

A DISTRIBUIÇÃO DAS GALÁXIAS NO UNIVERSO

Amâncio C. S. Friaça e Laerte Sodré Jr.

O GRUPO LOCAL

Galáxias são *animais sociais*. Dificilmente são encontradas galáxias isoladas. Elas se agrupam em pares, grupos (tamanhos de aproximadamente 1 Mpc), aglomerados (tamanhos de aproximadamente alguns Mpc) e superaglomerados (envolvendo escalas de aproximadamente 50 Mpc e maiores). As massas dos aglomerados e superaglomerados alcançam $10^{15} - 10^{16} M_{\odot}$. Supõe-se que esta tendência à aglomeração das galáxias seja naturalmente produzida pela gravitação.

A Via-Láctea, por exemplo, é acompanhada por duas galáxias irregulares satélites, que são a Pequena e a Grande Nuvem de Magalhães, visíveis a olho nu (Atlas, imagem 23). Ela possui, além disso, algumas outras galáxias satélites, as chamadas anãs esferoidais, semelhantes às galáxias elípticas (Atlas, imagem 26), mas muito menos luminosas e muito mais difusas.

A galáxia de Andrômeda (Atlas, imagem 22) forma, com nossa Galáxia, um sistema binário. Cada uma delas, carregando sua corte de satélites, orbita em torno da outra. O sistema formado pela Via Láctea, Andrômeda e mais algumas dezenas de galáxias menores é chamado Grupo Local, com uma extensão de cerca de 1 Mpc. O Grupo Local, por sua vez, está na periferia de uma estrutura maior: o Superaglomerado Local, constituído por cerca de uns cinquenta grupos,

como o Grupo Local, e centrado no aglomerado de galáxias de Virgo, a uma distância de 15 Mpc. O Superaglomerado Local tem uma massa de cerca de $10^{15} M_{\odot}$, um diâmetro de 40 Mpc e uma espessura de 10 Mpc. A grande concentração de massa representada pelo aglomerado de Virgo, com suas milhares de galáxias, afeta profundamente a dinâmica das galáxias do Superaglomerado Local. Assim, existem evidências de que o nosso Grupo Local está caindo sobre este aglomerado com uma velocidade da ordem de algumas centenas de km s^{-1} . Movimentos como esse são denominados *peculiares* e sobrepõem-se ao movimento global de expansão do universo.

A Tabela 12.1 contém dados de algumas galáxias do Grupo Local. A Figura 12.1 ilustra a distribuição de galáxias do Grupo Local.

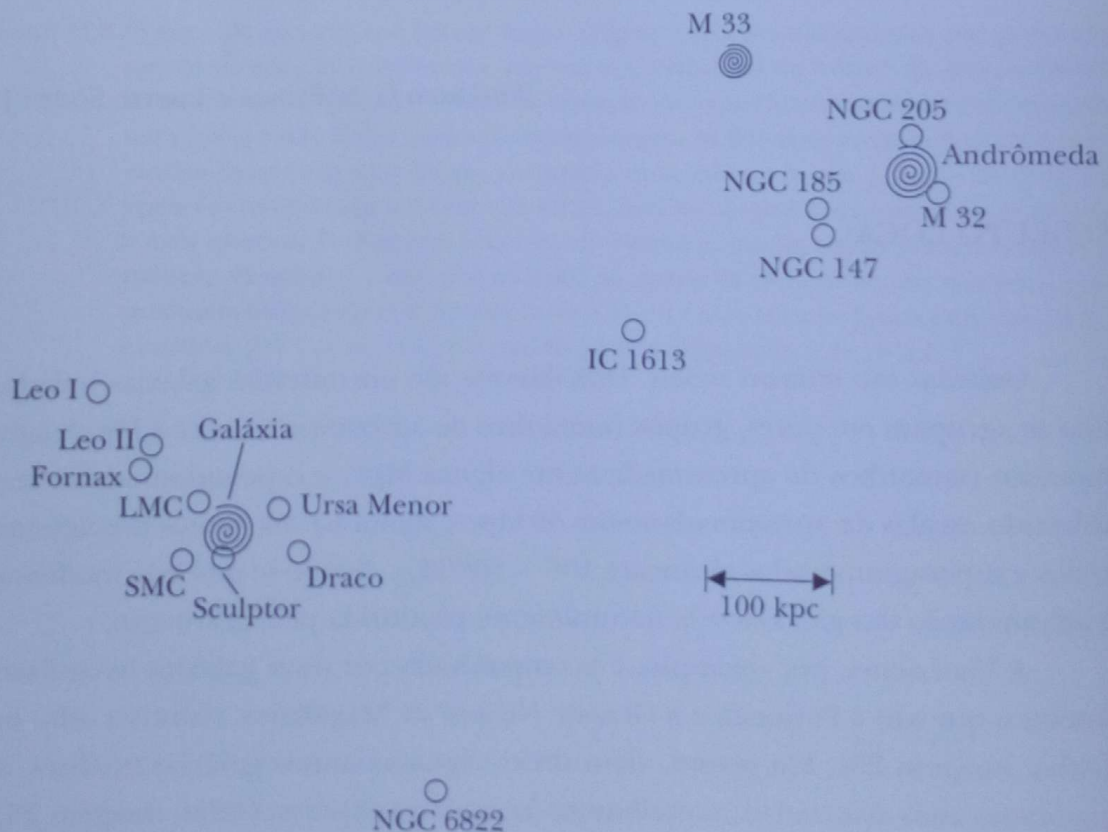


Figura 12.1. O Grupo Local visto "de cima", projetado sobre o plano da Via Láctea. Note as concentrações de galáxias (satélites) em torno da Galáxia e de Andrômada.

Tabela 12.1. Algumas Galáxias do Grupo Local

Nome	Tipo	Distância (kpc)	Diâmetro (kpc)	Massa (M_{\odot})	Veloc. Radial (km s^{-1})
M31	Sb	670	50	3×10^{11}	-275
NGC221	E2	660	1	3×10^9	-210
NGC205	E5	640	2	10^{10}	-240
NGC185	E5	660	1	10^9	-300
NGC147	E5	660	1	10^9	-250
Galáxia	Sbc(?)	-	30	$1,4 \times 10^{11}$	-
LMC	Irr	50	7	10^{10}	+270
SMC	Irr	65	3	2×10^9	+168
Sculptor	anã	85	1	3×10^6	
Fornax	anã	170	2	2×10^7	+40
Leo I	anã	230	0,7	3×10^6	
Leo II	anã	230	0,7	10^6	
Draco	anã	67	1	10^5	
Ursa Minor	anã	67	1	10^5	
M33	Sc	730	8	10^{10}	-190
IC1613	Irr	740	1	3×10^8	-240
NGC6822	Irr	470	2	4×10^8	-40
Ursa Major	anã	120			
Sextant A	Irr	1 000			
Sextant C	anã	140			+26
Leo A	Irr	1 100			-343
IC 10	S	1 260			-78
WLM	Irr	870			

GRUPOS E AGLOMERADOS DE GALÁXIAS

A grande maioria das galáxias formam pares ou estão em pequenos grupos. Cerca de 10% delas são encontradas em aglomerados (Atlas, imagem 31), que são grandes nuvens de galáxias com centenas a milhares de membros. Assim, o aglomerado de galáxias mais próximo de nós, o aglomerado de Virgo, contém 2 500 galáxias em vez das cerca de 20 galáxias do Grupo Local.

Uma propriedade óbvia dos grupos ou aglomerados de galáxias é a sua riqueza, ou seja, o número de galáxias que eles contêm. Outra propriedade importante é a *forma* da distribuição das galáxias. Assim, George Abell classificou os aglomerados em *regulares* e *irregulares*. Os aglomerados regulares apresentam uma forte concentração central e um centro bem-definido, freqüentemente ocupado por uma galáxia gigante (cD) ou um sistema binário de galáxias. Já os aglomerados irregulares apresentam um aspecto difuso, sem simetria evidente. O conteúdo galáctico é correlacionado com o tipo do aglomerado. Assim, em Coma, um aglomerado regular, a maior parte das galáxias são elípticas, enquanto que em Virgo, um aglomerado irregular, 70% das galáxias são espirais.

Um problema extremamente interessante nos estudos de aglomerados de galáxias é constituído pela *matéria escura*. Estudando a dinâmica de uma dessas estruturas, o aglomerado de Coma, Zwicky mostrou, em 1933, que sua massa é, na verdade, muito maior (cerca de 100 a 1000 vezes) que a soma das massas das estrelas nas galáxias. Esta foi a primeira evidência da existência da matéria escura. Atualmente acredita-se que a maior parte da matéria que constitui o Universo está nessa forma. A natureza da matéria escura não é conhecida, e pode ser muito diferente da matéria que conhecemos e que é constituída de prótons, nêutrons etc. A quantidade e a natureza da matéria escura são, sem dúvida, um dos grandes problemas com que se defronta a Astrofísica contemporânea!

Um fato importante, relativo à distribuição das galáxias, é que a freqüência de um dado tipo morfológico é função do meio ambiente. Há mais de meio século, Hubble e Humason verificaram que as E e S0 eram mais comuns em aglomerados – regiões de alta densidade de galáxias – do que no *campo*, que é como se chamam as regiões com baixa densidade de galáxias. Mais recentemente (Dressler, em 1980) mostrou-se que a população relativa de elípticas, lenticulares e espirais em aglomerados e suas periferias é função da densidade local de galáxias. Enquanto aproximadamente 70% das galáxias de campo são espirais, apenas mais ou menos 15% das galáxias em aglomerados concentrados, como Coma, exibem estrutura espiral. Este fenômeno, da dependência da população galáctica com o meio ambiente, é conhecido como *segregação morfológica*.

SUPERAGLOMERADOS DE GALÁXIAS

Uma questão que surge naturalmente é se os próprios aglomerados de galáxias não se reúnem em níveis ainda superiores de organização. Existem aglomerados de aglomerados, os *superaglomerados*? Apenas trabalhando com a projeção em duas dimensões no céu, e ainda sem o conhecimento das distâncias às

galáxias, Fritz Zwicky e seus colaboradores, durante a década de 60, catalogaram a posição de mais de 30 000 galáxias brilhantes, e encontraram evidências da existência dos superaglomerados.

Para conseguirmos, contudo, a distribuição das galáxias em três dimensões é preciso determinar as distâncias das galáxias. Muito tempo de telescópio tem sido dedicado à medida de velocidades radiais para a obtenção de distâncias com a lei de Hubble, o que permitiu montar um cenário sobre como se dá a distribuição de galáxias em grandes escalas. Um exemplo deste esforço é representado pelo levantamento de *redshifts* para as galáxias mais luminosas do céu, realizado pelo Center for Astrophysics (CfA) da Universidade de Harvard. Um resultado interessante deste e outros estudos similares é que grupos e aglomerados tendem a se agregar mais fortemente do que as galáxias individuais.

Nestes mapeamentos, distinguem-se claramente os superaglomerados. São objetos com uma densidade média cerca de 2 vezes a densidade média de galáxias no Universo, contendo vários grupos e aglomerados. Muitos superaglomerados são filamentos, enquanto outros parecem formar paredes de galáxias. Entre os superaglomerados encontram-se os *vazios*, regiões aparentemente sem galáxias, com diâmetros semelhantes ao tamanho dos superaglomerados, aproximadamente 50 Mpc. Uma das estruturas mais notáveis reveladas pelo levantamento de *redshifts* do CfA é a Grande Muralha, uma "parede" de galáxias com 200 Mpc de comprimento e 70 Mpc de altura, da qual faz parte o aglomerado de Coma.

A topologia da distribuição de galáxias em grandes escalas apenas agora começa a ser melhor compreendida, mas é ainda objeto de intenso debate. Por exemplo, os grandes vazios envolvem os aglomerados e superaglomerados (modelo das almôndegas) ou são envolvidos por eles (modelos de bolhas)? A solução pode estar na metade do caminho: em grandes escalas, nosso Universo seria parecido com uma esponja, com filamentos e paredes de galáxias repartindo o espaço com enormes vazios.

A Figura 12.2 ilustra a distribuição de galáxias em uma região de 12° de largura, obtida a partir do levantamento de *redshifts* do CfA. A coordenada radial nas figuras é a velocidade de recessão das galáxias que, pela lei de Hubble, é proporcional à distância. A região mais densa no centro da figura é o aglomerado de Coma.

GÁS INTRA-AGLOMERADO

Os aglomerados de galáxias não contêm apenas galáxias. Uma das grandes descobertas da Astronomia em raios X é que eles são também poderosos emissores de raios X, provenientes de um gás muito quente, presente entre as galá-

xias do aglomerado, o gás *intra-aglomerado*. As luminosidades de raios X estão na faixa de 10^{36} a 10^{38} W, e o gás tem temperaturas típicas entre 10^7 e 10^8 K e densidades de 10^{-2} a 10^{-4} cm^{-3} . A massa do gás quente é geralmente um pouco superior àquela contida nas estrelas das galáxias que constituem o aglomerado, podendo constituir entre 5 e 50% da massa total do aglomerado.

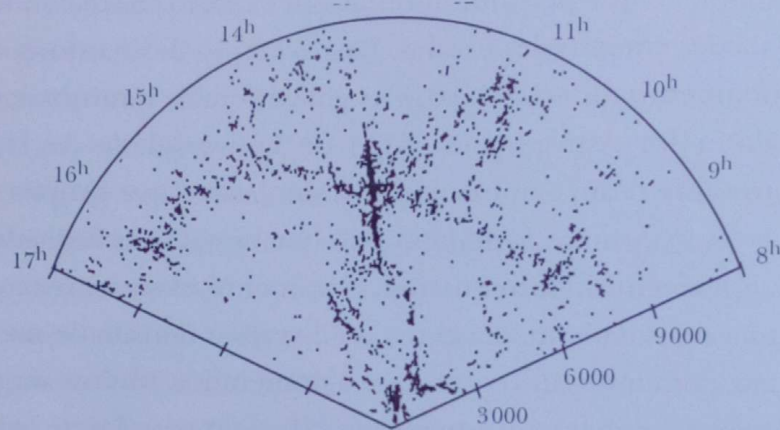


Figura 12.2. Distribuição das galáxias com velocidades radiais $< 12\,000 \text{ km s}^{-1}$, mais brilhantes que $m \approx 15,5$, dentro de uma fatia de 12° de declinação de largura. A coordenada radial nas figuras é a velocidade radial (em km s^{-1}) e a coordenada angular é a ascensão reta das galáxias. A região mais densa, com ascensão reta de aproximadamente 13^{h} , é o aglomerado de Coma. Esta figura, devido à forma da distribuição de galáxias, é conhecida como o "homúnculo".

Uma característica surpreendente deste gás é que ele não é primordial. Frequentemente estão presentes as linhas de raios X em torno de 7 keV, devidas ao Fe XXV e ao Fe XXVI (núcleos do Fe com 2 e 1 elétrons em torno, respectivamente). Além disso, as linhas de raios X devidas ao enxofre, silício, magnésio, neônio e oxigênio, entre outros elementos, são também detectadas. As abundâncias químicas dos elementos são aproximadamente um terço daquelas encontradas no Sol. Isto indica que o gás foi pré-enriquecido por metais nas estrelas das galáxias e, depois, ejetado no meio intra-aglomerado, provavelmente na forma de *ventos galácticos* impulsionados por supernovas explodindo nas galáxias. Mas, na maior parte dos aglomerados de galáxias, o gás mais denso nas regiões centrais se resfria devido às perdas de energia pela emissão de raios X, e passa a cair em direção ao centro do aglomerado, dando origem aos *fluxos de resfriamento*. As galáxias dominantes no centro de aglomerados coletam este fluxo de resfriamento, que pode levar a um aumento considerável da massa da galáxia durante a sua vida. Galáxias e meio intergaláctico, portanto, não são estanques entre si, e as trocas de massa, energia e metais entre as galáxias e o meio intergaláctico são peças fundamentais para a formação e a evolução das galáxias.

AS RADIAÇÕES DE FUNDO

Além de matéria, o Universo é permeado por radiação em praticamente todos os comprimentos de onda. Num dado comprimento de onda (ou frequência), observam-se fontes associadas a objetos (galácticos ou extra-galácticos) individuais. Após a remoção da intensidade devida a essas fontes, resta uma contribuição de fundo que chamamos de *radiação de fundo* na região espectral correspondente. Essa radiação de fundo pode tanto ser associada a fontes individuais muito distantes e que, portanto, não podem ser resolvidas (isto é, distinguidas individualmente), ou ao próprio meio intergaláctico.

A Tabela 12.2 mostra a densidade de energia da radiação de fundo em várias regiões do espectro eletromagnético. Pode-se verificar que a radiação de fundo em microondas é mais intensa do que as demais. Ela apresenta um espectro de corpo negro com uma temperatura de 2,7 K. Veremos no capítulo seguinte que, de acordo com o modelo cosmológico padrão, ela seria uma relíquia de uma época em que o Universo era muito mais jovem e quente. Ela é notavelmente homogênea e a detecção de anisotropias com amplitude $\Delta T/T \sim 10^{-5}$, pelo satélite *COBE*, provocou enorme interesse, por suas implicações cosmológicas e para as teorias de formação de galáxias.

Tabela 12.2. Radiações de fundo

Tipo de Radiação	Comprimento de onda λ Frequência ν Energia E	Densidade de Energia (erg cm ⁻³)
Rádio	$\nu \leq 4080$ MHz	$\leq 10^{-18}$
Microondas	λ entre 80cm e 1mm	$\approx 4 \times 10^{-13}$
Óptico	λ de 4000 Å a 8000 Å	$\approx 3,5 \times 10^{-15}$
Raios X	E entre 1 e 40 keV	$\approx 10^{-16}$
Raios γ	$E \geq 100$ MeV	$\leq 2 \times 10^{-17}$