

# Astrobiologia

Mestrado e Doutorado em Física e Astronomia

Prof. Dr. Sergio Pilling

Alunos: Caroline Gonçalves de Góes

Alexandre Bergantini de Souza

Williamary Portugal

## Aula 10 - Terra Primitiva e Marte: Formação planetária; Formação da lua; Formação das luas de Marte; Comparação entre as atmosferas (hoje e no passado). Espectro da atmosfera. Metano em marte; Água; e Sondas exploratórias em Marte

### 1. Introdução

O início da formação e evolução do sistema solar é estimado em 4,5 bilhões de anos atrás com o colapso gravitacional de uma pequena parte de uma “Nuvem Molecular Gigante” (nuvem de gás e poeira) resultante de uma grande explosão, conhecida como Big Bang. A maior porção da massa que se colapsou sob a força da gravidade das suas partículas, concentrou-se no centro formando o sol e o restante, em sua volta, resultou no disco protoplanetário, que promoveu a formação dos planetas, luas, asteroides e outros corpos do sistema solar (Figura 1). A hipótese desse processo de formação foi inicialmente formulada pelo filósofo Immanuel Kant (1755) e desenvolvida posteriormente pelo matemático Laplace (1796)

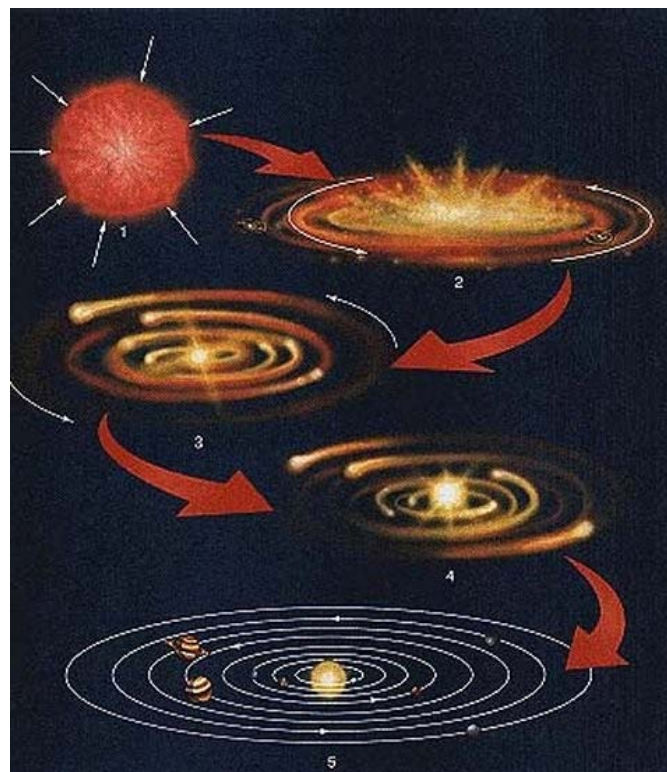


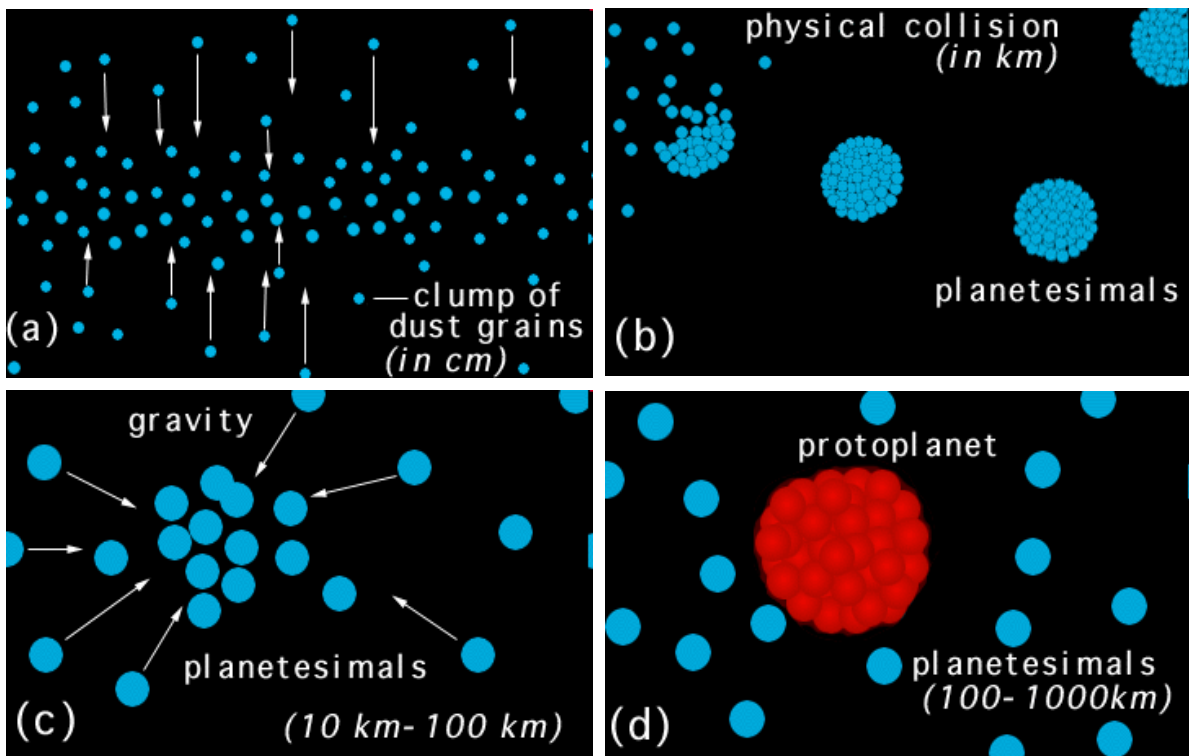
Fig. 1 – Ilustração do processo de formação do sistema solar. Fonte: <http://zebu.uoregon.edu/~imamura/121/lecture-5/lecture-5.html>

Numa sequência temporal da formação do sistema solar, destacam-se os seguintes fatos:

- Colapso gravitacional de uma nuvem densa de gás e poeira ( $n \sim 10^{10}$  moléculas  $\text{cm}^{-3}$ ; Temp  $\sim 10$ -50 K);
- Disco de poeira (forma achatada com rotação diferencial), rotação aumenta na contração;
- Condensação (acresção) do material, formação dos planetesimais;
- Formação dos embriões planetários (tamanhos de Marte ou da lua).

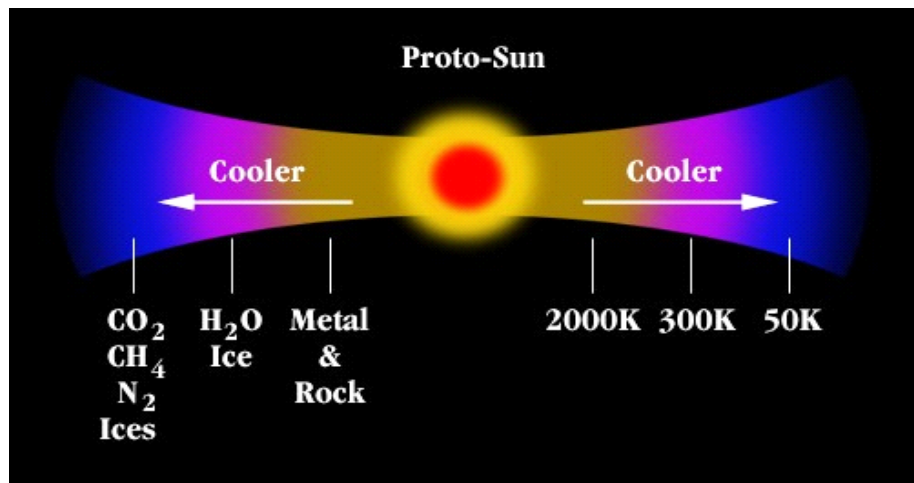
Para o processo de acreção tem-se os seguintes passos, como mostra a Figura 2:

- Acreção de partículas do tamanho de cm;
- Colisões físicas na escala de km;
- Acreção gravitacional na escala de 10-100 km;
- Fusão do protoplaneta devido ao calor gerado pela acreção.



**Fig. 2** – Ilustração do processo de acreção das partículas na formação dos corpos do sistema solar.

- À medida que o disco protoplanetário (disco contendo os gases e poeira remanescente da nuvem protoplanetária) foi evoluindo formou-se um gradiente acentuado de temperatura cujas principais consequências foram: formação de planetas rochosos perto do sol e elementos voláteis – longe do sol – planetas gigantes – gelos (Figura 3).



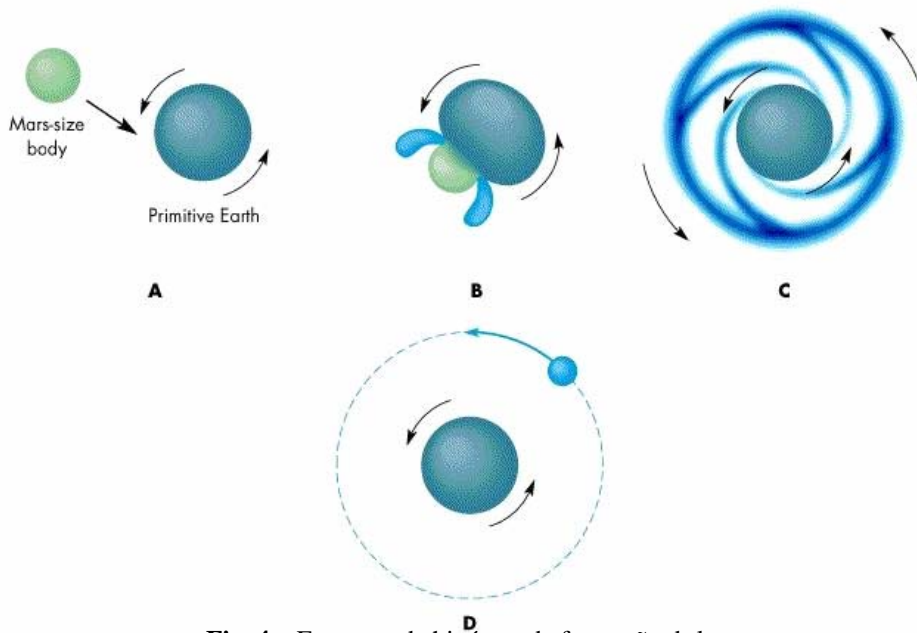
**Fig. 3** – Ilustração do processo de formação do sistema solar.  
**Fonte:** <http://zebu.uoregon.edu/~imamura/121/lecture-5/lecture-5.html>

- Fase de fortes ventos solares que limpam grande parte do restante de gás do sistema. Restos de gelo e rocha ainda ficam embebidos no sistema.
- Com os planetas formados, inicia-se o período de migração planetária (devido às interações gravitacionais e interações com o gás e planetesimais restantes).

Os planetas que se formaram mais próximos do sol adquiriram uma formação rochosa e metálica (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte) uma vez que o material volátil se dispersou, já os mais afastados são planetas gasosos (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno). Um estudo realizado por cientistas da NASA sugere que alguns planetas como a Terra e Marte, permaneceram fundidos em suas fases “primitivas” durante mais ou menos dez milhões de anos. As descobertas também indicam que os dois planetas resfriaram-se mais lentamente do que pensavam os cientistas, sendo necessário um mecanismo para manter seus interiores quentes. Esses dados foram revelados por cientistas da Johnson Space Center (JSC), Lunar and Planetary Institute e da Universidade da Califórnia, todos da NASA. Tais processos que revelam a história do interior dos planetas têm sido preservados em Marte, enquanto foram apagados na Terra. Assim, Marte é provavelmente uma ótima oportunidade para entender como a Terra se formou.

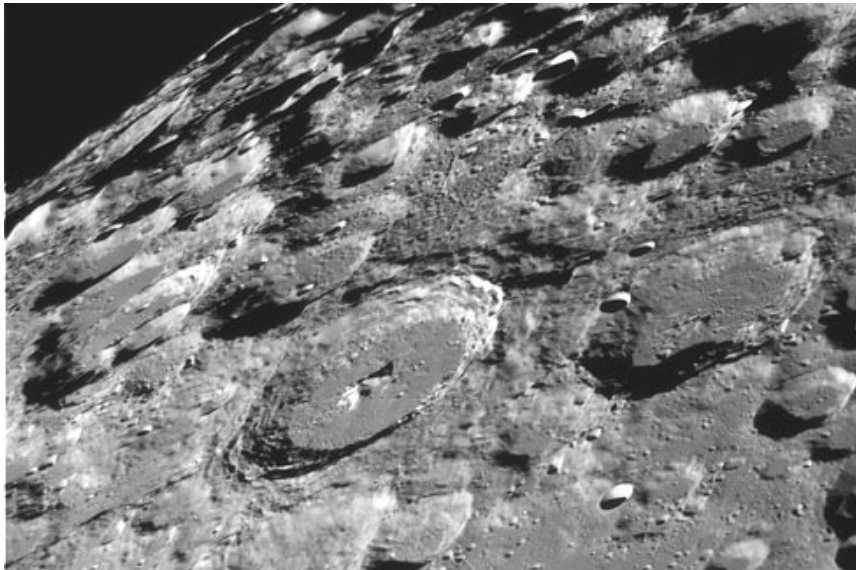
## 2. Formação da Lua e das luas de Marte.

Uma ideia parecida é apresentada para a formação da nossa lua. Mas, neste caso a hipótese é de que a lua foi formada a partir dos detritos liberados pela colisão entre a Terra e um corpo do tamanho de Marte há aproximadamente 4,5 bilhões de anos atrás (Figura 4). Crateras vistas hoje na superfície da Lua são resultado de bilhões de anos de colisões violentas com outros corpos (figura 5).



**Fig. 4** – Esquema da hipótese da formação da lua.

**Fonte:** <http://www.astro.psu.edu/users/niel/astro1/slideshows/class41/slides-41.html>



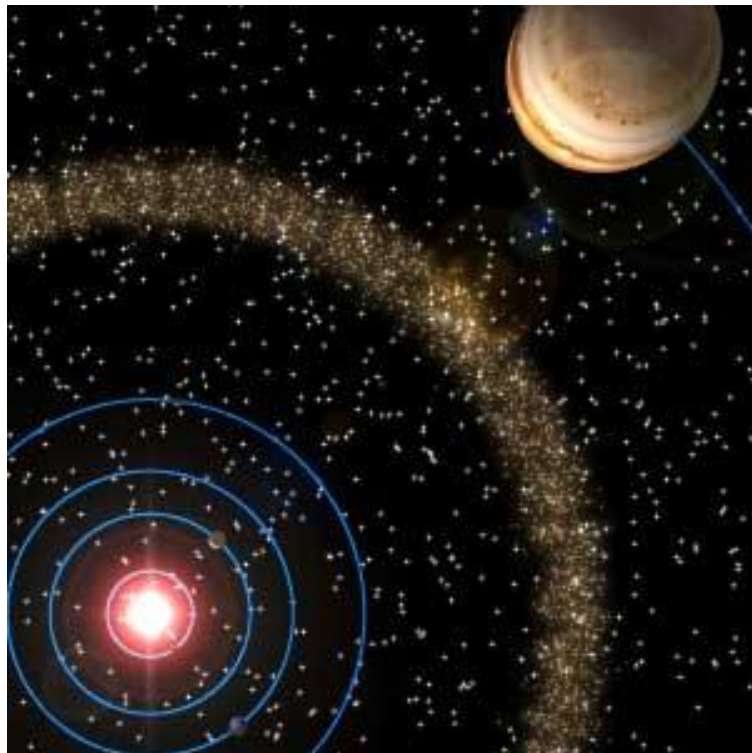
**Fig. 5** – Crateras na Lua. **Fonte:** [www.apolo11.com](http://www.apolo11.com)

Phobos e Deimos (figura 6), são as luas de Marte, a hipótese de formação dessas luas ainda controversa, mas, existe a suposição de que, os dois satélites são asteroides do cinturão existente entre as órbitas de Marte e Júpiter atraídos pela força gravitacional do planeta. Asteroides são corpos rochosos, menores que os planetas, que orbitam o sol. Eles podem escapar do cinturão, uma vez atraídos pela gravidade de algum planeta ou do sol, podendo colidir com esses corpos ou mesmo fazer parte da sua órbita. São encontrados em várias regiões do sistema solar, mas, a maioria se encontra na região conhecida como Cinturão de Asteroides, situadas entre a órbita de Marte e Júpiter (figura 7).

Phobos é o satélite mais próximo do planeta, tem diâmetro equatorial bem maior que o diâmetro polar (26,8 x 22,4 x 18,4 km). Seu período de translação ao redor de Marte é de 7h 40min, sendo o único satélite do sistema solar com período de translação menor do que a rotação do seu planeta. Isso se deve à grande proximidade do centro do planeta (9.400 km). Já, Deimos é o mais afastado (23.500 km do centro). Possui um período de translação de 30h 17min. Suas dimensões (15 x 12,2 x 10,4 km) são cerca de metade das de Phobos.



**Fig. 5:** Deimos e Phobos, respectivamente, Ambos os satélites possuem uma forma bem irregular.  
**Fonte:** [www.rodrigoenok.blog.br](http://www.rodrigoenok.blog.br)



**Fig. 7** – Ilustração do cinturão de asteroides situado entre as órbitas de Marte e Júpiter.  
**Fonte:** <http://www.infoescola.com/sistema-solar/cinturao-de-asteroides/>

## 2. Terra

A Terra se formou há aproximadamente 4,5 bilhões de anos atrás (um terço da idade do universo) por acreção de materiais da nébula solar. É o terceiro planeta do Sistema Solar mais próximos do Sol, o mais denso e o quinto maior dos oito planetas do Sistema Solar. A sua superfície exterior está dividida em vários segmentos rígidos, chamados placas tectônicas, que migram sobre a superfície terrestre ao longo de milhões de anos. É coberto, em mais de 70% de água dos oceanos (figura )

“Terra Primitiva” é o termo usado para definir o planeta Terra no seu primeiro bilhão de anos. Este período envolve a condensação dos planetas do sistema solar a partir da nébula (nuvem molecular gigante) e da acreção de meteoritos, bem como a formação da atmosfera primitiva e da hidrosfera.



**Fig. 8** – Terra. Foto tirada durante a missão Apollo 17  
**Fonte:** <https://pt.wikipedia.org/wiki/Terra#Atmosfera>

### 2.1. Atmosfera da Terra Primitiva

A primeira atmosfera era composta principalmente por hélio (He) e hidrogênio (H). O calor provindo da crosta terrestre ainda em forma de plasma, e o Sol, a dissiparam. De acordo com a hipótese de Oparin a atmosfera primordial foi formada com a emissão de gases como  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , resultantes dos intensos processos vulcânicos, que suspensos na atmosfera por ação gravitacional, aumentavam a concentração suas concentrações com as frequentes erupções (figura 9). Ele acreditava que o ambiente era bastante redutor com inexistência ou baixa concentração de oxigênio. A superfície possuía uma temperatura muito alta para água ou vida da forma como conhecemos.



**Fig. 9** – Ilustração de como seria a atmosfera da Terra primitiva mostrando intensa atividade vulcânica.  
**Fonte:** <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Evolucao/evolucao4.php>

Materiais voláteis, trazidos por certos tipos de meteoros e por cometas, foram também adicionados à Terra pelos impactos, alguns dos quais penetraram no interior. O processo de resfriamento permitiu o aparecimento da água líquida que se acumulou nas depressões da crosta, formando os mares primitivos.

Mas, de acordo com cientistas da NAI's (New York Centre for Astrobiology at Rensselaer Polytechnic Institute) que utilizaram as rochas mais antigas da Terra para reconstruir a atmosfera desde a sua formação, existe uma outra hipótese sobre a constituição da atmosfera da Terra primitiva. A pesquisa, apresentada em um artigo publicado na Nature como título "The oxidation state of Hadean magmas and implications for early Earth's atmosphere", mostrou que a atmosfera terrestre antiga era a mesma do momento de formação do planeta a partir da qual se originou a vida.

A atmosfera após 500 milhões de anos de formação do planeta, não era, como os cientistas pensavam, repleta de metano, mas, com as mesmas condições da nossa atmosfera atual, com compostos ricos em oxigênio. Por algum tempo acreditou-se que a atmosfera da Terra primitiva era altamente reduzida, significando que oxigênio era limitado e que tal condição teria resultado em uma atmosfera nociva com metano, monóxido de carbono, ácido sulfídrico e amônia. Isso tem implicação para o nosso entendimento de como e onde a vida iniciou no nosso planeta e se poderia dar origem em outro lugar do universo. As descobertas reforçam a ideia de que a atmosfera da Terra foi formada por gases eliminados da atividade vulcânica na superfície. Hoje, como na Terra antiga, o magma vindo do interior da Terra e que escorre pela superfície contém gases dissolvidos, que são liberados para a atmosfera. Assim, conhecer a natureza dos gases contidos no magma, que são solidificados, é entender a composição dos gases que são fornecidos para a atmosfera.

## 2.2. Atmosfera Terrestre Atual

A atmosfera terrestre hoje é composta por 78% de nitrogênio ( $N_2$ ), 21% oxigênio ( $O_2$ ), dentre outros gases como Ar (0,9%),  $CO_2$  (0,03%) e vapor d'água (0 – 3%) todos retidos pela força da gravidade. A biosfera terrestre alterou significativamente a atmosfera da Terra desde sua formação. O surgimento da fotossíntese, há 2,7 bilhões de anos, permitiu a formação de uma atmosfera composta primariamente de oxigênio e nitrogênio.

A atmosfera terrestre pode ser dividida nas seguintes camadas: Troposfera – Tropopausa, Estratosfera - Estratopausa, Mesosfera – Mesopausa e Termosfera (Figura 7):

- Troposfera: camada que varia de espessura de acordo com a latitude e o tempo. Pode alcançar uma altitude em torno de 16,5 Km. Nos polos possui 8,5 Km e em latitudes menores alcança aproximadamente 10,5 Km. É a camada que possui importância fundamental, pois é nela que se desenvolvem todos os processos climáticos/meteorológicos que regem a vida no planeta.
- Estratosfera: camada acima da troposfera, rica em ozônio ( $O_3$ ), que absorve os raios ultravioletas impedindo a chegada de um fluxo muito intenso na superfície.
- Mesosfera: camada acima da estratosfera, que devido ao forte decréscimo térmico possui a menor temperatura da atmosfera (em torno de  $-90^{\circ}C$ ).
- Termosfera: nessa camada ocorre novamente acréscimo da temperatura devido à absorção de raios-x incidentes na atmosfera, pelo oxigênio molecular ( $O_2$ ).

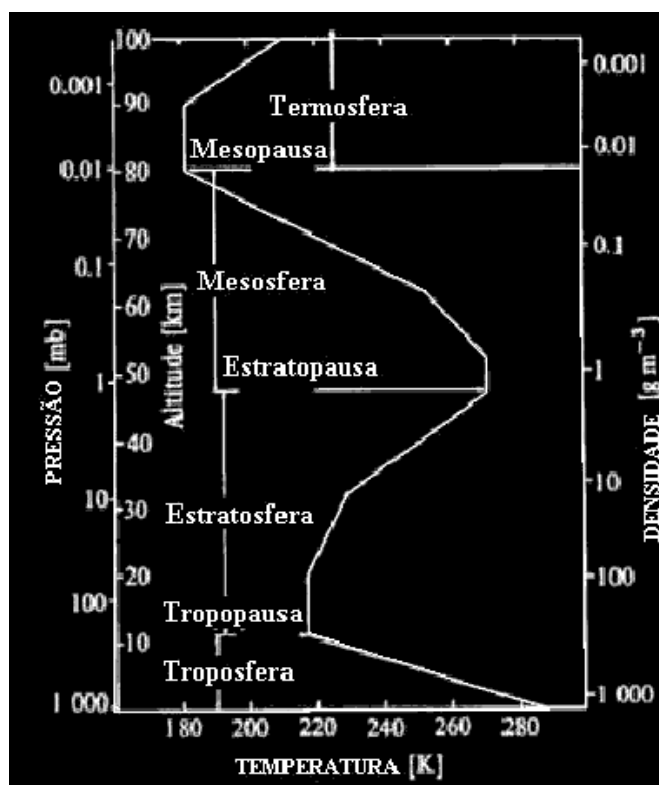


Fig. 7 – Representação esquemática das camadas atmosféricas de acordo com a estratificação térmica.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:AtmospherePhysicsAAL.JPG>



### 3. Marte

O quarto planeta do Sistema Solar, mais próximo do Sol, possui uma cor avermelhada, devido à existência de óxidos de ferro na superfície (figura 8). É um planeta rochoso com uma atmosfera fina, com características de superfície que lembram tanto as crateras de impacto da Lua quanto vulcões, vales, desertos e calotas polares da Terra. O período de rotação e os ciclos sazonais de Marte são também semelhantes aos da Terra, assim como é a inclinação que produz as suas estações do ano.

Marte foi o planeta mais estudado na antiguidade, o que possibilitou Kepler (1571-1630), através das observações de Tycho Brahe (1546-1601) descobrir as leis que regem os movimentos planetários. Desde o século passado os astrônomos observaram a presença de estações de ano nesse planeta, que possui um clima bem parecido com o da Terra. No verão, Marte tem uma temperatura máxima de 20 °C e no inverno pode chegar a -140 °C. Acredita-se que exista água congelada nos polos e abaixo da superfície.



**Fig. 8:** Localização de Marte no Sistema Solar.

**Fonte:** <http://odia-a-historia.blogspot.com.br/2015/03/formacao-e-evolucao-do-sistema-solar.html>

#### 3.1. Atmosfera Primitiva de Marte

Acredita-se que Marte perdeu quase toda a sua atmosfera primitiva, composta por H e He procedentes da nébula solar. Com isso, supõe-se que o planeta possui uma atmosfera secundária, composta por gases liberados pelas numerosas colisões que sofreu durante sua formação, por planetesimais que continham grandes quantidades de gases nobres, água e nitrogênio. Esses gases foram incorporados à superfície e alcançaram a atmosfera. Existe a suposição de que a transição para uma atmosfera pouco densa e fria, na era primitiva de Marte, ocorreu a alguns mecanismos:

1. Impactos de corpos grandes o suficiente para lançar uma porcentagem da atmosfera para o espaço;
2. Erosões graduais causadas pelo vento solar, que podem transportar grande quantidade de gases atmosféricos;

3. Remoção da atmosfera devido o campo eletromagnético e a interação com o vento solar;
4. Baixa gravidade de Marte que permite que a atmosfera escape para o espaço.
5. Dissolução da maior parte de CO<sub>2</sub>. Menos CO<sub>2</sub> significa menos aquecimento o planeta, o que pode contribuir com o resfriamento da atmosfera

A atmosfera pouco densa é uma das razões da inexistência de água líquida na superfície. Como muitas pesquisas apontam para a possibilidade de água em Marte primitivo, cientistas têm aumentado seus estudos na densidade desta atmosfera de bilhões de anos atrás.

Uma teoria de cientistas da Universidade de Harvard supõe que o clima primitivo de Marte tornou-se quente devido o dióxido de enxofre liberado por vulcões antigos, assumindo a função de um gás “efeito estufa”. O resultado seria mares muito mais ácidos do que os da Terra, chuvas ácidas e, bilhões de anos depois, rochas enriquecidas de enxofre, e não de carbono. Esse cenário, de acordo com os cientistas, não diminui a possibilidade de vida. Segundo Halevy, um dos pesquisadores há vários exemplos de vida em condições muito mais radicais na Terra. Isso pode explicar porque veículos robotizados da NASA em Marte encontraram enxofre na superfície e não rochas com carbono, que indicassem a presença do CO<sub>2</sub>, como acontece na Terra.

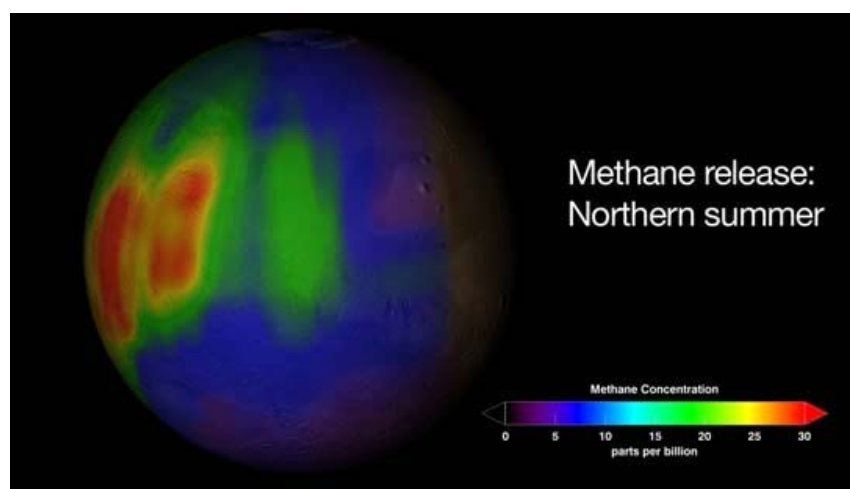
### **3.2. Atmosfera de Marte Atual**

Atualmente Marte apresenta uma atmosfera com 1% da densidade da atmosfera terrestre e é composta principalmente por CO<sub>2</sub> e vapor d’água, com quantidades de oxigênio correspondentes a um milionésimo da quantidade existente na atmosfera terrestre. Sabe-se que há uma interação entre os elementos do solo e da atmosfera. Apesar da baixa densidade e pouca pressão atmosférica (equivalente à pressão atmosférica da Terra a 30 km de altitude) registrou-se em Marte vendavais que cobriam toda a superfície do planeta de poeira, com ventos de até 240 km/h. Estações climáticas semelhantes às terrestres foram observadas. Porém devemos considerar que o ano marciano é quase o dobro do ano terrestre e os dias de Marte são de 24h 36min. Assim, as estações lá tem em média o dobro dos dias das estações terrestres. Pode-se comparar o clima equatorial de Marte com uma montanha muito alta em dia claro e seco na Terra. O calor durante o dia é pouco amenizado pelas nuvens e neblina. E a noite é rápida a irradiação do calor absorvido durante o dia, para o espaço fazendo muito frio. A amplitude térmica do dia para a noite e de uma estação para outra são muito grandes.

O estudo da composição atmosférica de Marte tem sido de grande interesse desde que foi detectada a presença de metano, podendo indicar a presença de vida. Mas, ele também pode ser produzido por processos geológicos, vulcânicos e por atividade hidrotermal. Metano (CH<sub>4</sub>) é o principal componente do gás natural na Terra. Ele é de interesse astrobiológico porque os organismos vivos do nosso planeta produzem metano nos seus processos digestivos, além de ser eliminado no processo de decomposição anaeróbia da matéria orgânica. No entanto, outros processos puramente geológicos como a oxidação do ferro, também produzem metano.

Um estudo publicado na Nature, por um grupo de pesquisadores do Instituto Max Planck em Mainz, Alemanha, em junho de 2012 defende que o metano encontrado em Marte tem origem de irradiações ultravioletas em meteoritos que atingiram o planeta. A experiência foi realizada em um meteorito de 4,6 bilhões de anos que caiu na Terra em 1969, na cidade de Murchison. Ao irradiarem a matéria com luz

ultravioleta em condições ambientais idênticas à de Marte, observaram que grande quantidade de metano saiu do meteorito quase que imediatamente. Dessa forma, chegaram à conclusão de que os compostos orgânicos do meteorito são decompostos pela alta energia da radiação UV e as moléculas de metano são formadas nesse processo. Os autores explicam que esse meteorito contém alta porcentagem de carbono e composição química similar à maioria da matéria meteórica que chega a Marte. Como a produção de metano depende da temperatura, os cientistas analisaram as amostras de meteoritos em temperaturas apropriadas às do planeta que variam de  $-143^{\circ}\text{C}$  nos polos a  $20^{\circ}\text{C}$  no equador. Quanto mais quente, mais metano é liberado pelos fragmentos do meteorito. Esses resultados deveriam derrubar as teorias da origem biológica do metano. Mas, os pesquisadores afirmam não poder excluir completamente a hipótese que defende que microrganismos marcianos produzem metano.



**Fig. 9** – Concentração de metano descoberto em Marte.

**Fonte:** [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/mars/news/marsmethane.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/mars/news/marsmethane.html)

Uma outra hipótese foi proposta por uma equipe de cientistas mexicanos da Universidad Autónoma Metropolitana. Eles concluíram que o metano em Marte é produzido por redemoinhos. Eles simularam em laboratório os redemoinhos do planeta, e perceberam que são produzidos quando uma bolsa de ar quente na superfície atravessa uma camada de ar frio. As simulações mostraram descargas elétricas sobre amostras de gelo em uma atmosfera semelhante à marciana. Essas descargas seriam produzidas pela eletrificação dos redemoinhos e tempestades de poeira, que ionizariam o  $\text{CO}_2$  da atmosfera e as moléculas de água, uma combinação que resultaria em metano.



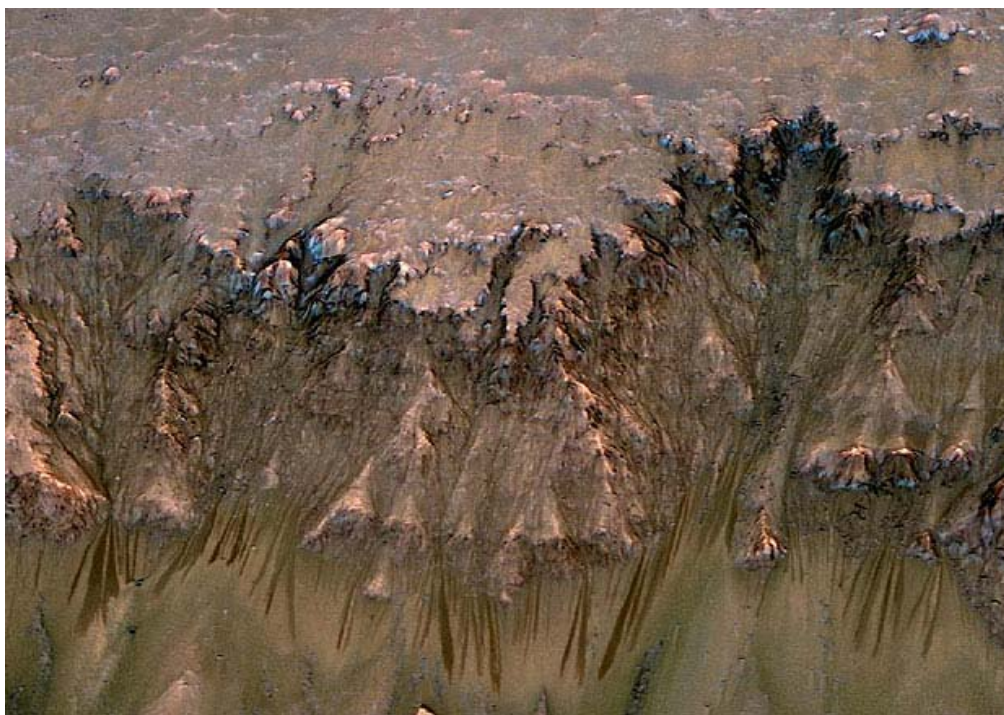
**Fig. 10** – Imagem de redemoinhos em Marte.

**Fonte:** <http://info.abril.com.br/noticias/ciencia/metano-em-marte-pode-ser-produzido-por-redemoinhos-14092012-1.shl>

#### **4. Água em Marte**

Possíveis evidências de água foram encontradas, pela sonda espacial Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), durante períodos de calor. Esses dados foram divulgados pela NASA em agosto de 2011 e um estudo foi publicado na revista Science. As imagens coletadas mostram estruturas escuras e compridas no solo marciano durante a primavera e o verão do planeta (figura 11). No inverno, elas desaparecem e retornam na primavera seguinte. Para o grupo de pesquisadores a melhor explicação para isso é o fluxo de água salgada, que possivelmente venha a formar as estruturas. Se a água for realmente salgada, isso explica o porquê de congelar mais tarde do que o esperado, pois a água pura congelaria na temperatura local, mesmo no verão. A descoberta é o mais perto que os cientistas já chegaram de encontrar água líquida no planeta, pois, água congelada foi detectada perto da superfície em diversos pontos.

As condições de pressão e temperatura sobre a superfície de Marte parecem não suportar a existência de água líquida por grandes períodos. A pressão e temperatura são muito baixas, levando ao imediato congelamento da água e conseqüentemente à sublimação. Por isso, a pequena quantidade de água do planeta encontra-se no estado de vapor na atmosfera. Apesar disso, pesquisas sugerem que no passado a água teria existido no planeta no estado líquido suficiente para fluir sobre a superfície e dar origem a grandes áreas semelhantes aos oceanos terrestres.



**Fig. 11** – Foto da NASA, feita a partir de fotografias de satélite e modelos 3-D mostra as marcas feitas pelo fluxo de água em cratera.

**Fonte:** <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2011/08/sonda-detecta-fluxo-de-agua-em-marte.html>

## 5. Algumas Sondas exploratórias em Marte

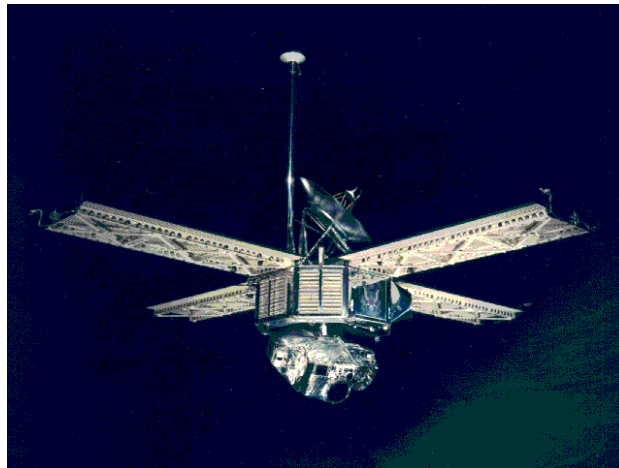
A primeira sonda lançada em direção a Marte foi em 1960, pela Rússia, essa, dentre outras da série foram batizadas de Mars e a primeira, bem como todas as outras da série falharam ao entrar em órbita. Em 1964 os americanos lançaram sua primeira sonda da família Mariner (Mariner Mars Missions), mas, esta falhou ao atingir a órbita terrestre. Na sequência foi lançada pela NASA a sonda Mariner 4 (figura 12) no dia 28 de novembro de 1964, que atingiu a órbita de Marte em 14 de julho de 1965 e obteve as primeiras imagens do planeta.



**Fig. 12** – Imagem da sonda Mariner 4.

**Fonte:** <http://www.ciencia-cultura.com/astro/marte02.html>

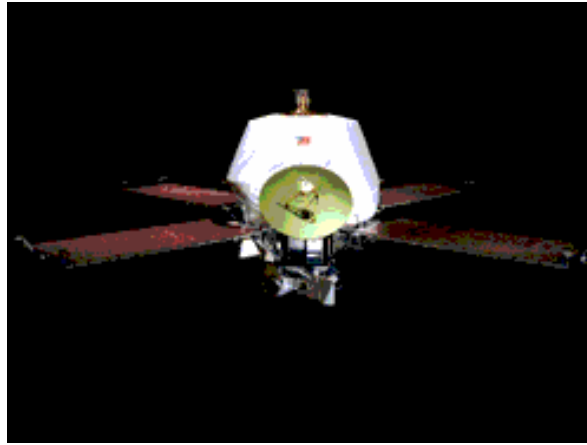
Em 1969 a NASA lançou duas sondas: Mariner 6 e Mariner 7, que obtiveram imagens de alta resolução da região equatorial e do hemisfério sul do planeta. Com essa missão esperou-se uma quantidade suficiente de imagens da superfície de ótima qualidade para providenciar uma visão de Marte que quando combinada com os dados sobre a atmosfera, fossem obtidos dados para pesquisas futuras sobre a vida no planeta. Essa missão foi completada com sucesso. Experimentos atmosféricos indicaram a presença de grãos em suspensão na atmosfera, dióxido de carbono e nuvens de água congelados, monóxido de carbono, hidrogênio ionizado e oxigênio ionizado. Entre as espécies não detectadas estava o ozônio e o nitrogênio, ambos os quais seriam de benefício para a existência da vida similar à da Terra. As temperaturas quentes entre 280-290K na superfície foram detectadas próximas do equador, sendo que as áreas escuras com menor refletância estavam geralmente mais quentes que os desertos mais iluminados com mais alta refletância. Esse experimento também detectou uma ionosfera somente no lado ensolarado do planeta.



**Fig. 13** – Imagem das sondas Mariner 6 e 7.

**Fonte:** <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/mariner.html>

Em 1971 os russos enviam outras duas sondas a Mars 2 e a Mars 3. A primeira danificou-se ao chegar no solo de Marte, já a segunda, Mars 3, enviou pela primeira vez imagens de TV da superfície do planeta. Essa sonda estudou a composição química da atmosfera e registrou uma temperatura máxima de 13 °C e, uma mínima de -97 °C. Ainda em 1971, a NASA lança a Mariner 9 (Figura 14) que ficou em órbita por aproximadamente por dois anos, realizando um mapeamento do planeta. Com isso obtiveram fotos detalhadas dos dois satélites de Marte, Phobos e Deimos. Ela foi designada para providenciar a mais completa vista de Marte, com experimentos similares aos da Mariner 6 e 7. Estrutura atmosférica, composição, densidade e pressão foram analisadas novamente usando técnicas similares daquelas utilizadas nas missões Mariner anteriores.



**Fig. 14** – Imagem das sonda Mariner 9.  
**Fonte:** <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/mariner.html>

No ano de 1975 a sonda americana Viking I foi lançada. Essa sonda continha um orbitador e um aterrisador. Este último teve como função estudar a composição do solo, velocidade dos ventos, temperatura, pressão, composição atmosférica e existência de vida no planeta (figuras 15 e 16).



**Fig. 15** – Imagem da sonda Viking I. **Fonte:** <http://www.ciencia-cultura.com/astrologia/marte02.html>



**Fig. 16** – Imagem da superfície adquirida pela sonda Viking I.  
**Fonte:** <http://www.ciencia-cultura.com/astrologia/marte02.html>

No mesmo ano foi lançada a sonda Viking 2 (Figura 17), cujo o aterrizador descobriu água congelada na superfície, mas, como a Viking 1, não descobriu sinais de vida no planeta.

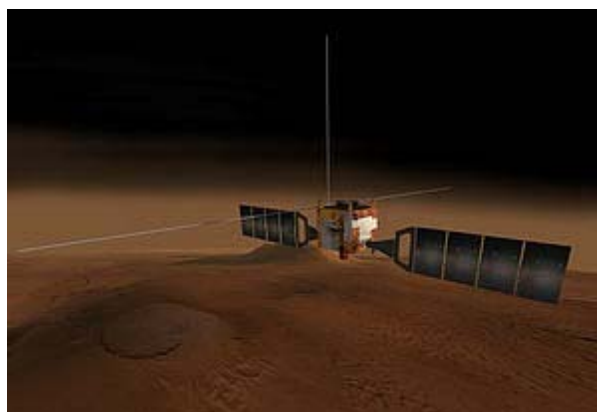


**Fig. 17** – Imagem da sonda Viking 2.

**Fonte:** <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1975-083A>

Em 1997 foi realizada a missão Pathfinder (MPF) com o intuito de investigar a geologia de Marte. Essa missão constituiu-se em 2 segmentos, um Lander e um carrinho Rover chamado Sojourner que pôde deslocar-se para vários locais sobre a superfície de Marte. Parthfinder encontrou dunas de areia, seixos e pedras desgastadas pelo tempo próximo ao local de aterrissagem. Também foi explorado um pouco da meteorologia marciana e fornecido aos cientistas uma grande quantidade de informações sobre a geologia, como a erosão que ocorre na superfície.

Em 2003 é lançada pela Agência Espacial Européia – ESA a sonda Mars Express (Figura 18) com a principal missão de pesquisar água na superfície de Marte. Sete instrumentos a bordo do orbitador devem realizar uma série de pesquisas remotas a fim de estudar a atmosfera, a estrutura, a geologia e a composição de Marte.



**Fig. 18** - Sonda Mars Express.

**Fonte:** [http://pt.wikipedia.org/wiki/Mars\\_Express](http://pt.wikipedia.org/wiki/Mars_Express)

Em junho de 2003, a NASA lança a sonda Spirit, do programa Mars Exploration Rover – A (MER-A), que tinha a missão de explorar as rochas e os solos de Marte a procura de indícios da existência de água (figura 19). Spirit é um veículo de exploração espacial não tripulado, cuja missão era estudar o planeta Marte. Seu maior feito foi descobrir provas geológicas que Marte, atualmente seco e poeirento, foi bem mais tropical, bilhões de anos atrás, O planeta era mais



quente e úmido, condições que sugerem que houve ali um ambiente favorável para vida microbiana. Spirit também, foi a primeira sonda a filmar um redemoinho em solo marciano.



**Fig. 19** – Imagem da Spirit em solo marciano.  
**Fonte:** NASA

No mesmo ano de lançamento da Spirit, no mês seguinte, a NASA lança a Opportunity (MER-B) (figura 20), do mesmo programa. Estudou meteoritos, como Heat Shield Rock, encontrado em Meridiani Planum e permaneceu por dois anos estudando a Cratera Victoria. Após passar por algumas tempestades de poeira chegou à Cratera Endeavour em 2011.



**Fig. 20** – Imagem de Opportunity, está em Marte desde 2004. **Fonte:** NASA

A sonda mais recente a pousar em solo marciano foi a Curiosity. Lançada em 2011, o robô chegou no planeta em agosto de 2012, pode se deslocar até 90 km/h, e tem massa de 899 kg (figura 21), foi enviada com o objetivo de analisar a constituição geológica, verificar a constituição química das rochas e encontrar indícios da existência de vida, estudar o clima; a areologia e coletar dados para o envio de uma futura missão tripulada a Marte.

Desde que está em Marte, Curiosity, já descobriu: Rochas metálicas, afloramentos rochosos, depósitos de minerais, existência de água primitiva, tempestades de poeira, detectou presença constante de níveis baixos de Metano, e também picos de concentração bem mais elevadas, Confirmou a existência de compostos orgânicos (ricos em carbono) em amostras de rochas, Clorobenzeno.



**Fig. 21** – Imagem de Curiosity em solo marciano. **Fonte:** NASA.

## Referências

- TRAIL, Dustin; WATSON, E. Bruce; TAILBY, Nicholas D. 2011. The oxidation state of Hadean magmas and implications for early Earth's atmosphere. *Nature*. Vol. 480.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Formation\\_and\\_evolution\\_of\\_the\\_Solar\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Formation_and_evolution_of_the_Solar_System)  
<http://www.astronomy.com/en/News-Observing/News/2007/11/Early%20Earth%20and%20Mars.aspx>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Moons\\_of\\_Mars](http://en.wikipedia.org/wiki/Moons_of_Mars)  
<http://exame.abril.com.br/ciencia/noticias/video-da-nasa-mostra-evolucao-da-lua>  
<http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/aprendendo-basico/sistema-solar/marte.html>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Early\\_Earth](http://en.wikipedia.org/wiki/Early_Earth)  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Atmosfera\\_terrestre](http://pt.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_terrestre)  
<http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Evolucao/evolucao4.php>  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Rocha\\_%C3%ADgne](http://pt.wikipedia.org/wiki/Rocha_%C3%ADgne)  
<http://astrobiology.nasa.gov/articles/earth-s-early-atmosphere-an-update/>

[http://www.columbia.edu/~vjd1/solar\\_nebula.htm](http://www.columbia.edu/~vjd1/solar_nebula.htm)  
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Terra#Atmosfera>  
<http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/aprendendo-basico/sistema-solar/marte.htm>  
<http://www.iac.es/cosmoeduca/sistemasolar/anexos/atmosfera.ht>  
[http://www.dailygalaxy.com/my\\_weblog/2012/05/mars-ancient-volcanic-eruptions-point-to-an-early-atmosphere-dense-with-water.html](http://www.dailygalaxy.com/my_weblog/2012/05/mars-ancient-volcanic-eruptions-point-to-an-early-atmosphere-dense-with-water.html)  
[http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2007/12/071221\\_marteestufa.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2007/12/071221_marteestufa.shtml)  
<http://info.abril.com.br/noticias/ciencia/metano-em-marte-pode-ser-produzido-por-redemoinhos-14092012-1.shl>  
<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2011/08/sonda-detecta-fluxo-de-agua-em-marte.html>  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81gua\\_em\\_Marte](http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81gua_em_Marte)  
<http://www.ciencia-cultura.com/astronomia/marte02.html>  
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/mariner.html>