

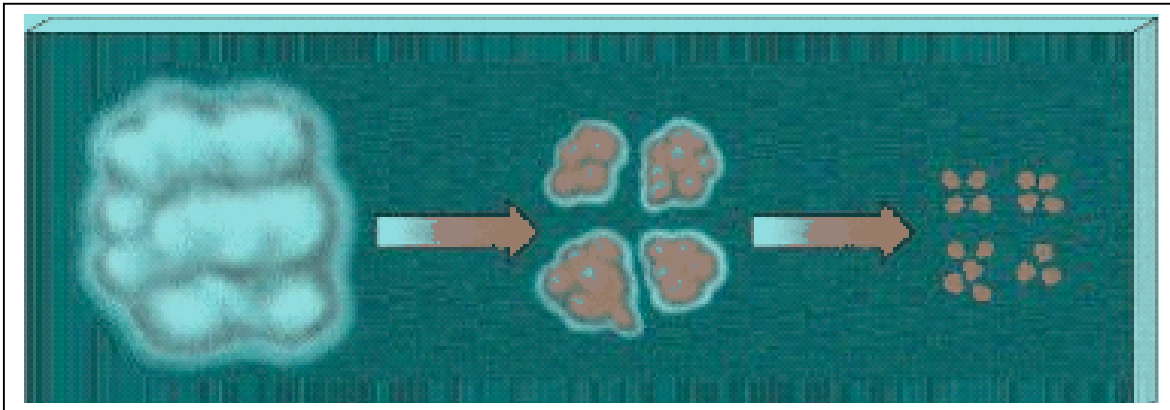
Uma estrela-bebê de 10 mil anos

Jane Gregorio-Hetem (IAG/USP)

Email: jane@astro.iag.usp.br

A versão original deste texto foi divulgada no CD-ROM da 48ª Reunião Anual da SBPC, na qual a conferência “Estrelas Jovens” foi apresentada.

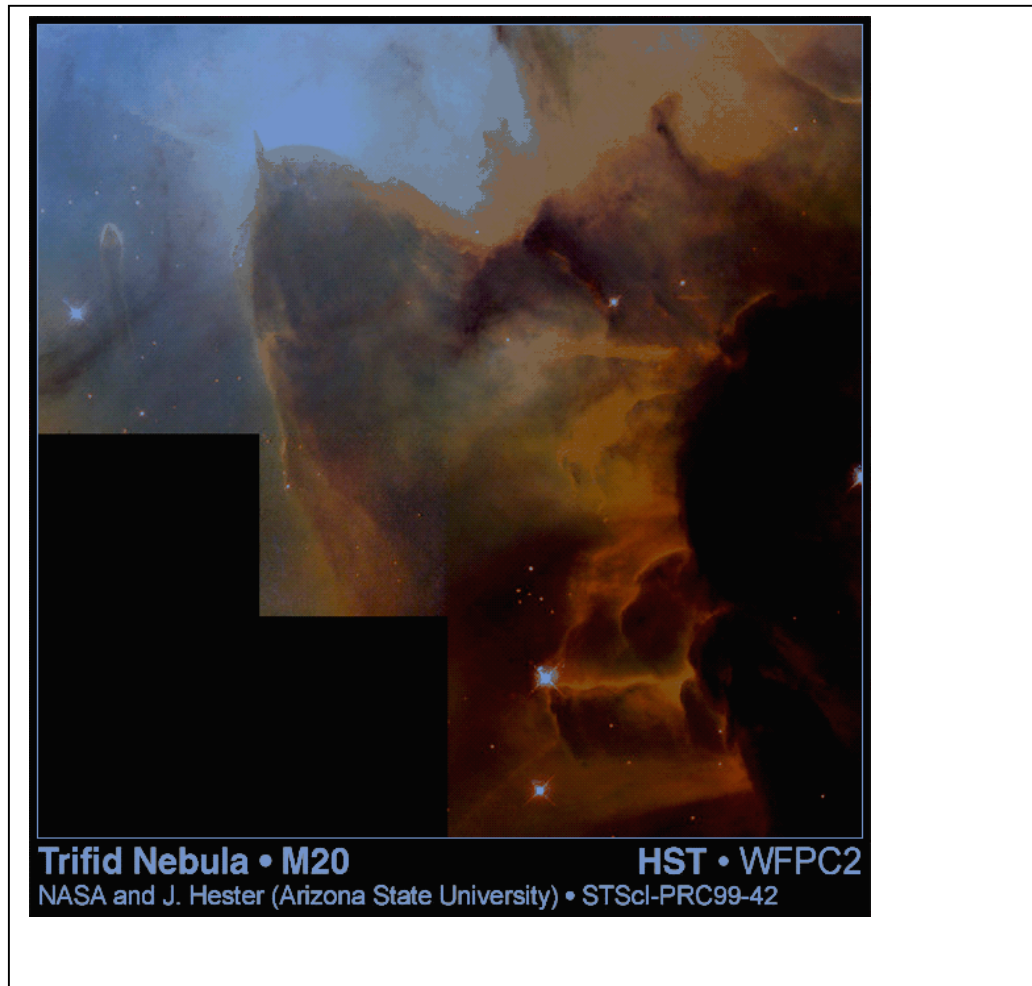
Vamos considerar que uma estrela que acaba de se formar é, de uma certa forma, uma estrela-bebê e que a nuvem em que foi gerada é a mãe-gestante. As estrelas-bebês, chamadas **proto-estrelas**, há muito tempo são procuradas pelos Astrônomos. Isso porque a formação de estrelas (objetos fundamentais da Astrofísica) é conhecida apenas de forma genérica: sabe-se que elas nascem em **nuvens interestelares** de gás e de poeira. No entanto, são ainda mal conhecidos os detalhes a respeito do mecanismo que transforma as nuvens interestelares (objetos imensos e rarefeitos: dimensões de 10^{17} m e densidades menores que 10^8 moléculas de hidrogênio por m^3) em estrelas comparáveis ao nosso Sol.



Esquema ilustrando as etapas de fragmentação e colapso de uma nuvem interestelar onde ocorre a formação de estrelas.

Apesar do conhecimento teórico desse fenômeno ter progredido muito nos últimos 20 anos, é marcante a raridade de observações que confirmem as previsões da teoria, porque existem poucos objetos no céu que os astrônomos possam afirmar com certeza de que são mesmo proto-estrelas.

A dificuldade maior é devida ao fato de que as estrelas em formação estão profundamente imersas dentro de casulos de gás e poeira, tornando impossível sua visualização com o auxílio de telescópios ópticos. A melhor forma de se caçar proto-estrelas é usar instrumentos que operem em comprimentos de onda infravermelhos e sub-milimétricos, em telescópios com grande poder de resolução e alta sensibilidade.



Nebulosa Trífida, na constelação de Sagitário, a 9 mil anos-luz de distância, exemplo de um berçário de estrelas . Pequenos nódulos (casulos de gás e poeira) podem ser notados nas bordas da nuvem.

O que se conhece da teoria

O cenário teórico atualmente aceito foi originalmente baseado nos trabalhos dos astrofísicos americanos Richard Larson e Frank Shu, nos quais o processo que conduz à formação de uma estrela em uma nuvem interestelar ocorre em várias etapas.

Na primeira, chamada fase pré-proto-estelar, são formados no interior da nuvem condensações (grumos) de matéria que crescem lentamente sob o efeito combinado do campo magnético e da gravidade, até que atinjam uma densidade na faixa de 10^{10} a 10^{13} moléculas de hidrogênio por m^3 . O tamanho desses grumos é menor que $10^{15}m$, para uma massa total de algumas massas solares e temperaturas de 10 a 30 K. Durante vários milhões de anos ocorre equilíbrio entre a pressão do gás (que tende a dispersar o grumo) e a gravidade (que tende a condensá-lo), até que o equilíbrio é interrompido e o grumo rapidamente colapsa

sobre si mesmo, sob o efeito de seu próprio peso. No começo, o calor gerado pela compressão do gás é liberado por radiação e a temperatura é mantida aproximadamente constante, mas rapidamente (em aproximadamente 10 mil anos) a densidade da condensação se torna tal, que o calor produzido não é mais liberado. É formado então um nódulo central com massa menor que um centésimo de massa solar, que se aquece progressivamente até uma temperatura de alguns milhares de graus. O nódulo atinge então um novo equilíbrio e tem dimensões estelares (raio aproximado de 10^9m). Este é o começo da fase proto-estelar, pois o nódulo formado é o embrião que se tornará uma futura estrela.

A maior parte do grumo inicial encontra-se agora na forma de um envoltório ou *cocoon*, caindo sobre o nódulo central. Neste processo, o envoltório (muito frio no início) torna-se cada vez mais quente. Quando o nódulo acumulou toda a matéria do envoltório, é terminada a fase proto-estelar (que durou de 10 a 100 mil anos) e entra-se na fase em que as estrelas são batizadas com o nome genérico de **T Tauri**. Este nome é dado em homenagem à estrela T da constelação do Touro, descoberta como sendo protótipo de estrela jovem de baixa massa. Neste caso, as massas estelares são semelhantes à massa do Sol: $1 M_{\odot} = \sim 2 \times 10^{33}\text{g}$).

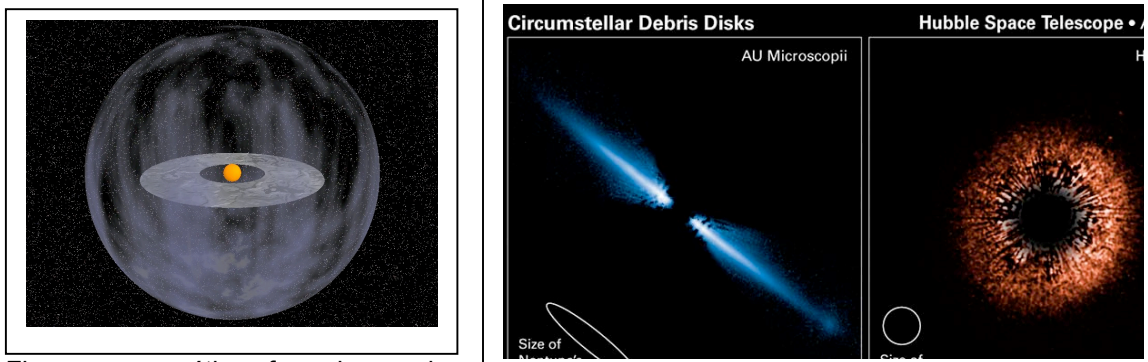


Figura esquemática, fora de escala, da estrutura circumstelar sugerida para as estrelas T Tauri. Na figura à direita são mostradas imagens de discos circumstelares evoluídos ao redor em estrelas semelhantes ao Sol.

Essas estrelas contraem-se lentamente, durante 1 a 10 milhões de anos, até a temperatura central atingir 10 milhões de graus. Começa então a fase de estrelas adultas, conhecida como **seqüência principal**, aquela em que o Sol se encontra e vai permanecer durante um tempo total de 10 bilhões de anos, um longo período de tranqüilidade e estabilidade.

Teoricamente, este é o cenário conhecido para formação de estrelas e são as observações de nuvens interestelares que podem fornecer dados que confirmem tais teorias.

Onde as estrelas nascem

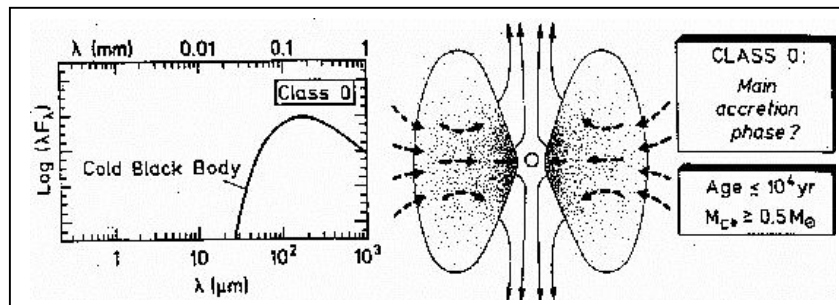
O período pelo qual uma proto-estrela passa antes de iniciar a queima do hidrogênio depende de sua massa: 10 mil anos se ela tiver $15 M_{\odot}$, ou poucos milhões de anos se for uma proto-estrela de $1 M_{\odot}$. Esse um intervalo é tão breve, que torna rara a descoberta de uma proto-estrela nos primeiros estágios de formação.

Como foi mencionado acima, a poeira interestelar que circunda uma proto-estrela absorve a luz emitida pelo objeto central. A energia recebida pelos grãos de poeira é re-irradiada em comprimentos de onda do infravermelho, sendo essa a melhor região espectral para se estudar os berçários de estrelas.



Imagem do plano da Via Láctea, nossa galáxia, onde podem ser vistas as nuvens escuras de gás e poeira que se encontram entre os braços espirais. As regiões de formação estelar ficam nessas nuvens moleculares.

A nuvem de ρ Ophiuchi é um dos mais próximos centros formadores de estrelas (sua distância é 500 anos-luz), sendo um excelente laboratório para se estudar estrelas-bebês. É nesta nuvem que a equipe liderada pelo astrofísico francês Philippe André encontrou em 1994 **VLA1623**, uma estrela-bebê extremamente jovem (menos que 10 mil anos de idade).



Esquema representando a categoria de estrelas mais jovens (Classe 0), que corresponde à principal fase de acréscimo de matéria circunestelar (massa estimada em $0.5 M_{\odot}$) caindo na proto-estrela, com idade de menos que 10 mil anos. A curva de corpo-negro, que representa a emissão em função do comprimento de onda, com máximo em $0.2 \mu\text{m}$, corresponde a um objeto muito frio.

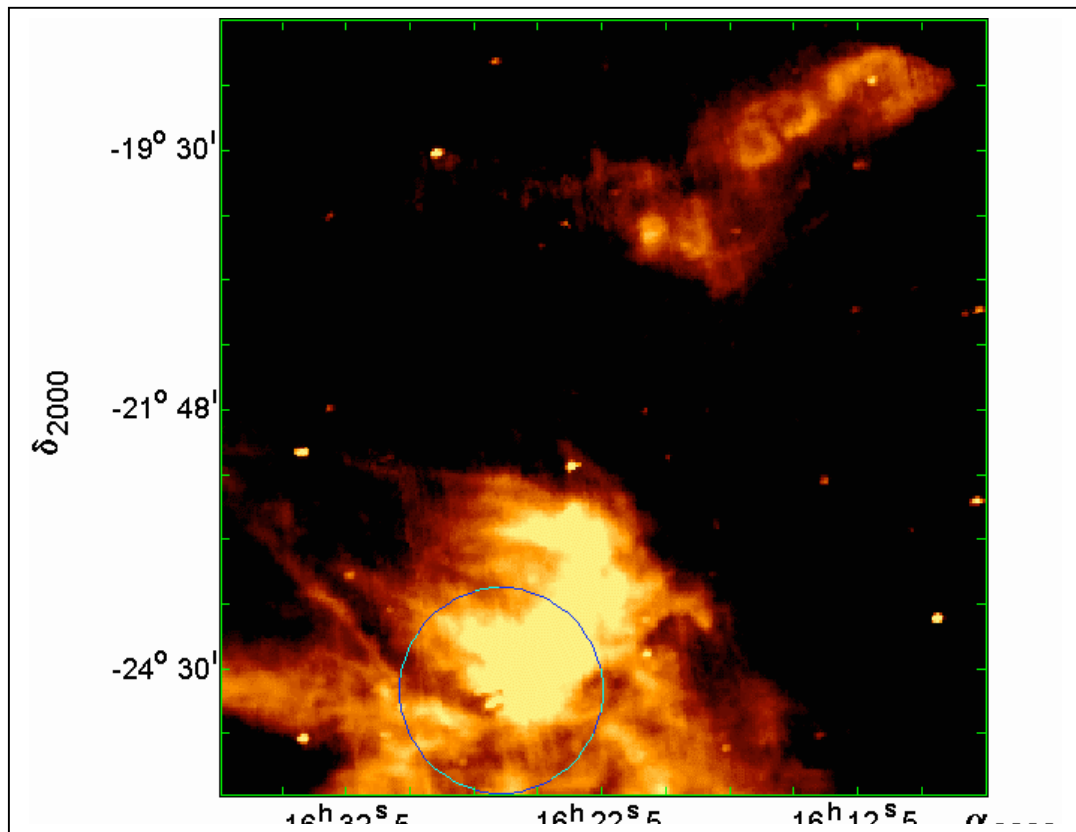


Imagem óptica da nuvem localizada em Ophiucus. A região marcada com um círculo mostra a parte mais densa da nuvem, denominada ρ Ophiuchi. Esta é uma das mais próximas regiões de formação estelar, onde foi descoberta a proto-estrela VLA1623.

Aglomerados Estelares Jovens

Famílias de estrelas jovens são também frequentemente encontradas em nuvens em que o gás está ionizado, conhecidas por **regiões HII** (representação para o hidrogênio ionizado: H^+). Nestes casos, o hidrogênio é ionizado por fótons ultravioleta energéticos provenientes de estrelas jovens massivas muito quentes, chamadas estrelas de **tipo O e B**. Devido à recombinação pela qual passam os átomos de hidrogênio, a nuvem gasosa chega a brilhar, sendo chamada **nebulosa de emissão**, e as estrelas que produzem a ionização do gás formam as chamadas **associações OB**.

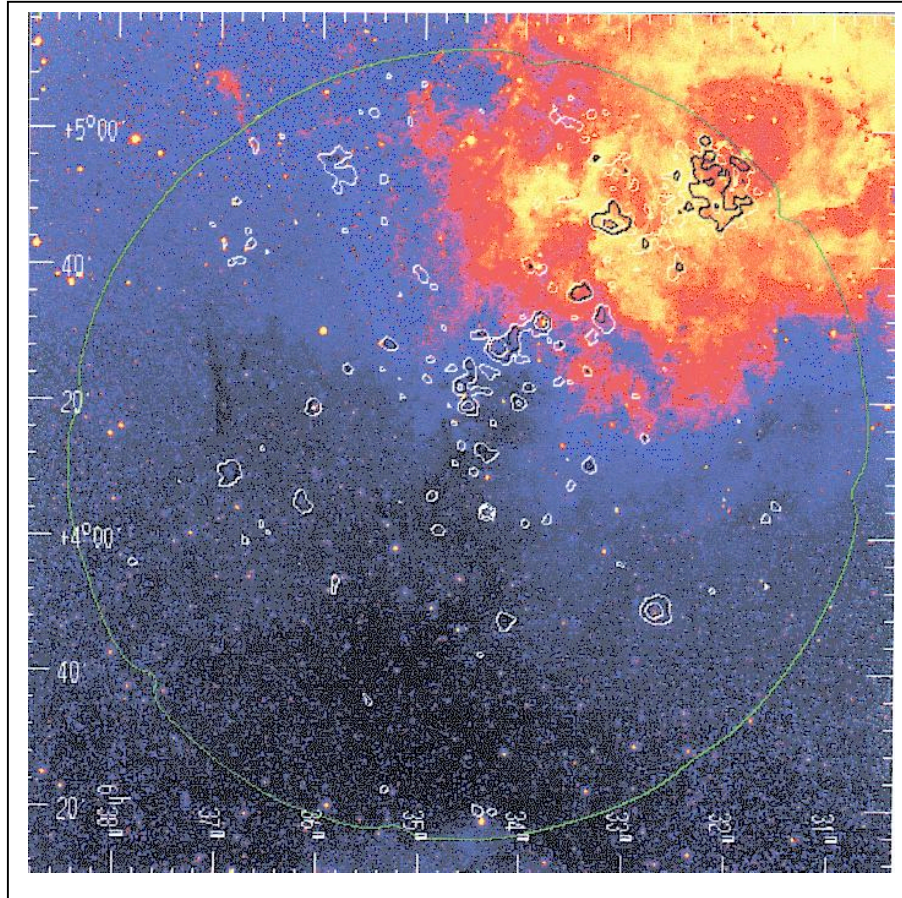


Imagem óptica da região HII e da Associação OB na nuvem denominada Rosette, localizada a 4500 anos luz. Os contornos em branco indicam a presença de fontes de raios-X detectadas pelo ROSAT (o círculo em verde indica o campo de observação do satélite). A forte emissão em raios-X é uma característica típica das estrelas jovens de baixa massa.

São os estudos individuais dos componentes das famílias de estrelas jovens, conhecidas por **aglomerados jovens**, que nos falam a respeito da infância desses objetos. Pela observação de suas magnitudes e cores (com base no fluxo medido em diferentes filtros fotométricos) pode-se deduzir suas luminosidades e temperaturas, e conseqüentemente a idade de um aglomerado, como NGC2264, por exemplo, localizado na constelação de Monoceros, com idade aproximada de 2 milhões de anos. Observações espectroscópicas de estrelas menos massivas deste aglomerado indicaram a presença de vigorosos jatos de matéria, típicos de estrelas T Tauri.

Outros aglomerados que já chegaram na seqüência principal, como as Plêiades com 100 milhões de anos, podem ainda apresentar esporádica ejeção de matéria. Como foi constatado com base nos espectros obtidos para uma dos componentes do grupo, indicando a presença de ventos associados à mesma.



Exemplo de aglomerado de estrelas jovens Plêiades, com idade de 100 milhões de anos, localizadas na nuvem Taurus.

Procurando mais além

Como foi mencionado anteriormente, as nuvens moleculares são consideradas berçários de estrelas e a melhor forma de encontrar essas regiões é procurar pela radiação milimétrica emitida pela molécula de monóxido de carbono (CO), a qual, apesar de menos abundante, é mais facilmente detectada que o hidrogênio molecular (H₂). Em qualquer direção do meio interestelar, verifica-se uma forte correlação entre o CO e o H₂, tornando o monóxido de carbono um excelente “traçador” (indicador) do hidrogênio. No início dos anos 70 foram realizados os primeiros mapeamentos da emissão de CO, os quais revelaram a existência de grandes quantidades de hidrogênio, que compõem as chamadas **nuvens moleculares gigantes**.

Essas nuvens enormes também são observadas nos braços espirais de outras galáxias. Nesse caso, a passagem de ondas de choque através das nuvens provocam uma compressão do gás desencadeando o processo de formação de estrelas. As mais massivas, formadas mais rapidamente, emitem radiação ultravioleta criando novas regiões HII.

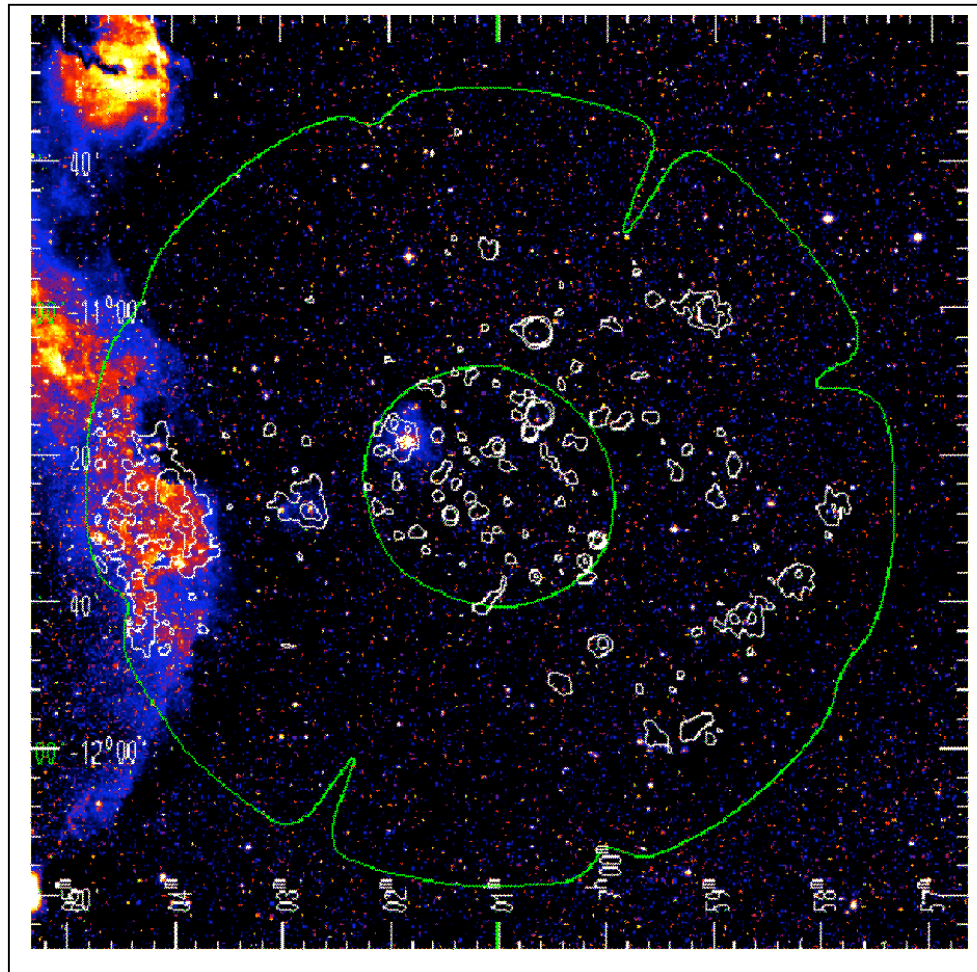


Imagem óptica da nebulosa de reflexão S296, localizada na nuvem denominada Canis Majoris, localizada a 3300 anos luz.. Os contornos em branco indicam a presença de fontes de raios-X detectadas pelo satélite ROSAT. O formato arredondado da nebulosa, comparado com outros resultados da estrutura de velocidades, indica a possibilidade de que a formação estelar nessa região foi induzida por restos de supernova.

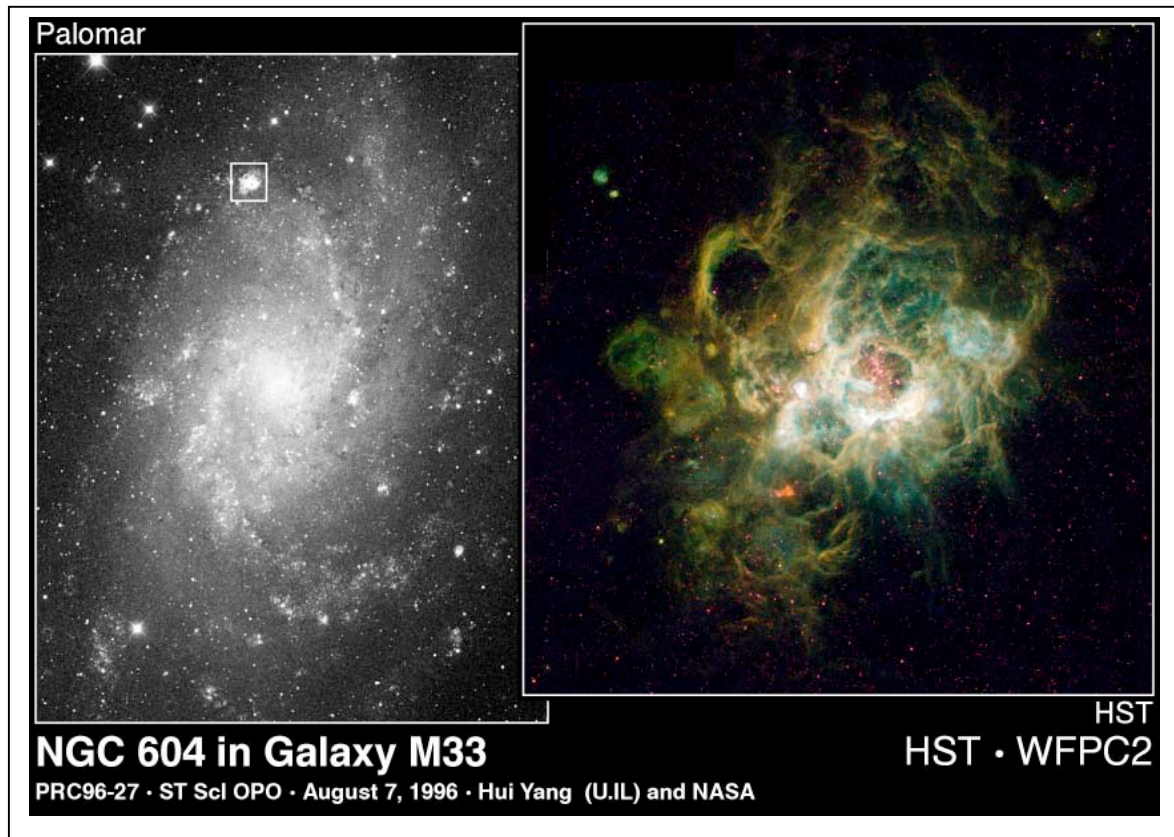
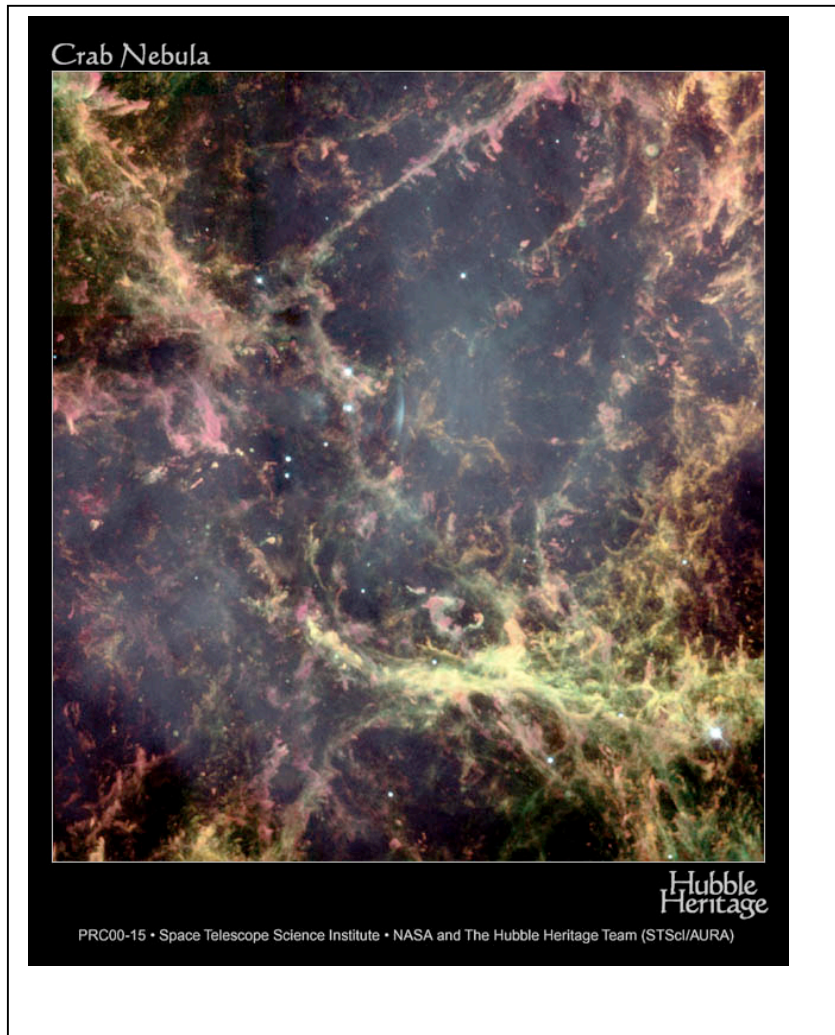


Imagem de NCG604, região de formação estelar na galáxia M33, localizada a 2,7 milhões de anos luz. As estrelas jovens de alta massa embebidas em NGC604 produzem fortes ventos criando uma cavidade no centro da nebulosa.

A compressão das nuvens interestelares pode também ocorrer de uma forma mais violenta, através de **explosões de supernovas**, um processo muito eficiente na formação de estrelas. A matéria ejetada da estrela morta propaga-se na forma de camadas de gás com alta velocidade de expansão. Esse gás interage com o ambiente interestelar, causando instabilidades propícias para o início dos processos de formação de mais estrelas-bebês.

Como tantos outros exemplos da Natureza, assim é fechado o ciclo. As estrelas nascem, amadurecem e morrem de forma a enriquecer o ambiente interestelar, criando as condições necessárias para gerar futuras estrelas.



Nebulosa do Caranguejo vista em detalhe, mostrando restos de uma explosão de supernova, observada pelos chineses em 1054

Agradecimentos: Parte desse texto foi baseada no artigo de Philippe André, publicado na revista *La Recherche* (1994); na apostila do curso Fundamentos de Astronomia (Gregorio-Hetem, Jatenco & Oliveira); e no livro *Astronomy* de Chaisson & McMillan (1998). As imagens identificadas por HST foram obtidas pelo telescópio espacial Hubble e encontram-se disponibilizadas em <http://hubblesite.org>