

**DA TERRA AOS
SUPERAGLOMERADOS DE
GALÁXIAS**

1. Introdução

O Universo que conhecemos é constituído por bilhões de galáxias, cada qual contendo uma imensidão de estrelas. Em uma dessas galáxias encontra-se a Via Láctea - a nossa Galáxia - que abriga o Sistema Solar; ou seja, o Sol, os oito planetas e seus satélites naturais, além de uma extensa quantidade de outros corpos menores. A Terra, nossa casa, é o terceiro planeta distante do Sol e a Vida aqui existente é toda regulada pela energia, na forma de radiação, recebida desta estrela.

Todas as evidências observacionais indicam que esse universo fantástico, no qual estamos inseridos, é governado pela interação da radiação eletromagnética com a matéria. A astrofísica observacional fornece provas suficientes disso: quando distantes do Sol, os núcleos cometários são visualizados graças ao espalhamento da radiação solar com as partículas de poeira ali presentes. Na medida em que se aproximam mais e mais do Sistema Solar Interno, a radiação do Sol sublima os gases provenientes do núcleo produzindo comas e caudas, nos

proporcionando imagens impressionantes, peculiares a esses objetos.



Figura 1. Cometa Hale-Bopp, um dos **mais** brilhantes dos últimos 25 anos.

Outros importantes exemplos de interação da radiação com a matéria nos são revelados pela astronomia óptica: o meio que se encontra entre as estrelas é conhecido como meio interestelar. Das

mais distintas estruturas do meio interestelar há registros fotográficos que revelam a presença dos seus próprios constituintes, os campos de radiação que interagem com o gás e a microscópica poeira ali presentes, formando as conhecidas nuvens (ou nebulosas) interestelares.



Figura 2. Imagem de uma nebulosa escura interestelar.

Apresentando formas distintas que variam desde uma concentração altamente esférica de gás e poeira até formas

completamente irregulares (algumas até bizarras), a presença das nuvens interestelares são, em essência, uma excelente prova de que a radiação interage com a matéria e que o meio interestelar não é um completo vácuo. Como veremos mais adiante, as nuvens interestelares desempenham papéis muito importantes na formação e evolução das estrelas.

O próximo exemplo nos toca diretamente: a radiação produzida no interior do Sol leva quase um milhão de anos para percorrer os cerca de 690.000 quilômetros de distância desde a parte central da estrela até a sua superfície. Como a energia solar é uma radiação eletromagnética, ela viaja à velocidade da luz de modo que gasta pouco mais de 499 segundos (8,3 min) para percorrer os quase cento e cinquenta milhões de quilômetros que nos separam do Sol. Como todos sabemos, essa energia é vital uma vez que os seres vivos aqui na Terra possuem a capacidade de capturá-la e armazená-la até que esteja pronta para uso. É o que ocorre com plantas e algumas bactérias. Em particular, as plantas são capazes de captar a radiação solar, armazená-la e realizar a fotossíntese que é, talvez, uma das mais importantes

conseqüências da interação da radiação com a matéria no nosso planeta. Ao interagir com uma planta, a energia solar cria pequenas correntes elétricas que auxiliam na produção da glicose e do oxigênio a partir da água e do bióxido de carbono. Para sobreviverem, ao se alimentarem de plantas, os animais apropriam-se dessa energia acumulada.



Figura 3. O Sol, fonte de energia primária da Terra.

O Homem, ao se alimentar de plantas e animais consegue energia para suas tarefas diárias. Desta forma, direta ou indiretamente, todos dependemos do Sol e da radiação por ele emanada.

Sabemos que os organismos vivos aqui na Terra são constituídos, principalmente por oxigênio, carbono, hidrogênio, nitrogênio, fósforo e cálcio além de muitos outros elementos químicos. No caso do homem, cerca de 80% da sua composição é formada por oxigênio e hidrogênio na forma de água enquanto que os restantes 20% são compostos orgânicos; ou seja, compostos que tem por base o elemento químico carbono. A idéia central desse texto vai ao encontro de determinadas indagações as quais, durante muito tempo têm inquietado o Homem. Questões do tipo *“Por quê apresentamos essa composição química?”*, *“Como se deu a evolução da Terra Primitiva para aquela em que atualmente vivemos?”* ou, ainda, *“Como foi que surgiu o Homem na Terra?”*, com certeza não serão completamente respondidas aqui, uma vez que esse é um assunto de domínio multidisciplinar da Astrobiologia. No entanto, do ponto de vista da Astronomia

Observacional moderna, sabemos que os elementos mais leves que compõem as estruturas do Universo - hidrogênio, hélio, seus isótopos e traços de lítio, foram formados durante as condições muito quentes e densas da formação do Universo enquanto que os demais elementos, incluindo aqueles que tomam parte na nossa própria constituição foram sintetizados no interior de estrelas, através de reações de fusão termonucleares. Quando estudamos os interiores estelares estamos, na realidade, procurando compreender como um plasma altamente quente e simples evolui para realizar a síntese desses elementos químicos. A formação desses elementos é um dos assuntos que abordaremos neste texto que, na realidade, se constitui em uma viagem imaginária, respaldada pelos avanços alcançados pela Astrofísica observacional. Tal jornada se inicia a partir da Terra - nosso planeta, atravessa o Sistema Solar, avança para alcançar algumas estruturas importantes do meio interestelar, uma componente ímpar da Via Láctea, atinge outras galáxias conhecidas até alcançar as maiores estruturas resolvidas pelo telescópio espacial Hubble: os Superaglomerados de Galáxias.

2. O Sistema Solar

Iniciamos a viagem pelo universo observável, do ponto de vista da Astrofísica observacional, começando pela nossa própria casa – o planeta Terra - uma esfera com diâmetro de cerca de doze mil e oitocentos quilômetros, que orbita em torno de uma estrela anã amarelada, o Sol. Muito embora esse “habitat” nos seja deveras familiar vivemos uma condição atual em que começamos a sentir os abusos que cometemos, ao longo do tempo, para com a natureza do nosso planeta sem, contudo, nos darmos conta do quanto é difícil encontrar, em todo o Universo, condições semelhantes àquelas que aqui (ainda) possuímos. Essas condições a que nos referimos incluem pequenas variações de temperatura, pressão, densidade e umidade atmosféricas e, acima de tudo, absorção da energia proveniente do Sol na quantidade apropriada. As condições existentes na Terra são peculiares e representam o produto de diversos fatores. Esclarecendo melhor, as dimensões da Terra e sua massa, $M \sim 6,0 \times 10^{24}$ quilogramas (seis seguido de vinte e quatro zeros), são fatores que influenciaram sobremaneira para com o surgimento da Vida. A posição da órbita do nosso

planeta em torno do Sol é, com certeza, um aspecto importantíssimo uma vez que regula a incidência da radiação proveniente do Sol e, com isso, a distribuição do calor sobre a superfície do planeta. Do mesmo modo, a composição química da atmosfera, como é o caso da abundância do oxigênio, reflete as necessidades impostas pela Vida.

No Sistema Solar além da Terra, nos deparamos com outros sete planetas. Mercúrio, Vênus e Marte, os mais próximos do Sol, são classificados como “planetas terrestres”, enquanto que Júpiter, Saturno, Urano e Netuno são reconhecidos como “planetas gasosos”. Os planetas terrestres são assim reconhecidos não porque são exatamente iguais à Terra, mas por serem menores, sólidos e estarem envolvidos por densas atmosferas. Mercúrio é praticamente desprovido de atmosfera. Além de serem bem maiores e mais massivos, os planetas gasosos apresentam composições atmosféricas semelhantes entre si: H_2 e CH_4 . O fato desses planetas mais externos serem constituídos basicamente de H_2 e CH_4 está diretamente relacionado com a formação do Sistema Solar, há 4,6 bilhões de anos, uma vez que o gás residual leve não

incorporado ao Proto-Sol foi capturado pelos planetesimais que evoluiriam para formar os planetas gasosos. O fato é que os planetas gasosos não apresentam requisitos básicos para o surgimento e a manutenção da Vida tal qual ela se apresenta aqui na Terra.

Mercúrio é o planeta mais próximo do Sol e, por isso mesmo, parece pesar sobre si essa situação. É pequeno, apresentando uma dimensão de pouco menos de 5.000 km, sua massa não excede 6% da massa da Terra, é quente e praticamente não possui atmosfera nem satélites naturais. Não dispendo de atmosfera, fica sujeito ao impacto constante de meteoros e cometas que abrem crateras de diversas proporções sobre sua superfície. Ele é, também, o planeta que apresenta as maiores variações de temperatura no Sistema Solar: durante o dia a temperatura é superior a 400 graus Celsius enquanto que à noite cai para mais de 180 graus Celsius negativos. Mercúrio pode ser observado, por meio de binóculos ou mesmo à vista desarmada, sempre muito próximo ao Sol.

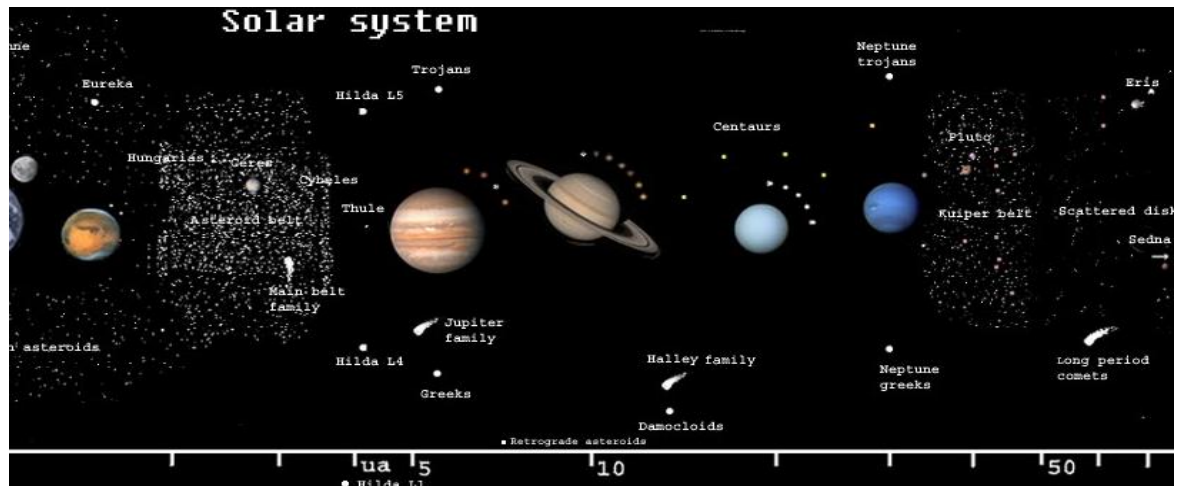


Figura 4. Esquema do Sistema Planetário atual.

Vênus localiza-se a quase 110 milhões de quilômetros do Sol e possui órbita entre Mercúrio e a Terra. Buscando uma compreensão da atmosfera venusiana, o Homem enviou mais de 20 sondas espaciais para “visitar” o planeta, sendo que a precursora foi a Mariner 2, em 1962. Uma dessas sondas, a soviética Venera 7, detém a primazia de ter sido a primeira a descer em outro planeta. De todos os planetas do Sistema Solar, a “estrela d’alva” ou “estrela vespertina” como é frequentemente conhecido Vênus, é o que mais se assemelha à Terra, se compararmos dimensão e massa. Sua massa é pouco mais que 80% da massa da Terra, enquanto que sua dimensão é 95% da

terrestre. Contrastando-se a esses dados, Vênus possui uma atmosfera muito densa, constituída basicamente por 96,4% de gás carbônico (CO₂). Esse gás encontra-se logo abaixo de algumas camadas de nuvens ácidas e retém o calor do Sol produzindo um notável efeito estufa. Como Vênus é um planeta inferior (órbita mais interna que a da Terra), ele revela fases tal qual a Lua, quando visualizado da Terra com o auxílio de um telescópio.

A Terra, o terceiro planeta distante do Sol, é o único que possui uma atmosfera rica em oxigênio e água. Quase dois terços da Terra é recoberta por água líquida, formando os oceanos. Como sabemos, o ciclo da água é vital para a Vida aqui na Terra como a conhecemos. Os mais antigos registros de fósseis de organismos vivos em nosso planeta datam de 3,7 bilhões de anos. No entanto, como veremos nos próximos Capítulos, sabemos bem pouco acerca do período crítico em que a Vida se iniciou. Ao que se sabe, a Terra é o único planeta habitado com civilização inteligente que conhecemos. Tentativas de contato com outras eventuais civilizações extraterrestres, até o presente momento, fracassaram. Nosso planeta é constantemente estudado por sondas espaciais e

satélites artificiais. As imagens obtidas do espaço são úteis uma vez que elas colaboram na elaboração de mapas, na previsão do tempo e, também, na navegação aérea e marítima. A partir da Terra, avançando um pouco mais além nessa nossa viagem, encontraremos a Lua que, com um diâmetro de cerca de 3.400 quilômetros, é o único satélite natural da Terra. A massa da Lua é apenas 1,2% da massa do nosso planeta. Combinado massa e dimensão, verifica-se que ela é incapaz de reter uma atmosfera. A distância entre a Terra e a Lua é de aproximadamente 384.000 km o que, embora seja pequena para os padrões em astrofísica observacional, representa a maior distância já conquistada pelo homem no espaço. Em 1969, N. A. Armstrong e E. Aldrin desceram na superfície lunar, através da nave Apollo 11, e trouxeram amostras do seu solo. As sondas Clementine (em 1994) e Lunar Prospector (em 1997) detectaram, respectivamente, fortes indícios do armazenamento de consideráveis quantidades de água misturadas ao solo lunar, nas regiões polares. O período de revolução da Lua em torno da Terra é de cerca de 27 dias e 8 horas. Esse dado é importante uma vez que representa exatamente

o tempo que ela leva para rotacionar em torno de si mesma. É por essa razão que visualizamos sempre uma mesma face lunar.

Em virtude da quantidade de óxido de ferro sobre a sua superfície, Marte é comumente denominado “planeta vermelho”. A atmosfera desse planeta é tênue e composta, essencialmente, de dióxido de carbono (~ 95,3%), nitrogênio e argônio, além de traços de oxigênio e de água. A primeira sonda espacial a visitar Marte foi a Mariner 4, em 1965. Várias outras se seguiram e sua superfície voltou a ser estudada, a partir de 1997, pela Pathfinder e a Mars Global Surveyor que analisaram a composição do solo e atestaram, definitivamente, a presença de calotas de gelo seco (CO₂) hidratado em seus pólos. Marte possui dois satélites naturais: Fóbos (Medo) e Deimos (Terror) e há evidências de que, em um futuro distante, Fóbos colidirá com o planeta. Devido a sua semelhança e proximidade da Terra, Marte é o mais provável candidato do Sistema Solar a uma futura colonização por parte do homem.

Toda a informação científica que os modernos telescópios conseguem nos repassar provém da radiação dos corpos celestes.

Entretanto, em alguns casos temos a oportunidade de realizar experiências e testes em laboratórios com pedaços de corpos que caem do céu: os Meteoritos. O resultado da análise química realizada com esses objetos revela que os mesmos elementos químicos presentes na Terra também são encontrados no meio interplanetário.

Entre as órbitas de Marte e Júpiter, a uma distância média de cerca de 420 milhões de quilômetros do Sol, encontra-se o cinturão de asteróides. Atualmente, mais de 20.000 asteróides estão catalogados. No entanto, apesar de todo o refinamento das técnicas observacionais existentes, acredita-se que haja outras centenas de milhares, muito menores a serem observados e incluídos na relação conhecida. A origem do cinturão é, ainda, controversa. Alguns cientistas acreditam que sua formação de deu a partir de um planeta que se fragmentou sob a ação do intenso campo gravitacional de Júpiter. Outros crêem que a colisão entre dois planetas poderia ter resultado nesse “enxame” de corpos menores. De qualquer modo, uma forte corrente entre os pesquisadores acredita que a influência gravitacional de Júpiter

tenha evitado a formação de um planeta entre as órbitas de Marte e Júpiter, a partir dessas condensações geradas na época da formação do Sistema Solar.

Outros corpos que se aproximam bastante da Terra (e Sol) são os Cometas e a sua investigação é importante uma vez que podemos inferir quais eram as condições termodinâmicas e químicas reinantes na época da formação do Sistema Solar. Isso se deve ao fato de que eles se formaram a partir da mesma nuvem interestelar que evoluiu e fez surgir o Sistema Solar. Os Cometas são constituídos de um núcleo de gelo e partículas de poeira de modo que, quando distantes do Sol, são reconhecidos como núcleos cometários. Conforme já adiantamos no início deste Capítulo, uma vez presentes no Sistema Solar Interno, a interação da radiação solar sublima os gases cometários, até então inertes, desenvolvendo a típica aparência de um cometa, apresentando uma atmosfera (ou coma) e as caudas de gás e poeira. Muitos cometas são periódicos de modo que seus retornos podem ser previstos com antecedência uma vez conhecidos, com precisão, seus parâmetros orbitais. Porém, a maior expectativa por parte

dos astrônomos é a observação de cometas novos; ou seja, aqueles muito brilhantes que realizam a sua primeira incursão nas proximidades do Sol e que, dessa maneira, expõem a poeira e o gás congelado, como se fossem cápsulas do tempo.

Todas as evidências observacionais parecem indicar que os cometas também desempenharam papel importante, mas ainda não totalmente explorado, para com o desenvolvimento da atual atmosfera do nosso planeta e, indiretamente, para com o surgimento da Vida. Há um importante estudo, realizado em 1999 por A. Delsemme relatando que, na época da formação do Sistema Solar, o influxo de cometas sobre a superfície do nosso planeta primitivo contribuiu com uma quantidade de água equivalente a três vezes e meia àquela atualmente existente.

Em 1986, várias sondas espaciais cruzaram a órbita do Cometa Halley. Três delas, Giotto e Vegas 1 e 2 analisaram o gás e a composição química da poeira desprendida a partir do núcleo daquele cometa. O resultado dessa análise foi surpreendente: aproximadamente 77% do gás é constituído basicamente de água enquanto que a composição da poeira, constituída principalmente

por carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, as conhecidas partículas CHON e silicatos, revelou-se um verdadeiro laboratório de química orgânica. Para que se tenha uma idéia da extensão dessa análise, moléculas tão complexas quanto a xantina e, em particular, a adenina, uma molécula que toma parte no DNA humano, foram confirmadas na componente poeira daquele cometa.

Excluindo-se o Sol, cuja massa representa cerca de 98% da massa de todo o Sistema Solar, os corpos dominantes do sistema planetário em termos de massa e dimensão, são os planetas gasosos. Em seus processos de formação, Júpiter e Saturno atingiram elevadas massas, mais de 318 massas terrestres no caso de Júpiter, cerca de 95 massas terrestres no caso de Saturno, e grandes dimensões: aproximadamente 11 e 9 diâmetros terrestres para Júpiter e Saturno, respectivamente. Enquanto a Terra possui apenas a Lua como satélite natural, Júpiter conta com 63 satélites orbitando em torno de si. Esse gigante do Sistema Solar já foi visitado por várias sondas espaciais, tais como Pioneers 10 e 11, Voyagers 1 e 2, Ulisses e Galileu. Elas analisaram sua atmosfera e

deduziram uma composição de cerca de 86% de hidrogênio e aproximadamente 14% de hélio, com traços de metano, água e amônia. Júpiter possui quatro anéis, fracos e escuros, formados principalmente por pequenas partículas de poeira. Outro gigante gasoso é Saturno que foi visitado pela sonda Pioneer 11 em 1979, pelas sondas Voyagers 1 e 2 e, recentemente pela sonda Cassini. Saturno tem composição parecida com aquelas apresentadas por Júpiter, Urano e Netuno. Até o presente momento conhecemos 49 satélites naturais orbitando Saturno. Ele é famoso por seus anéis que são compostos, basicamente, de cristais contendo várias substâncias químicas congeladas e partículas rochosas recobertas de gelo. No entanto, vale esclarecer que todos os planetas gasosos contêm anéis.

Urano, o sétimo planeta mais afastado do Sol, pode ser observado com um bom binóculo ou com um telescópio pequeno, mas dificilmente é observado à vista desarmada, mesmo em condições ideais para isso. Ele possui uma massa equivalente a quase 15 vezes a massa do nosso planeta, enquanto que sua dimensão é 4 vezes superior. A característica coloração azulada

apresentada por esse planeta é o resultado da absorção da radiação solar pelo metano na sua atmosfera superior. Urano possui 27 satélites naturais e foi visitado, em 1986, pela Voyager que confirmou a semelhança entre sua constituição atmosférica com a dos demais planetas gasosos.

Netuno é o oitavo e último planeta do Sistema Solar e tem 13 satélites conhecidos. A sua descoberta foi um marco para a Astronomia moderna uma vez que foi a primeira vez que o Homem, por meio de cálculos numéricos, previu a existência de um novo planeta do Sistema Solar. Ele foi inicialmente observado pelo astrônomo alemão G. Galé em 23 de setembro de 1846. Como o planeta possuía uma cor esverdeada, devido ao CH_4 presente em sua atmosfera, o que lembrava Netuno, o deus romano do mar verde, equivalente ao deus grego Poseidon, os astrônomos acharam por bem dar-lhe tal denominação.

Sem sombra de dúvidas, a componente mais importante do Sistema Solar é o próprio Sol. Classificado como uma estrela anã de coloração amarelada, ele apresenta um raio de cerca de 696.000 quilômetros enquanto que sua massa quase chega a 2 x

10^{30} quilogramas. Esses dados revelam que a nossa estrela é mais de 330 mil vezes superior à massa da Terra. Uma característica importante desse astro é a sua temperatura, de cerca de 6.000 graus na superfície, sendo por esse motivo que o Sol se apresenta com cor amarela característica. Estrelas bem mais quentes que o Sol têm cores azulado-esbranquiçadas enquanto que aquelas mais frias são avermelhadas. Outras estrelas têm dimensões maiores; por exemplo, a atmosfera de Betelgeuse, uma das supergigantes da Constelação de Órion (o caçador), englobaria a órbita de Júpiter. A temperatura de todas as estrelas aumenta em direção a seus núcleos e com o Sol esse comportamento não é diferente. Esse fato é importante, pois são as elevadas pressões e temperaturas ali presentes – cerca de dezenas de milhões de atmosferas e graus, respectivamente – que permitem a síntese de hélio e elementos mais pesados a partir de núcleos de hidrogênio por meio de reações termonucleares que produzem também, a radiação emitida pelo astro, vital para a manutenção da Vida na Terra. Portanto, muito embora já termos constatado a existência de quase cinco centenas de sistemas extra-solares, dadas as suas

peculiaridades, o Sistema Solar é o único que efetivamente conhecemos.

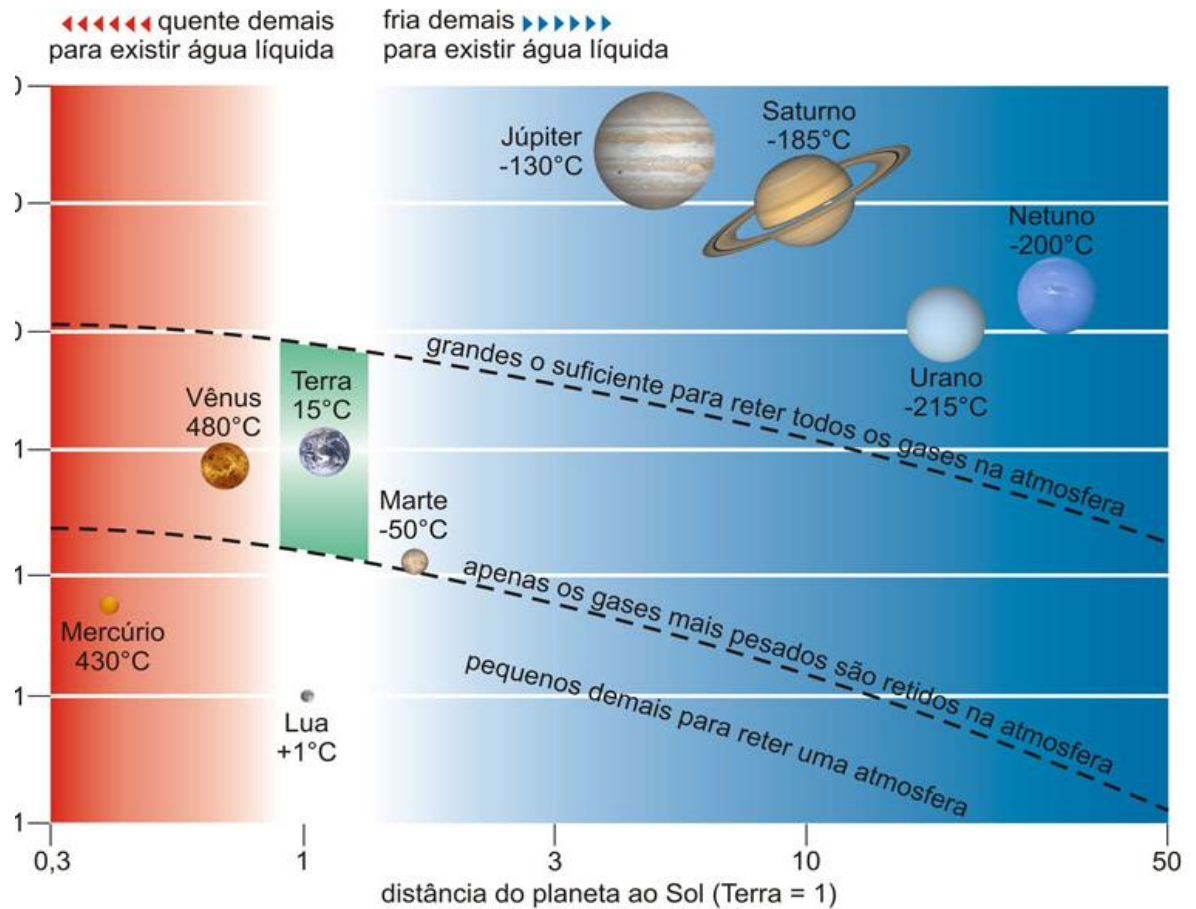


Figura 5. Condições apropriadas de habitabilidade no nosso Sistema Planetário.

3. Os Sistemas Estelares

Nessa nossa viagem, a próxima parada será os sistemas estelares. Ao sairmos do Sistema Solar constatamos que a estrela mais próxima, a Alfa Próxima, encontra-se a pouco mais de quatro

anos-luz (a.l.) de distância. O ano-luz é uma unidade de distância muito utilizada em Astrofísica observacional. Ele equivale à distância percorrida pela luz no decorrer de um ano. No vácuo, essa velocidade é de aproximadamente trezentos mil quilômetros por segundo de percurso. Desse modo, quando transformamos um ano em segundos constatamos que o ano-luz corresponde a cerca de $9,6 \times 10^{12}$ quilômetros. Dessa forma, Alfa Próxima encontra-se a cerca de quarenta mil bilhões de quilômetros distante de nós, na Constelação de Centauro, vizinha do Cruzeiro do Sul. Essa distância estimada para a estrela mais próxima do Sistema Solar fornece uma importante evidência do quão extenso é o Universo observado.

Se utilizarmos um sítio observacional adequado, à vista desarmada conseguiremos distinguir alguns milhares de estrelas. Por sua vez, com o auxílio de um telescópio pequeno conseguiremos visualizar alguns milhões de estrelas de diversas dimensões e cores. As demais estrelas observadas podem aparecer isoladas, como o Sol, mas também podem ocorrer aos pares (sistemas binários), em sistemas múltiplos ou, ainda, em grupos bem maiores, como é o caso dos aglomerados jovens ou abertos, também conhecidos como galácticos, que contam com milhares delas. Há, também, os aglomerados velhos ou fechados, denominados globulares, que

podem reunir algumas centenas de milhares de estrelas. Todos esses aglomerados são muito importantes para o estudo da evolução estelar, pois seus constituintes foram formados mais ou menos ao mesmo tempo, a partir de uma mesma nuvem interestelar, constituída de gás e poeira. Assim, acreditamos que suas composições químicas devem ser muito parecidas. Apresentando uma idade de cerca de algumas centenas de milhões de anos, as Plêiades representam o exemplo de um famoso aglomerado jovem. Elas se localizam nas proximidades da constelação de Touro e, muitas vezes, nos referimos a elas como “as sete irmãs”. No entanto, todo o aglomerado deve conter mais de 3.000 estrelas. Em Astronomia, as idades são muito grandes: o Sol e a Terra têm cerca de 4,6 bilhões de anos, enquanto que a nossa Galáxia tem mais de 10 bilhões de anos e, para o Universo, estima-se uma idade de cerca de 13,7 bilhões de anos. Uma estrela como o Sol apresenta uma vida estimada em cerca de 10 bilhões de anos e é reconhecida, então, como uma estrela de meia vida; ou seja, com idade atual de aproximadamente 5 bilhões de anos. Entretanto, a Evolução Estelar nos ensina que estrelas com massas

muito maiores queimam com maior avidez seu combustível nuclear interno e, portanto, evoluem muito mais rapidamente, vivendo cerca de apenas alguns milhões de anos. Estas cifras, em termos astronômicos, representam idades modestas.

4. Formação e Evolução das Estrelas no Meio Interestelar

O Meio Interestelar representa a concentração de gás, poeira e campos de radiação que preenchem o espaço entre as estrelas. Se em nossa viagem levássemos um equipamento suficientemente capaz de reconhecer e verificar quantitativamente os constituintes das nuvens interestelares, constataríamos que cerca de 75% do gás ali presente é constituído de hidrogênio nas suas mais distintas formas (molecular, atômico e ionizado), enquanto que aproximadamente 23% é representado por hélio. O percentual remanescente representa elementos químicos mais pesados. A componente poeira presente é constituída, basicamente, de silicatos e grafites, com dimensões micrométricas. As condições observadas no Meio Interestelar variam consideravelmente: há

nuvens muito densas com temperaturas tão baixas quanto 10 graus e elevadas opacidades, devido principalmente à poeira, que contrastam com nuvens muito difusas que apresentam temperaturas elevadas. Toda a estrutura de nuvens presente no meio interestelar mostra um dinamismo cíclico impressionante: nuvens se formam, colidem umas com as outras, coalescem (se aglutinam) e se fragmentam para formar novas estrelas. Essas estrelas evoluem e, muitas vezes acabam suas vidas de modo catastrófico, ejetando de volta para outras nuvens do meio interestelar, os elementos químicos mais pesados, sintetizados ao longo de suas existências. Com isso, agora mais enriquecidas, essas novas nuvens interestelares reiniciam o ciclo que acabará por formar novas estrelas.

No processo de formação de estrelas e sistemas planetários como o nosso, as nuvens de gás e poeira mais densas se contraem e, então, passam por fases de fragmentação e novos colapsos em virtude da auto-gravidade. Esses processos implicam em pronunciados aumentos de temperatura e densidade e, em consequência, à formação de uma protoestrela com um disco que a

contorna. Quando suficiente temperatura é alcançada nas suas partes mais centrais, as protoestrelas emitem um intenso vento radiativo, perpendicular ao plano do seu disco. As partículas de poeira acumulam-se em estruturas que denominamos planetesimais e nos núcleos centrais dos planetas gasosos. Com o tempo e acúmulo ainda maior da poeira, os planetesimais evoluem para os planetas rochosos e menores, enquanto que o gás residual é incorporado nos planetas gasosos e maiores, constituindo os seus envelopes. Plêiades é um excelente exemplo de estrelas jovens. Muito provavelmente, ainda estão nascendo estrelas nesse aglomerado e esse processo deve continuar até o esgotamento do gás e poeira presentes no local.

Uma vez formada, a evolução de uma estrela irá depender do fato de terem sido formadas em sistemas múltiplos ou de forma isolada e, sobremaneira, de sua massa. No caso de estrelas com até 11 massas solares a seqüência básica das reações de fusão termonucleares é conhecida como cadeia próton-próton. Ela se inicia quando a temperatura é suficientemente elevada para que dois átomos de hidrogênio se fundam formando o deutério (^2H),

uma partícula elementar denominada pósitron (e^+), outra partícula elementar que damos o nome de neutrino (ν_e) e a consequente liberação de um fóton (γ) de energia.

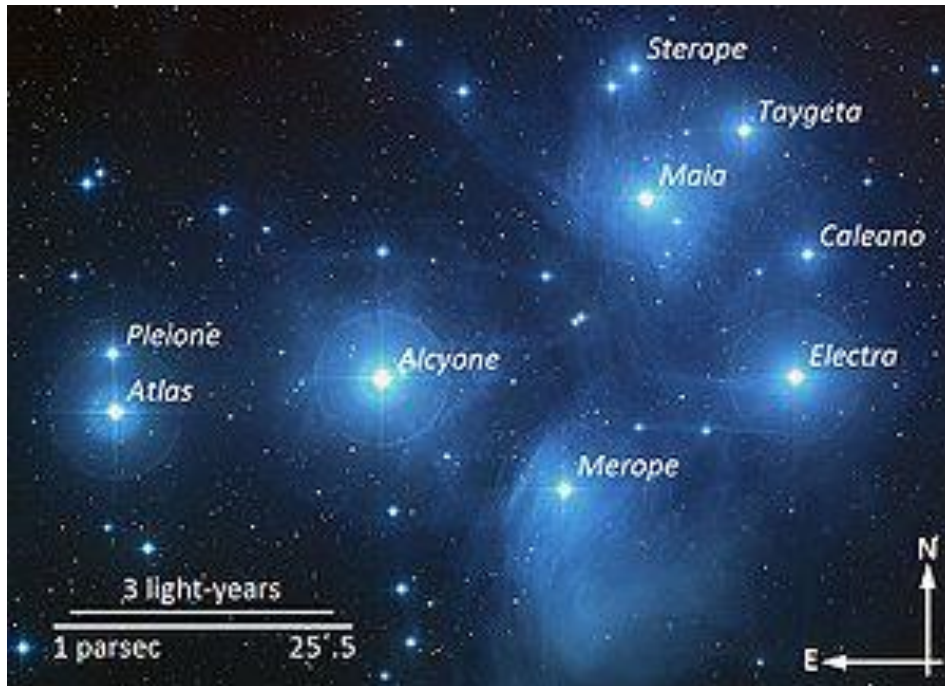
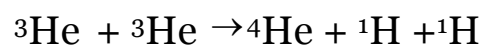
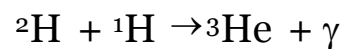
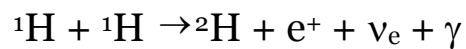


Figura 6. As Plêiades, um aglomerado de estrelas jovens.



Em seguida, dois núcleos de hélio produzem o berílio (${}^7\text{Be}$) que, contudo é instável; ou seja, não sobrevive por muito tempo. No entanto, a quantidade de hélio formada é tão grande que uma certa concentração do berílio consegue reagir com o hélio para formar o carbono (${}^{12}\text{C}$), estável.

Tendo queimado todo o hélio no núcleo da estrela para a produção de carbono, as reações nucleares cessam uma vez que outras reações requerem temperaturas ainda maiores que a estrela, com massa insuficiente, não alcança. As camadas mais externas desabam sobre o núcleo e são expelidas, formando um dos objetos mais marcantes e belos da Astronomia óptica, a Nebulosa Planetária, que representa uma nuvem de gás e poeira contornando a estrela colapsada. Essa estrela, denominada anã branca é assim chamada em virtude de sua pequena dimensão; uma anã branca tem um diâmetro de cerca de 20.000 quilômetros, enquanto que a cor é um importante indicativo da elevada temperatura superficial. O brilho proveniente de uma anã branca é consequência da energia armazenada pelas reações nucleares que já cessaram. A perda ininterrupta dessa energia

provocará queda na sua temperatura, que se tornará gradativamente avermelhada até definhar, transformando-se em um astro sem nenhuma atividade interior. Este é o destino do nosso Sol daqui a 4,5 bilhões de anos!



Figura 7. Imagem de uma Nebulosa Planetária.

Se a massa da estrela for intermediária, entre 11 e 50 massas solares, o colapso é ainda mais violento. Como há massa suficiente para continuar a nucleossíntese, processa-se a produção de

elementos cada vez mais pesados até a formação de núcleos de ferro. Como o ferro é o elemento mais estável encontrado na natureza, a estrela praticamente chega ao fim de sua vida útil uma vez que reações de fusão desse elemento com outro elemento qualquer requerem energia; ou seja, são endotérmicas. Ao cessarem as reações nucleares exotérmicas, a estrela entra em colapso uma vez que as forças de atração gravitacionais não são mais equilibradas pelas forças de pressão internas. Na medida em que o colapso se processa, aumenta a densidade no centro da estrela e, também, a captura de elétrons por prótons produzindo nêutrons e neutrinos. Com isso, a maior parte da matéria no interior da estrela é constituída de nêutrons e enorme quantidade de neutrinos. Por um processo conhecido como “captura de nêutrons”, muitos nêutrons conseguem reagir com os núcleos de ferro gerando elementos ainda mais pesados. Um outro processo, muito conhecido na física nuclear, o decaimento beta, também contribui para com a produção de novos elementos mais pesados que o ferro. Ao atingir uma densidade muito elevada a estrela explode catastróficamente e esse processo libera uma tamanha

quantidade de radiação que pode ser observada mesmo quando o evento ocorre em outras galáxias. O fenômeno da explosão é conhecido como Supernova.



Figura 8. Os restos da Supernova em Vela.

No meio interestelar galáctico e de outras galáxias são observadas, várias remanescentes de Supernovas. As Supernovas podem brilhar mais que toda a galáxia em que se encontra. Na Via Láctea ocorre, em média, uma Supernova à cada 50 anos. O objeto

estelar decorrente dessa evolução é uma estrela com cerca de 1,5 a 2,0 massas solares, com cerca de quarenta quilômetros de extensão e extremamente densa. Ela é denominada Estrela de Nêutrons e não apresenta mais reações nucleares em seu interior. Ela possui um elevado movimento de rotação como forma de compensar a preservação do momento angular. Via de regra, às estrelas de nêutrons estão associadas intensos campos magnéticos de modo que esses objetos são reconhecidos como pulsares. Portanto, um Pulsar é uma estrela de Nêutrons dotada de campo magnético muito intenso. A luz emitida por uma estrela de nêutrons ou pulsar é concentrada em feixes que podemos detectar aqui da Terra, com incrível regularidade.

Se a massa da estrela for elevada; ou seja, acima de 50 massas solares, o colapso final será ainda mais catastrófico, com a evolução para um Buraco Negro – objeto com um campo gravitacional tão intenso que nem a luz consegue escapar. Assim, sua detecção e observação são muito difíceis. Em busca de buracos negros, torna-se necessário encontrar um sistema estelar binário, em que uma componente perde massa para a outra, que é a estrela

colapsada. A física nos ensina que toda matéria acelerada à velocidades relativísticas emite radiação de modo que, quanto mais é acelerada essa matéria, radiação mais energética é emitida pelo objeto em movimento. No presente caso, a captura da matéria pela estrela colapsada (buraco negro) gera emissão de raios-X, que pode ser detectada por instrumentos adequados em satélites artificiais. Na constelação do Cisne, da Via Láctea, Cygnus X1 é uma forte fonte emissora de raios-X, detectada inicialmente pelo satélite Uhuru. A fonte Cygnus X1 é, portanto, uma forte candidata a buraco negro.

Conforme já falamos, estrelas e meio interestelar fazem parte de um sistema em constante evolução cíclica. Elas nascem a partir de uma nuvem interestelar densa, consomem seu combustível nuclear e, no final de suas vidas devolvem parte ou toda a sua massa ao meio onde nasceram e evoluíram para que outras gerações de estrelas possam ser criadas. Essa contínua evolução foi fundamental para a nossa existência: os átomos de carbono e outros elementos químicos que fazem parte da Vida aqui na Terra foram, em um passado remoto, sintetizados no interior de uma

geração de estrelas que não existe mais. Em suma, somos todos produtos de estrelas.

5. A Via Láctea, Galáxias e Aglomerados de Galáxias

As estrelas solitárias, os sistemas binários e múltiplos, os aglomerados estelares além de todas as estruturas observadas no meio interestelar constituem partes da nossa Galáxia. A estrutura da Via Láctea não é fácil de ser estudada uma vez que estamos no seu interior e não temos tecnologia suficiente para sair dela e a observarmos de longe. No entanto, nessa jornada que estamos realizando, nós a conhecemos relativamente bem, uma vez que atravessamos algumas de suas partes e, também, porque podemos visualizar outras galáxias próximas, muitas delas semelhantes à nossa em formato e estrutura. Desse grupo galáctico local conhecemos mais de 40 galáxias. Em noites apropriadas à observação à vista desarmada, mesmo da Terra, conseguimos ver uma boa parte da Via Láctea. Se vista de lado, ela possui uma forma achatada. Quando vista de topo, ela se assemelha a um disco com braços em forma de espiral, tal qual Andrômeda, a

galáxia vizinha mais próxima e uma das mais famosas galáxias do Grupo Local. O diâmetro da nossa Galáxia é deduzido em cerca de 50.000 parsecs, onde 1 parsec vale aproximadamente 3×10^{13} quilômetros. A espessura da Via Láctea é bem menor, cerca de algumas centenas de parsecs. Nessa estrutura, o Sistema Solar posiciona-se em um local pouco privilegiado: encontra-se em um de seus braços espiralados, o braço de Órion, a cerca de 9.000 parsecs de distância do centro galáctico.



Figura 9. Nossa vizinha, a Galáxia Andromeda.

A Via Láctea deve conter algumas centenas de bilhões de estrelas de modo que sua massa é, no mínimo, de algumas centenas de bilhões de massas solares. Nem todas as galáxias possuem discos ou são espiraladas. As maiores são elípticas. Outras são pequenas e completamente irregulares em seus formatos. As Nuvens de Magalhães, galáxias satélites da Via Láctea, são exemplos de galáxias irregulares. Elas são observadas logo abaixo da constelação do Cruzeiro do Sul.

As galáxias não são as maiores estruturas observadas. Na realidade, muitas delas aparecem reunidas nas estruturas denominadas aglomerados de galáxias que, por sua vez, se agrupam nos superaglomerados de galáxias. Os aglomerados abrangem um número muito grande de galáxias em uma mesma região do céu e o fato de aparecerem juntas pode ser a evidência de uma origem comum, mas ainda pouco compreendida. Eles encontram-se separados através do meio intergaláctico, muito semelhante ao meio interestelar, porém ainda mais diluído e de difícil detecção. Também podem apresentar alguns fenômenos

curiosos, como o “canibalismo galáctico”, processo pelo qual duas galáxias conseguem se interpenetrar. Esse canibalismo tem sido muito investigado e, ao que tudo indica, acarreta em um aumento na taxa de formação das estrelas na galáxia resultante.

Nem todas as galáxias possuem discos ou são espiraladas. As maiores são elípticas. Outras são pequenas e completamente irregulares em seus formatos. A Pequena e a Grande Nuvem de Magalhães, galáxias satélites da Via Láctea, são exemplos de galáxias irregulares.

As galáxias não são as maiores estruturas observadas. Na realidade, muitas delas aparecem reunidas nas estruturas denominadas aglomerados de galáxias que, por sua vez, se agrupam nos superaglomerados de galáxias. Os aglomerados abrangem um número muito grande de galáxias em uma mesma região do céu e o fato de aparecerem juntas pode ser a evidência de uma origem comum, mas ainda pouco compreendida. Eles encontram-se separados através do meio intergaláctico, muito semelhante ao meio interestelar, porém ainda mais diluído e de difícil detecção. Também podem apresentar alguns fenômenos

curiosos, como o “canibalismo galáctico”, processo pelo qual duas galáxias conseguem se interpenetrar. Esse canibalismo tem sido muito investigado e, ao que tudo indica, acarreta em um aumento na taxa de formação das estrelas na galáxia resultante.

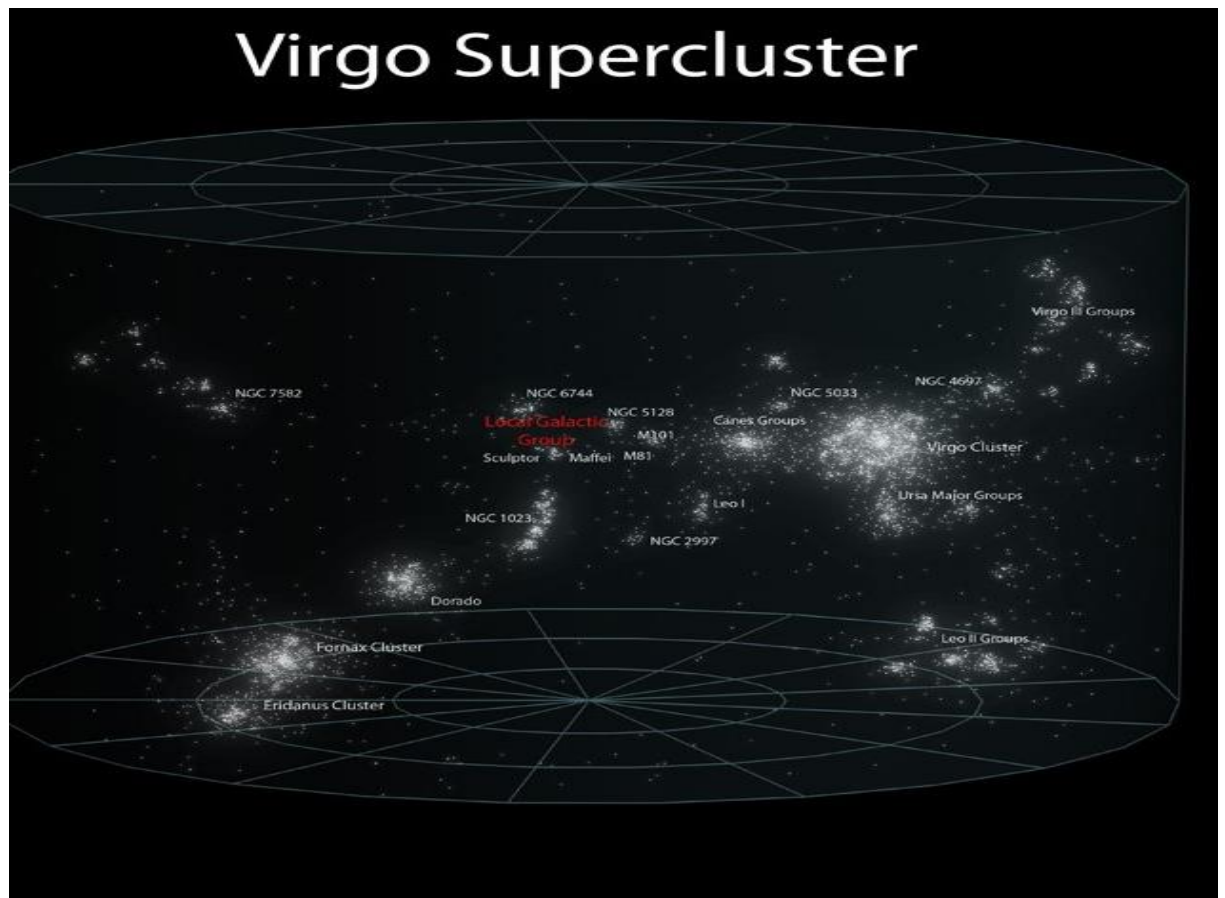


Figura 10. O Superaglomerado de Galáxias em Virgem.

Fonte de Pesquisa:

Oliveira Filho, K. S. & Saraiva, M. F. O.: 2004, *Astronomia e Astrofísica*, Editora Livraria da Física, São Paulo.

Carroll, B. W. & Ostlie, D. A.: 1996, *An Introduction to Modern Astrophysics*, Addison-Wesley Publishing Company, USA.

Krishna Swami, K. S.: 1997, *Physics of Comets*, World Scientific, London.

McFadden, L., Weissman, P. R., Johnson, T. V. : 2007, *Encyclopedia of the Solar System*, Academic Press, London.

Obs.: *Todas as figuras foram subtraídas de “sites” de domínio público através da Internet.*