas mais velhas, já que estrelas mais massivas e jovens têm, em princípio, maiores quantidades desses elementos”, diz o pesquisador.

Nascimento e morte - Em conjunto com especialistas do Observatório Na-

cional, do Rio de Janeiro, Maciel fez um estudo sobre as nebulosas planetárias, com sua forma típica de um anel envolvendo uma pequena estrela no centro e associadas à morte de estrelas com massas semelhantes à massa do Sol. A origem das próprias nebulosas planetárias está bastante clara, a partir da evolução de estrelas gigantes vermelhas. Segundo Maciel,



Maciel: distribuição de elementos químicos ao longo da Via Láctea

ao morrerem, as estrelas com massas próximas à do Sol ou um pouco superiores incham e ocupam um espaço 100 vezes maior. A superfície torna-se pelo menos duas vezes mais fria – é a estrela gigante vermelha. Num processo pelo qual um dia passará nosso Sol, as camadas externas são expulsas e vão se transformar em uma nebulosa planetária, em cujo interior reside uma estrela central, que, após milhares de anos, se transformará em uma estrela pequena e brilhante do tipo anã branca. Para chegar a esses resultados, o grupo do IAG avalia a proporção de elementos químicos pesados como o oxigênio e o enxofre presentes nas nebulosas em relação ao hidrogênio. Nesses objetos, para cada dez mil átomos de hidrogênio, há mil de hélio, um de oxigênio e um de enxofre. A abundância do ferro é ainda menor.

Com base nas informações acumuladas sobre as transformações dos elementos químicos, os especialistas classificaram essas nebulosas em dois

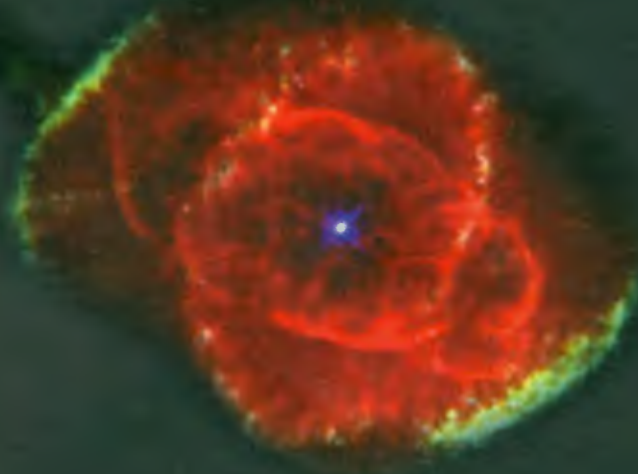
grupos principais. As nebulosas de tipo I, como a NGC 6751, ricas em hélio, nitrogênio e elementos químicos mais pesados do que o hidrogênio, resultaram da morte de estrelas com massas relativamente grandes, algumas vezes maiores que a do Sol. No segundo grupo estão as nebulosas de tipo II, como a NGC 3699, ricas em elementos pesados como o oxigênio e o enxofre, mas sem evidências de um grande enriquecimento em hélio e nitrogênio. Essas originaram-se de estrelas de pequena massa, semelhante à do Sol.

Num trabalho publicado em abril do ano passado na revista *Astronomy and Astrophysics*, Maciel e a astrônoma Cíntia Quireza Campos, uma das integrantes da equipe, demonstram que a existência de variações na abundância de elementos químicos “está agora firmemente estabelecida tanto no disco da Via Láctea como nos de outras galáxias espirais”. Essa variação pode ser demonstrada tanto em relação ao oxigênio quanto ao enxofre e é igualmente válida em nebulosas fotoionizadas e em estrelas jovens”, diz Maciel.

Variáveis e vínculos - Nesses projetos, não se trabalha apenas com a simples observação do céu. O estudo da evolução química das galáxias implica, acima de tudo, no estabelecimento de relações entre variáveis, os chamados vínculos observacionais, que são conexões propostas por modelos teóricos adequados aos fenômenos observados. Em outras palavras: uma teoria somente faz sentido se explicar ou prever essas conexões de maneira satisfatória.

Um dos vínculos a que a equipe do IAG chegou é a relação entre a idade e a metalicidade, estabelecendo que a disponibilidade de elementos químicos mais pesados que o hidrogênio cresce com o tempo, como re-

EDUARDO CESAR



NGC 6543: o centro é uma estrela do tipo do Sol, mas na fase final de evolução, quando suas camadas externas são expulsas para o meio interestelar

sultado da fusão nuclear, a usina de força das estrelas. Outro exemplo é a nova distribuição de metalicidades no disco da Via Láctea, obtida recentemente. Além disso, os pesquisadores estabeleceram a existência de variações de composição química dentro do disco galáctico e entre o disco e o halo da Via Láctea. “A região mais próxima do núcleo na Via Láctea tem quase dez vezes mais elementos pesados do que na borda, refletindo uma transformação mais eficiente

de gás em estrelas nas regiões mais internas”, comenta Maciel.

A equipe do IAG tem mostrado que cada galáxia tem um ritmo próprio de formação de estrelas, como causa e ao mesmo tempo consequência de sua evolução química. Segundo Maciel, nos braços da Via Láctea, onde estamos, ainda nascem estrelas, mas não tanto quanto há bilhões de anos. No halo, lembra ele, não há gás e portanto não se formam estrelas. Na nebulosa de Órion, por exemplo,

novas estrelas podem agora mesmo estar se formando – um processo que, na verdade, começou há milhões de anos. Além do interesse científico, tamanho recuo no tempo e no espaço apresenta um ângulo mais palpável. “Vivemos em galáxias”, lembra Maciel. “E todos os elementos químicos que estão dentro de nós vieram de alguma estrela.”

PERFIL:

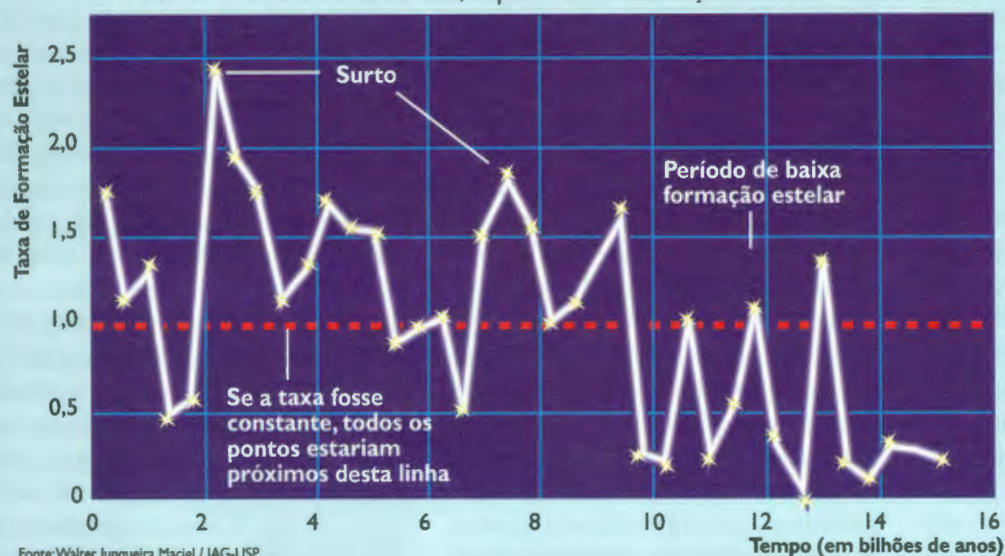
• WALTER JUNQUEIRA MACIEL, 51 anos, graduou-se, em 1970, em Física pelo Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte. Fez mestrado em Astronomia no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), em São José dos Campos, e doutorado no Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), no qual é professor desde 1974.

Projeto: *Nebulosas Fotoionizadas e Evolução Química das Galáxias*

Investimento: R\$ 6.616,25

Quando surgem estrelas na Via Láctea

A história de nossa galáxia registra períodos de surtos, ocorridos entre 2 e 4 e 7 e 9 bilhões de anos atrás, e épocas de baixa formação estelar ou calmarias



WILLIAM MARIOTTO