

**Marina Trevisan**  
Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Brasil



## *O nascimento e a vida das galáxias*



The diagram shows a central cluster of galaxies with a dashed elliptical boundary. Inside, several galaxies of different sizes are shown. A large, dark grey rectangular box labeled "galáxia" contains a smaller, brown rectangular box labeled "estrela". Above the star box is a purple rounded rectangle labeled "gás resfriamento do gas de formação de estrelas". An arrow points from the star box up towards this purple box. To the right of the star box is a blue rounded rectangle labeled "captura de gás". An arrow points from the star box down towards this blue box.

**Galáxias podem adquirir gás de seus arredores, como ilustrado na figura a lado. Porém, mecanismos de alimentação podem aquecer o gás a redor da galáxia, impedindo a captura, ou até ejetá-lo em agl. explosões de supernovas levando à ejeção do gás (esquerda) e a energia liberada pelo NAG\* ejetando e aquecendo o gás arredores (direita).**

Convertendo gás em estrelas se resfriar; estrelas poderão se formar das. Porem, explosões de supernovas liberam energia que pode acelerar e elevar o gás de uma galáxia. Se a galáxia for pequena, a gravidade é muito fraca para evitar que o gás escape, e a formação estelar será suprimida por esse processo de retroalimentação por supernovas. Em galáxias maiores, a retroalimentação pelo núcleo ativo da galáxia,\* (NAG) tem um maior efeito sobre o seu ciclo de formação estelar. Em um NAG, o buraco central da galáxia, que é milhões a bilhões de vezes mais massivo que o Sol, está engolindo matéria e liberando uma enorme quantidade de energia que aquece o gás nos arredores. Estudos mostraram que as propriedades das galáxias dependem da massa do seu buraco negro central, indicando que a retroalimentação por esses monstros tem um papel fundamental na evolução desses sistemas. 9 \* veja TUMPG

Galáxias simuladas

Galáxias observadas (levantamento Sloan)

Evolução de uma galáxia simulada

Comparação entre observações reais e imagens de galáxias criadas a partir de simulações do projeto Illustris realizadas em supercomputadores. Figura acima: diferentes tipos morfológicos. Figura abaixo: evolução de uma galáxia simulada comparada com galáxias observadas de idades similares.

12 bilhões de anos atrás    10    8    hoje

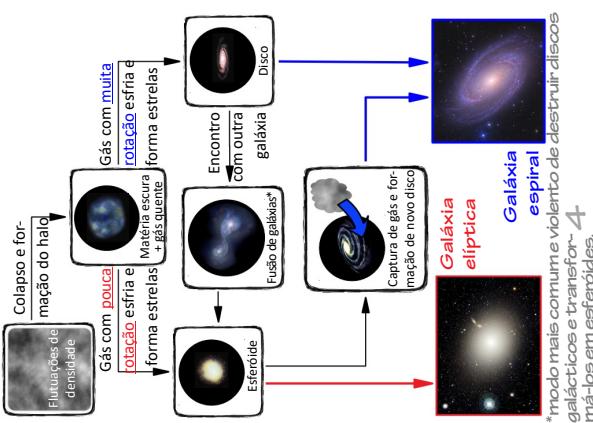
Galáxias observadas (Telescópio Espacial Hubble)

**Flutuações de densidade**

Qualquer teoria de formação e evolução de galáxias tem a difícil missão de explicar quais, quando e como vários processos físicos ocorrem para dar origem aos diferentes tipos galáxias que observamos hoje. Sabemos que a sequência de Hubble não é sequência evolutiva, e o diagrama ao lado ilustra os caminhos que podem levar à formação de galáxias elípticas e espirais. Tudo começa com minúsculas **flutuações de densidade** no Universo muito-muito jovem. Conforme o Universo expande<sup>\*\*</sup>, a amplitude dessas flutuações fica cada vez maior. Finalmente, a **gravidade vence** e ocorre o colapso do halo de matéria escura. Gás quente é atraiado para esses halos e esfria, formando estrelas. Se o resultado será uma galáxia elíptica ou uma espiral dependerá de quantas rotações gás tem o halo, e se ocorrem ou não fusões com outras galáxias.

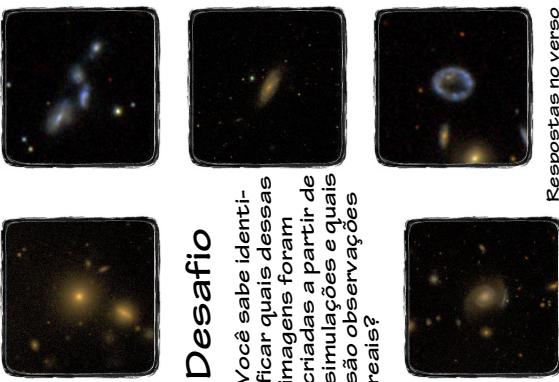
**Criando galáxias**

Nas últimas décadas, **simulações cosmológicas** executadas em supercomputadores têm nos ajudado a entender como as galáxias se formaram e evoluíram. As imagens ao lado mostram resultados de uma das maiores simulações já feitas até hoje. Essas simulações descrevem mais de 13 bilhões de anos de evolução cósmica de um volume contendo dezenas de milhares de galáxias. Elas incluem gás, estrelas, matéria escura, energia escura e diversos processos físicos como evolução estelar, enriquecimento químico e mecanismos de retro-alimentação. Apesar da imensa complexidade, podemos ver que as simulações reproduzem incrivelmente bem as propriedades das galáxias reais! Essas simulações são tão complexas que, se fosse possível executá-las em um computador comum, elas levariam de centenas a milhares de anos para serem concluídas!



Desafío

Você sabe identificar quais dessas imagens foram criadas a partir de simulações e quais são observações reais?



*Criando galáxias*

Nas últimas décadas, **simulações biomóricas** executadas em super computadores têm nos ajudado a entender como as galáxias se formaram e evoluíram. As imagens ao lado mostram resultados de uma das maiores simulações já feitas até hoje. Essas simulações descrevem mais de 13 bilhões de anos de evolução cósmica de um volume contendo dezenas de milhares de galáxias. Elas incluem gás, estrelas, matéria escura, energia escura e diversos processos físicos como evolução estelar, enriquecimento químico e mecanismos de retro-alimentação. Apesar da incrível complexidade, podemos ver que as simulações reproduzem incrivelmente bem as propriedades das galáxias reais! Essas simulações são tão complexas que, se fosse possível executá-las em um computador comum, elas levariam centenas a milhares de anos para serem concluídas!

No modelo proposto por Olin Eggen, Donald Lynden-Bell e Allan Sandage em 1962, as galáxias se formaram a partir do colapso de uma nuvem gigante de matéria escuro cerca de 10 bilhões de anos. As setas indicam a direção do movimento do gás. Hoje sabemos que o processo de formação das galáxias é mais complexo do que sugerido por esse modelo.

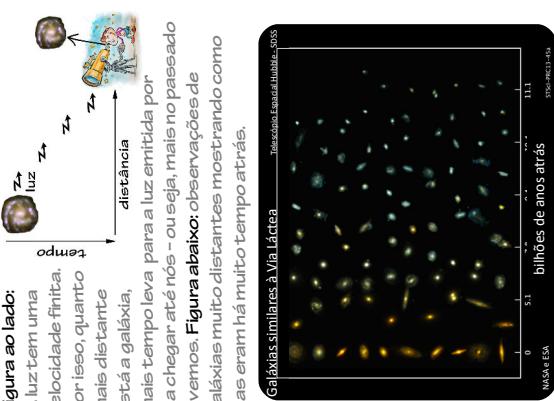
**Materia** Em 1933, Fritz Zwicky mediu as velocidades de galáxias em um aglomerado, e o alto espalhamento nas velocidades o levou a deduzir que a massa do aglomerado é dominada pela invisível **materia escura**. Em 1998, dois times de pesquisadores descobriram que o Universo se expande de forma acelerada. Com isso, sabemos que qual a natureza da energia que causa essa aceleração, e a chamamos de **energia escura**.

2

O Universo hierárquico

No modelo cosmológico que descreve o nosso Universo, as flutuações de densidade iniciais têm amplitudes maiores em escala menor. Isto significa que os halos de matéria escura menores se formam primeiro e coalescem, formando halos cada vez maiores. A história de formação de um halo de matéria escura pode ser descrita por uma **árvore de fusões**. Como galáxias menores, a formação das galáxias ocorre de maneira hierárquica. Porém, as observações mostram que galáxias menores formaram suas estrelas mais tarde em comparação com galáxias massivas. Este efeito ocorre porque as galáxias maiores atingiram uma massa total crítica mais cedo, o que impediu a formação de novas estrelas. Por outro lado, as galáxias pequenas podem formar estrelas por mais tempo resultando em populações estelares mais jovens.

7



10

O Universo no meu bolso No. 23

Este livrinho foi escrito em 2021 por Marina Trevisan da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, Brasil) e revisado por Allan Schnorr Müller (UFRGS, Brasil) e Gary Mamon (Institut d'Astrophysique de Paris, França).

**Respostas**

As imagens das simulações são do projeto Illustris; as observações são do Levantamento Digital do Céu Sloan. É difícil dizer qual é qual, não é?

**Simulação**

**Observação**

A luz viaja com uma velocidade de 300 mil quilômetros por segundo. A consequência disso é que observações profundas do céu nos abrem uma janela para o passado. Com telescópios espaciais conseguimos observar galáxias tão distantes que a luz emitida por elas viagem pelo espaço por cerca de 13 bilhões de anos até chegar até nós. Ou seja, no vemos essas galáxias como elas eram há 13 bilhões de anos! No passado, elas eram mais irregulares, tinham mais gás e formavam estrelas a uma taxa bem mais alta do que as galáxias hoje. Com as imagens incrivelmente nítidas obtidas com o telescópio espacial Hubble, descobrimos muito sobre as fases iniciais da evolução de galáxias. Com o futuro **telescópio espacial James Webb**, teremos imagens incríveis de galáxias a distâncias muito maiores, nos permitindo observar as primeiras galáxias!

11



Para saber mais sobre essa série e sobre os tópicos deste livro, visite <http://www.tulimp.org>

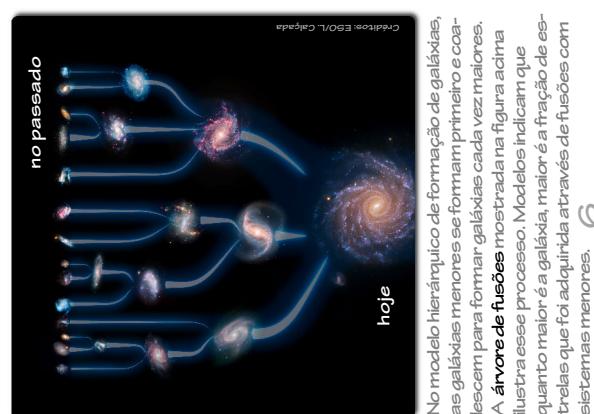
TULIMP Creative Commons



Um Universo de galáxias

Em 1924, Edwin Hubble mostrou que nebulosas espirais observadas até então eram de fato outras galáxias semelhantes à nossa Via Láctea\*. Cerca de 30 anos se passaram até que surgissem os primeiros modelos para explicar a formação desses objetos. Portanto, o nosso conhecimento sobre esse assunto é algo muito recente. A teoria atual para a formação e evolução de galáxias é construída no contexto cosmológico de Lambda Matéria Escuraria. Nesse contexto, o Universo contém três componentes principais: cerca de 26% é matéria escuro fria, 70% é energia escura e apenas 4% é matéria normal que conhecemos (e chamamos de bariônica). A proporção entre essas componentes determina como as estruturas no Universo se formam e evoluem. Porém, até hoje não sabemos o que são essas componentes escusas.

3



6

No modelo hierárquico de formação de galáxias, as galáxias menores se formam primeiro e coalescerem para formar galáxias cada vez maiores. A árvore de fusões mostrada na figura acima ilustra esse processo. Modelos indicam que quanto maior é a galáxia, maior é a fração de estrelas que foi adicionada através de fusões com sistemas menores.

9