

O Universo no meu bolso



O nascimento e a vida das galáxias



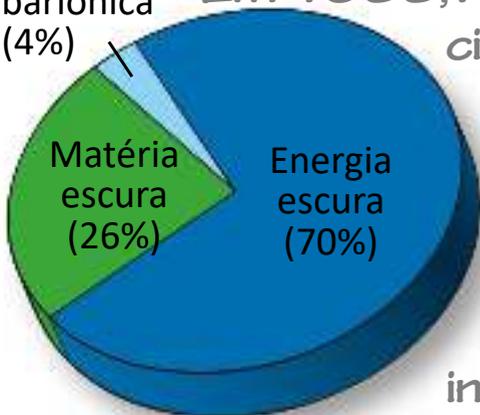
Marina Trevisan
Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Brasil

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 gás há cerca de 10 bilhões de anos. As setas indicam a direção do movimento do gás. Hoje sabemos que o processo de formação de galáxias é mais complexo do que sugerido por esse modelo.

Matéria bariônica (4%)



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 matéria escura. Em

1998, dois times de pesquisadores descobriram que o Universo se expande de forma acelerada. Como não sabemos qual a natureza da energia que causa essa aceleração, a chamamos de energia escura.

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 Escura Fria. Nesse contexto, o Universo contém três componentes principais: cerca de 26% é matéria escura 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 escuras.

* veja TUIMP 3



Flutuações de densidade

Colapso e formação do halo



Matéria escura + gás quente

Gás com **pouca rotação** esfria e forma estrelas

Gás com **muita rotação** esfria e forma estrelas



Esferóide



Fusão de galáxias*

Encontro com outra galáxia



Disco



Captura de gás e formação de novo disco



Galáxia elíptica



Galáxia espiral

*modo mais comum e violento de destruir discos galácticos e transformá-los em esferóides. 4

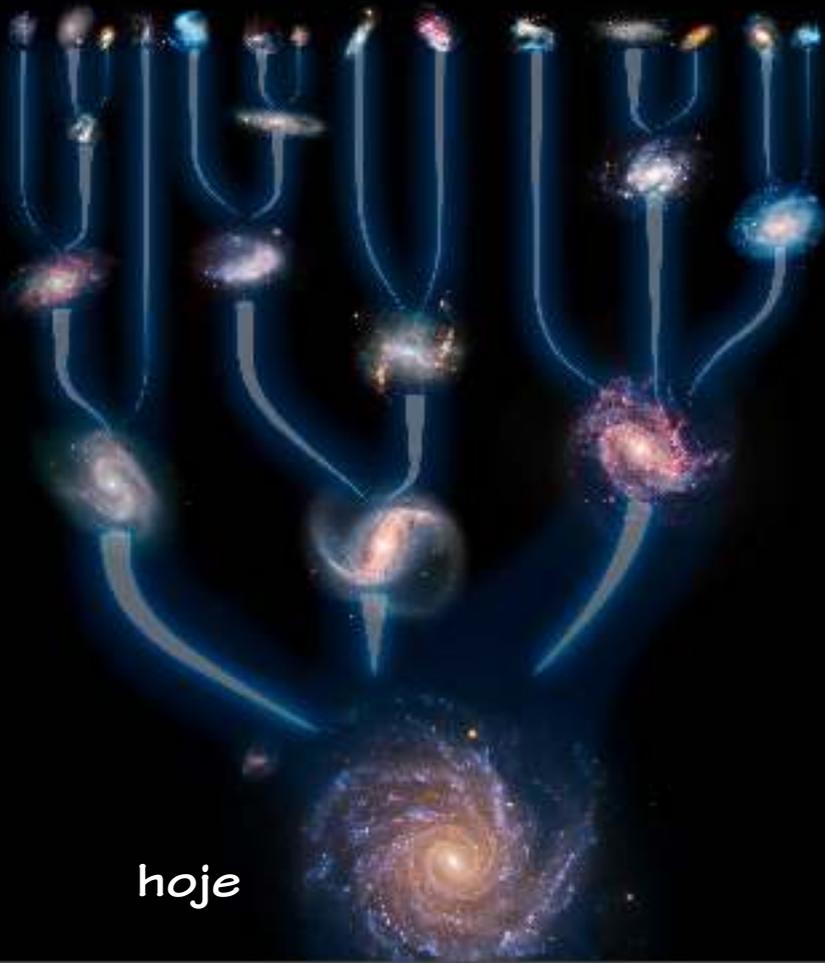
Flutuações de densidade

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**, a amplitude dessas flutuações fica cada vez maior. Finalmente, **a gravidade vence** e ocorre o colapso do halo de matéria escura. Gás quente é atraído para esses halos e esfria, formando estrelas. Se o resultado será uma galáxia elíptica ou uma espiral dependerá de quanta rotação e gás tem o halo, e se ocorrem ou não fusões com outras galáxias.

* Veja TUIMP 3

** Veja TUIMP 1 2

no passado



hoje

Créditos: ESO/L. Calçada

No modelo hierárquico de formação de galáxias, as galáxias menores se formam primeiro e coalescem 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 adquirida através de fusões com sistemas menores.

O Universo hierárquico

No modelo cosmológico que descreve o nosso Universo, as flutuações de densidade iniciais têm amplitudes maiores em escalas menores. Isso 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 estão em halos de matéria escura 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 mais estrelas. Por outro lado, as galáxias pequenas podem formar estrelas por mais tempo, resultando em populações estelares mais jovens.



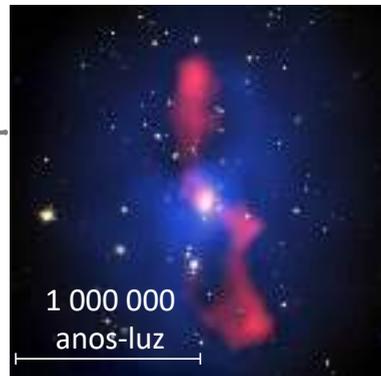
O diagrama ao lado ilustra o ciclo do gás e formação estelar em uma galáxia. Enquanto houver gás frio, a galáxia pode formar estrelas.

Galáxias podem adquirir gás de seus arredores, como ilustrado na figura ao lado. Porém, mecanismos de retroalimentação podem aquecer o gás ao redor da galáxia, impedindo a captura, ou até ejetar seu gás interno.



J. Tumlinson, M. S. Peeples & J. K. Werk; edição: B. M. Borges

Abaixo estão esses mecanismos em ação: explosões de supernovas levando à ejeção do gás (esquerda) e a energia liberada pelo NAG* ejetando e aquecendo o gás dos arredores (direita).



* veja TUIMP 6

Convertendo gás em estrelas

Enquanto a galáxia tiver gás e esse gás se resfriar, estrelas poderão ser formadas. Porém, explosões de supernovas liberam energia que pode aquecer e ejetar 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 negro 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 mostram 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 TUIMP 6

Figura ao lado:

A luz tem uma velocidade finita.

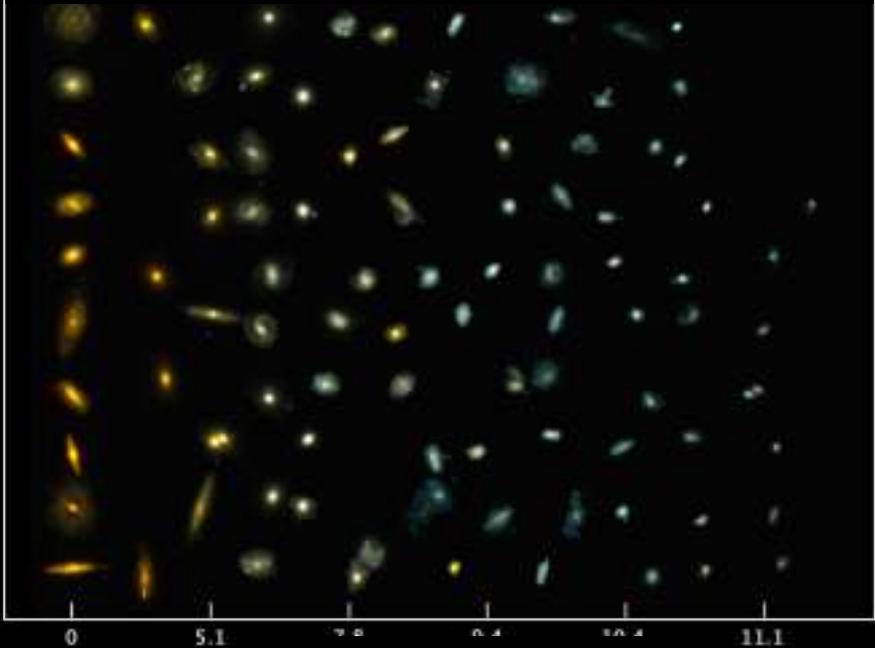
Por isso, quanto mais distante está a galáxia,

mais tempo leva para a luz emitida por ela chegar até nós - ou seja, mais no passado a vemos. **Figura abaixo:** observações de galáxias muito distantes mostrando como elas eram há muito tempo atrás.



Galáxias similares à Via Láctea

Telescópio Espacial Hubble - SDSS



0 5.1 7.0 8.4 9.8 11.1

bilhões de anos atrás

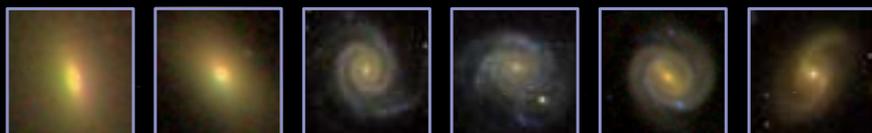
NASA e ESA

STScI-PRCE3-45a

Observando o passado

A luz viaja com uma velocidade de 300 mil quilômetros por segundo, que é um valor alto, mas finito. 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 viajou pelo espaço por cerca de 13 bilhões de anos até chegar até nós. Ou seja, nós 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! 1 1

Galáxias simuladas



Galáxias observadas (Levantamento Sloan)

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.

Evolução de uma galáxia simulada

Galáxias observadas (Telescópio Espacial Hubble)

12

11
bilhões de anos atrás

10

8

hoje

12

Criando galáxias

Nas últimas décadas, **simulações cosmológicas** 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 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! 13



Desafio

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



Respostas no verso



Simulação



Observação

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



Simulação



Observação

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).

Imagem da capa: galáxia espiral hoje, 4 bilhões e 11 bilhões de anos atrás.

Crédito: NASA, ESA.



Para saber mais sobre essa série e sobre os tópicos deste livrinho, visite

<http://www.tuimp.org>

TUIMP Creative Commons

