

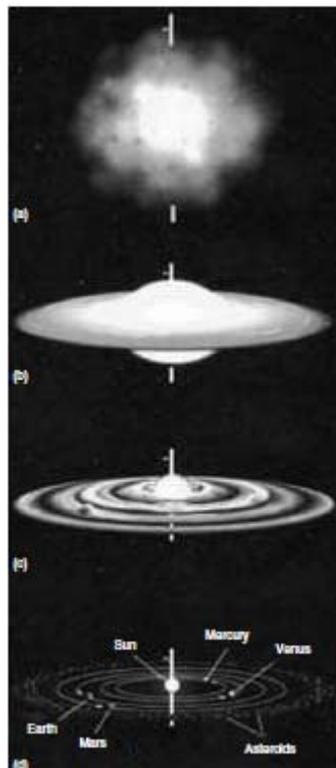
Prof. Dr. Sergio Pilling

Aluno: Antonio de Moraes, Fredson de Araujo Vasconcelos

## Aula 7 - Europa, Titã e outros corpos gelados do Sistema Solar.

### 1. Introdução

Europa, Titã, e outras luas congeladas são corpos que fazem parte do Sistema Solar, que é constituído pelo sol, pelos planetas (e seus satélites), planetas anões (e seus satélites) e por outros corpos menores como cometas e demais corpos não esféricos (Vesta, Ida, etc.).<sup>2</sup> De acordo com a teoria mais aceita hoje em dia, esses corpos tiveram origem a partir de uma nuvem molecular que, por alguma perturbação gravitacional, entrou em colapso e formou a estrela central, enquanto seus remanescentes geraram os demais corpos.

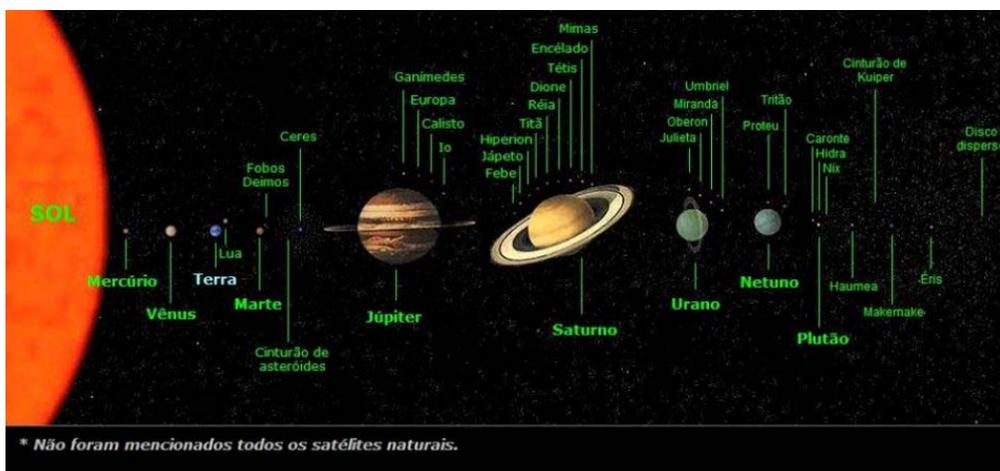


**Figura 1.1** Ilustração da Formação do sistema solar: a) nuvem molecular instável possuindo algum momento angular; b) conservação do momento angular produz a forma de disco durante colapso; c) acreção de matéria forma os planetas; d) o sistema amadurecido de planetas e outros corpos vistos hoje, evoluiu após 4 Myr. Fonte: Shaw (2006).

Muitos corpos do Sistema Solar possuem força gravitacional suficiente para manter orbitando em torno de si objetos menores, os satélites naturais, com as mais variadas formas e dimensões. De todas as luas conhecidas, apenas três estão na região interna. Marte tem duas e a Terra tem uma. Mercúrio e Vênus são os únicos planetas sem luas.<sup>2</sup> Os chamados planetas gasosos (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno), além

de possuírem o maior número de luas conhecidas, apresentam, ainda, sistemas de anéis planetários, uma faixa composta por minúsculas partículas de gelo e poeira.

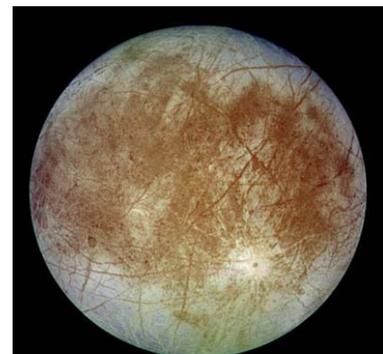
Nesta aula discutiremos propriedades físico-químicas básicas de corpos congelados do Sistema Solar, como Europa (lua do planeta Júpiter), Titã (lua do planeta Saturno), e outros mundos congelados como Tritão (lua do planeta Netuno), Plutão e Caronte e outros planetas anões, cometas, asteroides, etc., com características interessantes ao campo da Astrobiologia.



**Figura 1.2.** Figura ilustrativa da posição de alguns dos principais corpos do sistema solar. **Fonte:** <http://brazilastronomy.com/universo/sistema-solar/planetas-anoes/>.

## 2 Europa (lua de Júpiter)

Europa é uma das maiores luas de Júpiter, e se acredita ser um dos poucos corpos do Sistema Solar, além da Terra, a possuir água líquida. Acredita-se que apresenta uma fina atmosfera contendo oxigênio (detectado pelo Hubble Space Telescope); rachaduras em sua superfície, provavelmente causadas por um líquido mais quente vindo de regiões abaixo da superfície; densidade inferior à do planeta Terra, o que indica que seu interior não é inteiramente constituído de matéria sólida; presença de poucas crateras de impacto de meteoritos, indicando a presença de atividade geológica de alguma espécie.

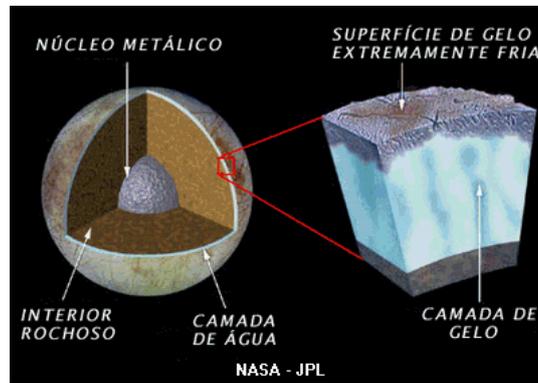


**Figura 2.1.** Vista de Europa, um dos satélites galileanos de Júpiter. **Fonte:** NASA.

### 2.1 Estrutura interior e Superfície

Europa é algo semelhante em composição aos planetas telúricos, sendo principalmente composto de rochas de silicatos. O raio de Europa é de 1565 km, um pouco menor que o raio da nossa Lua. O núcleo é metálico composto por ferro e níquel (núcleo igual ao da Terra), rodeado por uma concha de rocha, que por sua vez é rodeado por uma camada externa de água que se pensa ter 100 km de profundidade (alguma dessa água está gelada na camada superficial da crosta, e alguma como um oceano de água líquida por debaixo do gelo) <sup>6</sup>.

Dados mostram que Europa gera um pequeno campo magnético e através da interação com o de Júpiter este varia periodicamente assim que atravessa o campo magnético massivo de Júpiter. O campo magnético de Europa tem cerca de um quarto da força do campo de Ganimedes e é semelhante ao de Calisto <sup>6</sup>.



**Figura 2.2.** Ilustração da estrutura geológica de Europa. O núcleo de Europa deverá ser metálico, rodeado por rocha e esta rocha rodeada por água líquida sob uma capa de gelo. Fonte: NASA.

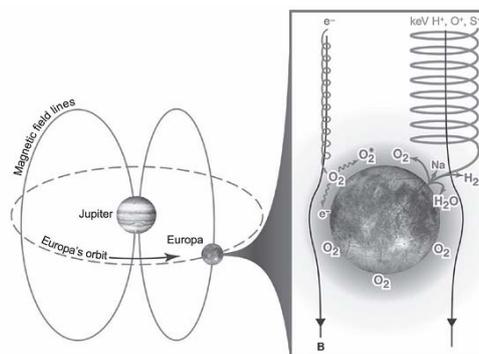
A superfície de Europa há dois tipos de terreno em evidência. O primeiro é manchado de marrom-avermelhado, e repleto de pequenas colinas. Acredita-se que os cumes nessa região sejam reminiscências de atividade crio-vulcânicas, onde líquido parcialmente congelado entrou em erupção em direção a superfície do planeta, e foi instantaneamente congelado.

O segundo tipo de terreno é constituído por planícies lisas, atravessadas por um grande número de rachaduras, curvadas e retas, algumas se estendendo por milhares de quilômetros. Dessas características, e do fato de que Europa é aquecida internamente por forças de maré, se supõe que haja um oceano líquido abaixo da superfície do corpo (Darling, 2010).

A falta de grandes crateras sugere que provavelmente há líquido subterrâneo irrompendo em direção à superfície, congelando em seguida, processo provavelmente cíclico. Nas rachaduras entre as placas de gelo a água líquida pode estar exposta o suficiente a radiação solar permitindo que micro-organismos fotossintéticos existentes se proliferem.

## 2.2 Atmosfera de Europa

Observações recentes feitas pelo Telescópio Espacial Hubble revelam que Europa tem uma atmosfera tênue (1 micropascal de pressão atmosférica à superfície) composta de oxigênio. Ao contrário do oxigênio da atmosfera terrestre, o oxigênio em Europa não deve ter origem biológica. É provavelmente gerado pela luz do sol e partículas carregadas que atingem a superfície gelada produzindo vapor de água que subsequentemente se divide em hidrogênio e oxigênio. O hidrogênio escapa à gravidade de Europa por causa da sua massa atômica muito pequena, deixando para trás o oxigênio para formar uma atmosfera que pode se estender 200 km acima da superfície. A atmosfera tênue de Europa, que, ao contrário de Titan, Io, ou Callisto, é apenas provocado por colisão. Visto que a atmosfera é resultado dessas colisões, é muitas vezes referida como uma exosfera.



**Figura 2.3.** Campo magnético intrínseco de Europa, e colisões de íons (NASA).

Neutros que escapam da gravidade da Europa na sua maioria permanecem gravitacionalmente ligadas a Júpiter em uma nuvem em forma toroidal. Uma vez que a perda de H<sub>2</sub> acompanha a formação de O<sub>2</sub> e de ejeção de gelo (Johnson e Quickenden, 1997) e escapa mais prontamente do que as espécies mais pesadas, H<sub>2</sub> é a principal espécie no toro neutro de Europa. Há cerca de três vezes mais moléculas e átomos neste toro que no toro neutro de Io (Smyth e Marconi, 2006). Como o lento vazamento de gás oxigênio para o espaço é contínuo, essa atmosfera deve ser continuamente alimentada, o que sugere que haja realmente água no interior da lua (Darling, 2010).

### 2.3 Possibilidade de vida em Europa

Europa é considerada um dos mundos mais biologicamente interessantes no Sistema Solar. Existem várias razões para isso, entre eles: 1) a provável presença de um oceano líquido abaixo da superfície, que poderia fornecer um meio e um solvente para a vida; 2) a intensa radiação da magnetosfera de Júpiter atingindo o gelo da superfície de Europa, liberando oxigênio, combustível para a vida, e 3) a possível presença de fumarolas (saídas de vulcões submarinos), que poderiam fornecer energia e nutrientes para os organismos.

Alguns Cientistas anunciaram a descoberta de jactos de vapor de água na região do polo sul de Europa.<sup>7</sup> Usando o telescópio espacial Hubble, a equipa liderada por Lorenz Roth do Southwest Research Institute, em San Antonio, nos EUA, observou as emissões ultravioletas do vapor de água pairando acima do hemisfério sul da lua de Júpiter, providenciando assim as primeiras evidências diretas da presença de gêiseres na superfície europeana.



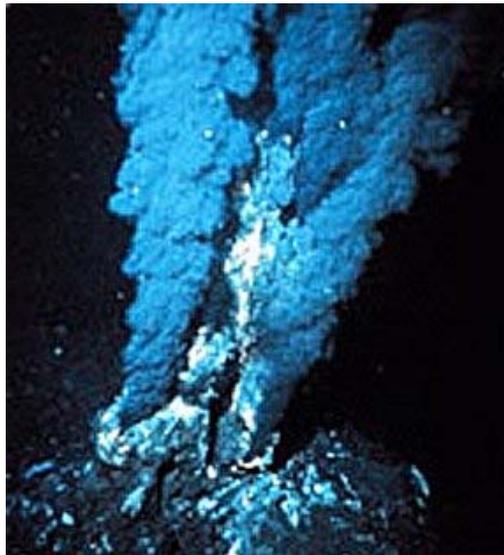
**Figura 2.4.** Sobreposição na mesma escala de uma imagem em ultravioleta dos jactos de vapor de água europeanos sobre uma imagem real em luz visível de Europa e Júpiter. Crédito: NASA/ESA/M. Kornmesser<sup>7</sup>.

Observações realizadas pelas missões Voyager e Galileo tinham já sugerido a presença de um oceano líquido global debaixo da crosta gelada de Europa, o que tornou a lua joviana num dos principais alvos na busca por mundos potencialmente habitáveis além da Terra.” A descoberta de que vapor de água é ejectado nas proximidades do pólo sul fortalece a posição de Europa como candidato de topo para uma potencial habitabilidade”, afirma Roth. “No entanto, não sabemos ainda se estes jactos estão ou não ligados à água subsuperficial”<sup>7</sup>.



**Figura 2.5.** Esquerda) Um mapa do pólo sul da Europa, onde os gêiseres são pensados para estar em erupção. Direita) concepção artista dos gêiseres. Crédito: NASA / JPL-Caltech / Seti.

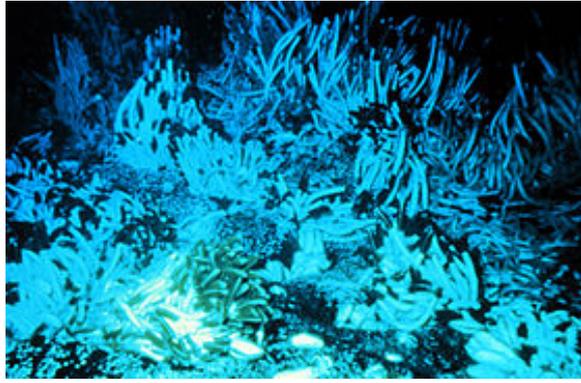
Na Terra, uma profusão de formas de vida foi encontrada em grandes profundidades oceânicas, prosperando na ausência de luz e oxigênio, obtendo nutrientes químicos que jorram através de fontes hidrotermais (Figura 2.5).



**Figura 2.6** Exemplo de fonte termal localizada no fundo do oceano. Fonte: [http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Sect19/hydrothermal\\_vent.jpg](http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Sect19/hydrothermal_vent.jpg).

Nessa profundezas do oceano terrestre há um verme que possui em seu organismo um tipo de bactéria que converte hidrogênio-sulfeto, liberado nestas fontes, em energia. Estes vermes servem de alimento para um vasto ecossistema totalmente independente de luz e calor solar.<sup>8</sup> A vida em Europa, se existir, pode ter surgido, ou estar se mantendo, de maneira análoga a esta.

Os chamados respiradouros hidrotermais no Atlântico e Pacífico têm o seu próprio ecossistema que suporta organismos como vermes-tubo gigantes, caranguejos brancos cegos, e muitos camarões. Estes animais vivem destas fontes hidrotermais superaquecidas e sulfurosas e não necessitam do sol. A ideia de algo assim em Europa tem sido discutido pelos cientistas, e esta lua é capaz de ter um ecossistema semelhante onde vida extraterrestre pode existir<sup>6</sup>.



**Figura 2.7.** Vermes-tubo gigantes vivendo num respiradouro hidrotermal no fundo dos mares da Terra. Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Europa\\_%28sat%C3%A9lite%29](http://pt.wikipedia.org/wiki/Europa_%28sat%C3%A9lite%29).

Estudar química de Europa é importante para compreender a sua habitabilidade, porque as coisas vivas extraem energia a partir de seus ambientes por meio de reações químicas. Interações entre os materiais da superfície de Europa e aqueles em um ambiente de oceano sob o gelo poderia produzir elementos essenciais para a vida, como carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre<sup>10</sup>.

A superfície de Europa é principalmente gelo água ( $H_2O$ ), mas a superfície é bombardeada por radiação intensa vinda de Júpiter, que pode alterar a química do gelo. Através deste processo, o hidrogênio e oxigênio a partir da água de gelo pode ser combinado com outros materiais na superfície para criar uma série de moléculas, como o oxigênio livre ( $O_2$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e dióxido de enxofre ( $SO_2$ ). Se estes compostos estão encontrando seu caminho em um oceano, como parte de um ciclo contínuo, eles poderiam ser usados para alimentar as reações de que coisas vivas dependem. Enquanto isso, o ciclo da água do oceano através de minerais no fundo do mar iria repor a água com outras substâncias químicas que são cruciais para a vida<sup>10</sup>.

### 3. Titã (lua de Saturno)

Titã é a maior lua do planeta Saturno e a segunda maior lua do sistema solar. É a única lua do sistema solar com nuvens e uma atmosfera densa. Os cientistas acreditam que as condições em Titã são semelhantes aos primeiros anos da Terra (a principal diferença é que, porque é mais perto do Sol, a Terra sempre foi mais quente). De acordo com a NASA, "Em muitos aspectos, a maior lua de Saturno, Titã, é um dos mundos mais semelhantes à Terra que temos encontrado até o momento"<sup>8</sup>. Mesmo sendo uma lua, Titã é maior do que Mercúrio.



**Figura 3.1.** Esta imagem mostra um close-up em direção à região polar sul da maior lua de Saturno, Titã. A sonda Cassini da NASA tirou a imagem em 11 de setembro de 2011 e foi lançado em 22 de dezembro. Crédito: // Space Science Institute JPL-Caltech NASA<sup>8</sup>.

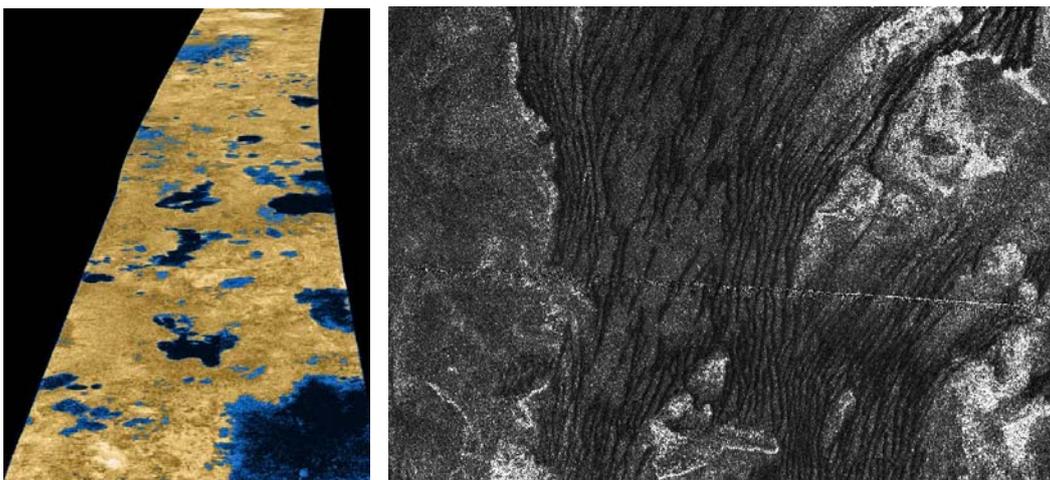
### 3.1. A superfície de Titã

A superfície de Titã ainda não é totalmente conhecida. Sabe-se que ela não é homogênea em sua composição, mas não se tem certeza sobre ela ser composta por terra, oceanos de hidrocarbonetos, ou lama (Titan: Behind the Orange Haze, Nasa). A temperatura na superfície do planeta é aproximadamente 94K, o que é muito frio para existência de água líquida.

Há a muito tempo, a teoria de que poderia haver lagos de metano e etano líquidos em sua superfície. Quando a nave espacial Voyager encontrou Titan em 1980 e 1981, eles foram incapazes de ver sob espessa camada da lua de nuvens. A sonda Cassini da NASA chegou a Saturno em 2005, armado com radar. Os instrumentos de radar foram capazes de ver através das nuvens e mapear a superfície da lua.

As imagens de radar tomadas em 2006 provou a existência de lagos líquidos em Titã. Estes são os primeiros lagos líquidos visto em qualquer lugar do Sistema Solar, além da Terra. O maior desses lagos recém-descobertos é maior do que os Grandes Lagos na Terra. Além dos lagos, foram observados os canais que se assemelham rios. Isso proporcionou uma forte evidência de chuva líquido. Os cientistas acreditam que a chuva composta por metano e etano líquidos cai regularmente em toda a superfície de Titã. Na verdade, o tempo em Titã pode ser muito semelhante ao tempo padrões na Terra<sup>9</sup>. Para que a água líquida exista em Titã, teria que ser isolada termicamente, ficando situada debaixo de uma camada de gelo, por exemplo. A figura 10 abaixo mostra uma imagem de radar em cor falsa do que se supõe serem lagos na superfície de Titã.

Vastas regiões de dunas altas esticam toda a paisagem - dunas cuja "areia" é composta por grãos de hidrocarbonetos escuros. A areia em Titã, provavelmente, não é feita de pequenos grãos de silicatos, como a areia na Terra, mas pode ter se formado por sólidos orgânicos produzidos por reações fotoquímicas na atmosfera de Titã e precipitados para fora da atmosfera<sup>11</sup>.

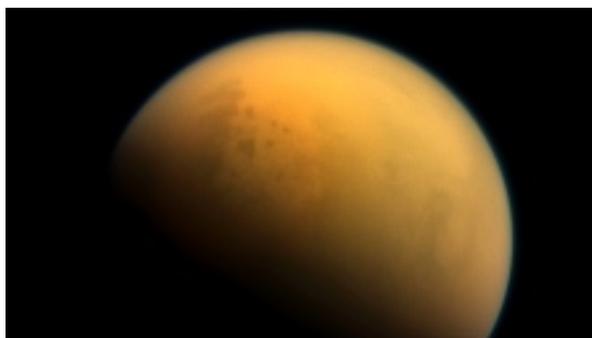


**Figura 3.2.** Direita) Imagem de radar tirada pela Cassini do pólo norte de Titã, 22 de julho de 2006. Supõe que sejam lagos de metano líquido. Fonte: NASA / JPL / USGS. Esquerda) Imagem de possíveis dunas em Titã. Fonte: NASA.

### 3.2. A atmosfera de Titã

Titã tem uma densa atmosfera composta principalmente de nitrogênio ( $N_2$ ) e metano ( $CH_4$ ), com traços de argônio e hidrocarbonetos. Os compostos orgânicos são formados conforme o metano é "quebrado" pela luz solar. O resultado é assinatura laranja de sua atmosfera - muito semelhante à poluição atmosférica na Terra, apenas mais espessa.

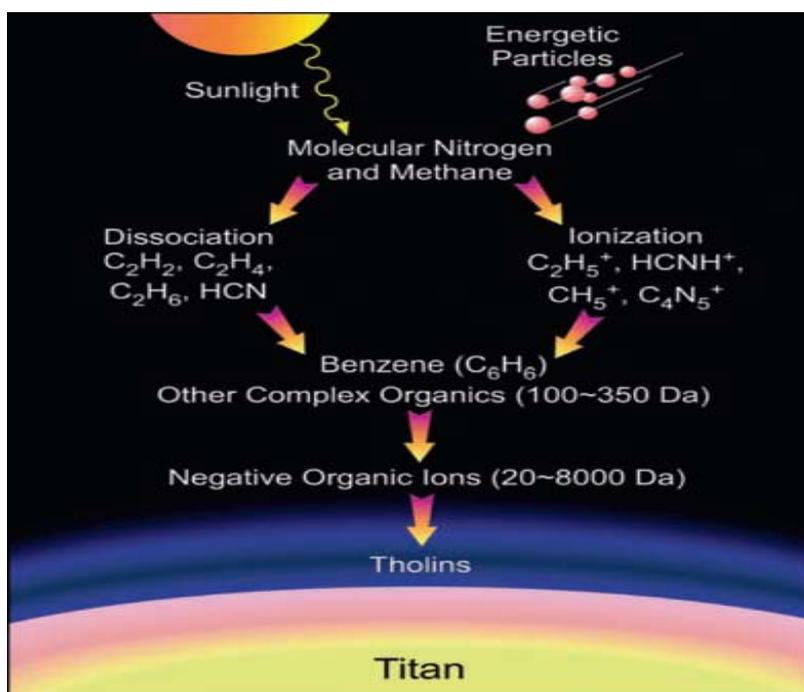
A pressão atmosférica de Titã na superfície é 50% maior do que na Terra. Devido a presença uma nevoa espessa e aerossóis na atmosfera, a superfície de Titã é pouco iluminada pela radiação solar. Como resultado disso, quando a sonda Voyager 1 passou por ela em Novembro de 1980, e tentou obter imagens, tudo o que se pôde observar eram nuvens espessas e uma neblina alaranjada.



**Figura 3.3.** Imagem mostrando o aspecto de cor laranja da atmosfera de Titã devida a uma espessa neblina.

Cientistas do Nasa Astrobiology Institute (NAI) concluíram, a partir de dados da sonda Cassini, que o metano na atmosfera de Titã é uma espécie química que foi acrescentada a lua durante a sua formação. Além disso, a análise dessa mesma equipe sugere que o outro componente importante da atmosfera de Titã, o nitrogênio molecular, poderia ter vindo de dentro do núcleo do planeta (The Origin of Titan's Methane, <http://astrobiology.nasa.gov/articles/the-origin-of-titan-s-methane>).

Titã, a maior lua de Saturno, tem uma atmosfera quimicamente rica, resultado do processamento química provocado pela radiação vinda do sol e de partículas altamente energéticas da magnetosfera de Saturno. Fontes exógenas e endógenas de energia iniciam reações químicas (fotólise, radiólise) na atmosfera, produzindo hidrocarbonetos gasosos e nitrilas que através de vários processos de polimerização<sup>10</sup> produzem partículas de aerossóis sólidos que crescem por uma variedade de mecanismos e caem na superfície (Cable et al. 2012). O diagrama esquemático da Figura 12 ilustra o processamento químico na atmosfera da maior lua de Saturno.



**Figura 3.4.** Diagrama esquemático do processamento químico da atmosfera de Titã ( Waite et al. 2007).

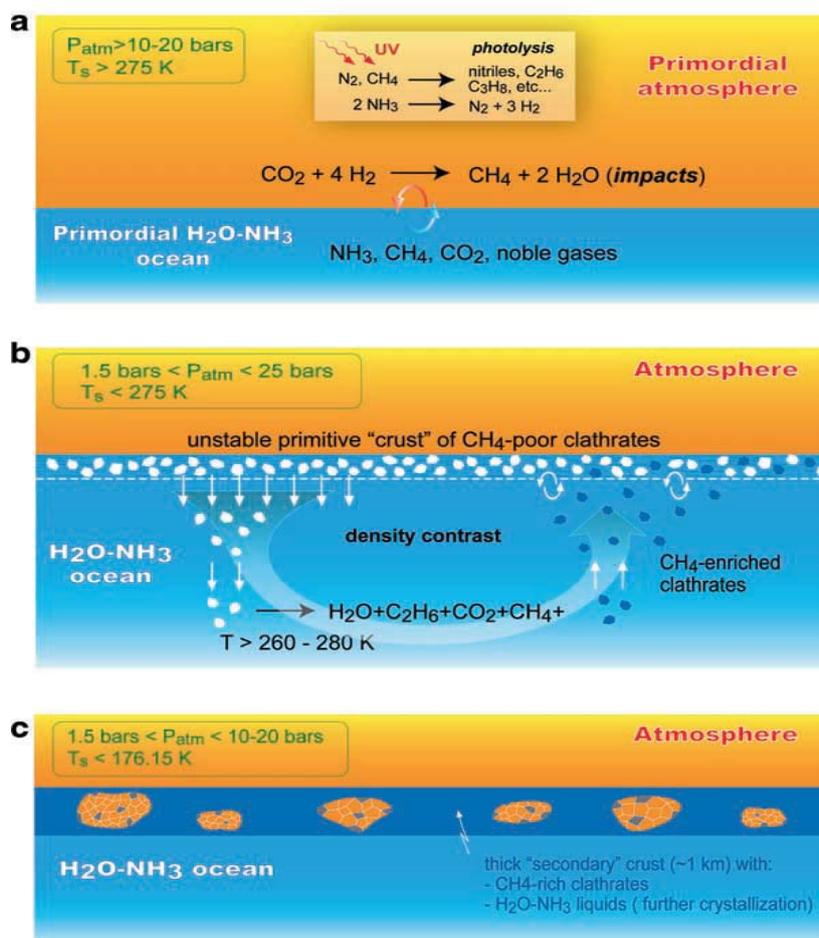
De acordo com dados recentes da Cassini Composite Infrared Spectrometer (CIRS) e outras observações, a atmosfera de Titã é composta de  $N_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ ,  $CO$ , com traços de etano, acetileno, propano, etileno, cianeto de hidrogênio, cianoacetileno, dióxido de carbono e vapor de água. A Tabela 1 mostra composição da Atmosfera de Titã.

**Tabela 1.** Composição da Atmosfera de Titã. Fonte: Cable et al. 2012.

gas <sup>a</sup>	fraction (%)
N <sub>2</sub>	94–98
CH <sub>4</sub>	1.8–6.0
H <sub>2</sub>	0.1–0.2
CO	0.005
<sup>40</sup> Ar	0.005

<sup>a</sup>Trace components: C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, <sup>36</sup>Ar, HCN, CH<sub>3</sub>CN, CO<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>C<sub>2</sub>H, C<sub>4</sub>H<sub>2</sub>, HC<sub>3</sub>N, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> and H<sub>2</sub>O vapor.

Sabe-se que a fotoquímica na estratosfera, através de reações químicas induzidas pela luz, consegue remover o metano que se encontra na atmosfera de Titã numa escala de tempo de algumas dezenas de milhões de anos.<sup>11</sup> Como o metano permanece na atmosfera de Titã até hoje, em quantidade significativa, é porque existe uma fonte de metano que reabastece a atmosfera. Uma possível explicação para o metano presente na atmosfera de Titã é a libertação episódica de metano guardado em hidratos de gás, chamados clatratos, numa camada de gelo acima de um oceano de água enriquecida em amônia. A Figura 3.5 esquematicamente descreve a evolução acoplada da atmosfera primordial e do oceano de Titã, incluindo as reações que poderiam ter levado à formação dos clatratos de Metano.



**Figura 3.5.** As interações entre o oceano e a atmosfera primordial de Titã, com a formação de camadas de clatratos ricos em metano acima de um oceano de água líquida misturada com amônia. Fonte: Brown 2009.

### 3.3. Titã: um laboratório Prebiótico

A atmosfera de Titã é quimicamente ativa, e é conhecida por ser rica em compostos orgânicos; isso levou a especulações sobre se precursores químicos da vida podem ter sido gerados lá.

Os instrumentos da sonda Cassini da Nasa confirmaram, em dezembro de 2008, que a estrutura de 235 km de comprimento, localizada no pólo Sul de Titã, era realmente um lago. O espectrômetro infravermelho utilizado (VIMS) detectou a presença de etano, um hidrocarboneto simples. O etano se encontra na forma líquida em solução com metano, nitrogênio e outros hidrocarbonetos de baixo peso molecular<sup>12</sup>.

Acredita-se que parte do etano é produzida pelo processamento de moléculas de metano pela radiação solar. Como as reações químicas da vida estão intrinsecamente ligadas à algum tipo de líquido (no caso da vida como a conhecemos, este líquido é a água), e como as substâncias líquidas que se conhecem em Titã são o metano e o etano, Bains (Astrobiology Magazine, 2010), afirma que, caso exista alguma forma de vida em Titã, ela teria que ter seu "sangue" baseado em metano líquido, e não água. Isso significa que toda a sua química é radicalmente diferente. "As moléculas devem ser feitas de uma ampla variedade de elementos que nós também usamos, mas colocados juntos em moléculas menores. Isso implica que essa química seria muito mais reativa" cita Bains.

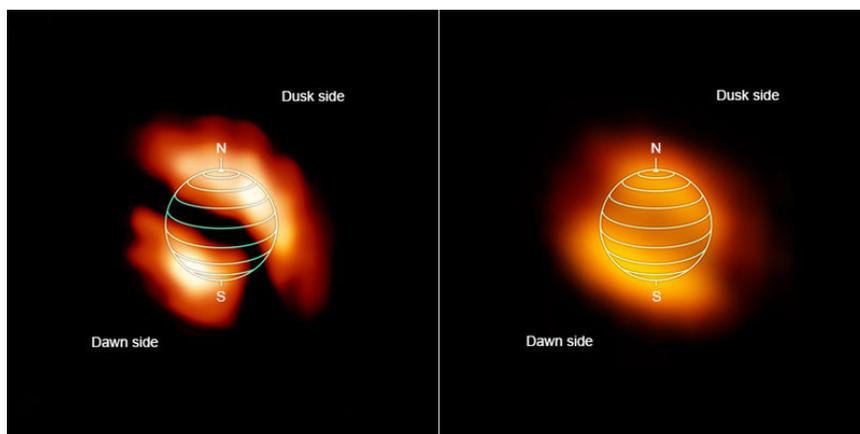
A solubilidade de substâncias químicas em metano líquido é muito limitada, e extremamente dependente do peso molecular. Com raras exceções, moléculas com mais de seis átomos pesados são essencialmente insolúveis. Então, um metabolismo funcionando com metano líquido teria que ser construído de moléculas menores do que a bioquímica terrestre, que é tipicamente feita com moléculas de aproximadamente dez átomos pesados (Astrobiology Magazine, 2010). Isso implica que a vida em Titã seria muito diferente da vida aqui na terra, principalmente devido à essa baixa abundância molecular.

A questão da energia é outro fator que afetaria o tipo de vida que poderia se desenvolver em Titã. Sendo a intensidade da radiação solar em Titã equivalente a  $10^{-3}$  da intensidade da luz na superfície da Terra, a energia tende a ser escassa lá. Então, apenas organismos de crescimento lento (como líquens, por exemplo) seriam teoricamente possíveis em Titã. Porém, o mais seria a baixa temperatura, que é por volta de 100 K. Na Terra, por exemplo, as mais baixas temperaturas que mantêm vida giram em torno dos 200 K.

O experimento de Miller-Urey e várias experiências seguintes demonstraram que, com uma atmosfera semelhante à de Titã e a adição de radiação UV, moléculas complexas e substâncias poliméricas como tolinas podem ser geradas. A reação começa com dissociação de nitrogênio e metano, formando o cianeto de hidrogênio e acetileno. As reações têm sido estudadas extensivamente<sup>13</sup>.

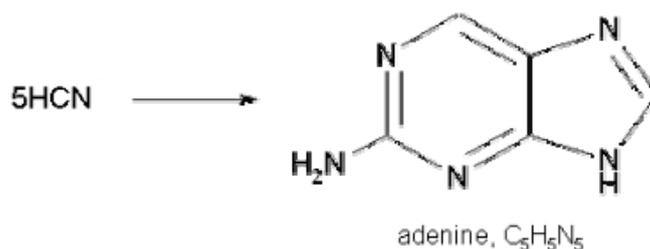
Um par de manchas foi descoberto por uma equipe internacional de pesquisadores liderada pela NASA que investigam a composição química da atmosfera de Titã. Neste estudo, os pesquisadores se concentraram em duas moléculas orgânicas, HNC e HC<sub>3</sub>N, que são formados na atmosfera de Titã. Em altitudes mais baixas, a HC<sub>3</sub>N aparece concentrada acima polos norte e sul de Titã. Estes resultados são consistentes com as observações feitas pela sonda Cassini da NASA, que encontrou nuvem e altas concentrações de alguns gases<sup>14</sup>.

O mapeamento vem de observações feitas pelo Atacama Large Millimeter / submillimeter Array (ALMA), uma rede de antenas de alta precisão localizada no Chile. Em comprimentos de onda usados por essas antenas, as áreas ricas em gás na atmosfera de Titã brilhava intensamente. E por causa da sensibilidade do ALMA, os pesquisadores foram capazes de obter mapas espaciais de produtos químicos na atmosfera de Titã a partir de uma observação "snapshot", que durou menos de três minutos. Grandes manchas de dois gases brilham perto do polo norte, no lado do crepúsculo do lua, e perto do polo sul, no amanhecer. Cores mais brilhantes indicam sinais mais fortes dos dois gases, HNC (esquerda) e HC<sub>3</sub>N (direita); tons vermelhos indicam sinais menos pronunciadas<sup>14</sup>.



**Figura 3.6.** Grandes manchas de dois gases (HNC e HC<sub>3</sub>N) brilham perto do polo norte, no lado do crepúsculo vespertino, e perto do polo sul, ao amanhecer. Cores mais brilhantes indicam sinais mais fortes dos dois gases, HNC (esquerda) e HC<sub>3</sub>N (direita); tons vermelhos indicam sinais menos pronunciados. Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Titan-SaturnMoon-Maps-TraceGases-20141022.jpg>.

Polímero HCN é um sólido de cor escura e acredita-se ter desempenhado um papel importante no surgimento da vida na Terra 4 bilhões de anos atrás. HCN desempenha um papel crucial na síntese orgânica primitiva, pois é um bloco de construção de elementos básicos da vida tais como aminoácidos e purinas (partes de ácidos nucleicos como DNA, mais especificamente, adenina e guanina)<sup>15</sup>.

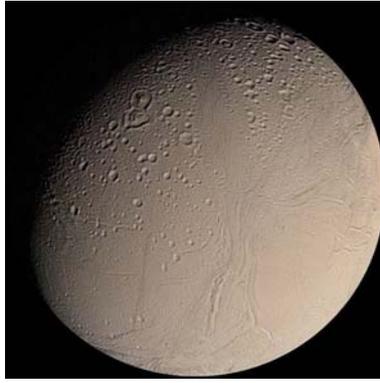


**Figura 3.7.** Reação de HCN para formar adenina, um dos principais constituintes do DNA e RNA. Fonte: <http://sst-web.tees.ac.uk/external/u0000892/Cyanide/Cyanide2.htm>.

A existência de vida em Titã ainda não pode ser provada, apesar de quase todos os elementos necessários para a vida - energia, hidrocarbonetos, atmosfera rica em compostos e água - estão presentes lá. Por causa de sua distância do sol, Titã recebe apenas um por cento da luz solar da Terra. Isso resulta em uma temperatura de superfície de cerca de 90 graus Kelvin (menos 180° Celsius). A essa temperatura gelada, a água está congelada tão duro como granito. Sem água líquida, os hidrocarbonetos na atmosfera de Titã não pode se desenvolver em aminoácidos<sup>15</sup>.

#### 4. Enceladus (lua de Saturno)

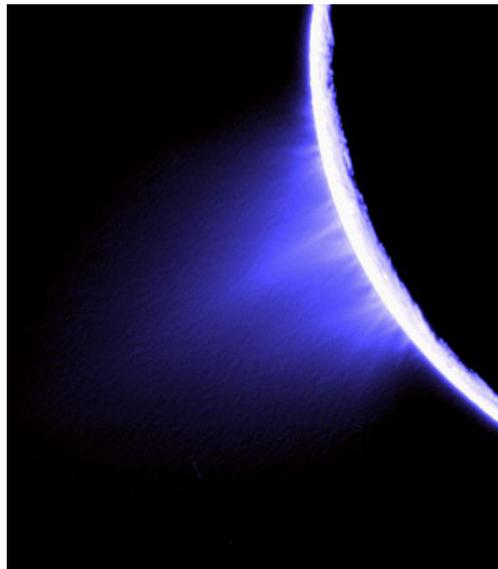
Encéladus, uma das luas de Saturno, é de apenas 500 km de diâmetro, mas apesar de seu pequeno tamanho, é um dos organismos mais interessantes, cientificamente, em nosso sistema solar. Enceladus reflete quase 100 por cento da luz solar que atinge.



**Figura 4.1.** Imagem de Enceladus. Fonte: NASA.

Estudos feitos com recurso das imagens obtidas pela sonda Voyager 2 mostraram que Enceladus possui pelo menos cinco tipos diferentes de terreno, incluindo várias regiões de terreno crivado, terreno plano recente e faixas de terreno acidentado. Foram ainda observadas fissuras lineares de dimensão considerável. Dada a relativa falta de crateras nas planícies, estas regiões têm, provavelmente, menos de 100 milhões de anos. Desta forma, Enceladus deve ter tido atividade recentemente com "vulcanismo de água" ou outros processos que renovam a superfície. O gelo novo e limpo que domina a sua superfície torna Enceladus o corpo celeste do sistema solar com maior albedo (0,99).

Imagens de alta resolução da Cassini mostram jatos gelados e plumas em torre ejetando grandes quantidades de partículas a alta velocidade. Estes jatos provêm de bolsas de água (acima de 0 graus centígrados) próximas à superfície. Assim, Enceladus foi adicionado à lista de mundos com uma forma de vulcanismo ativo.



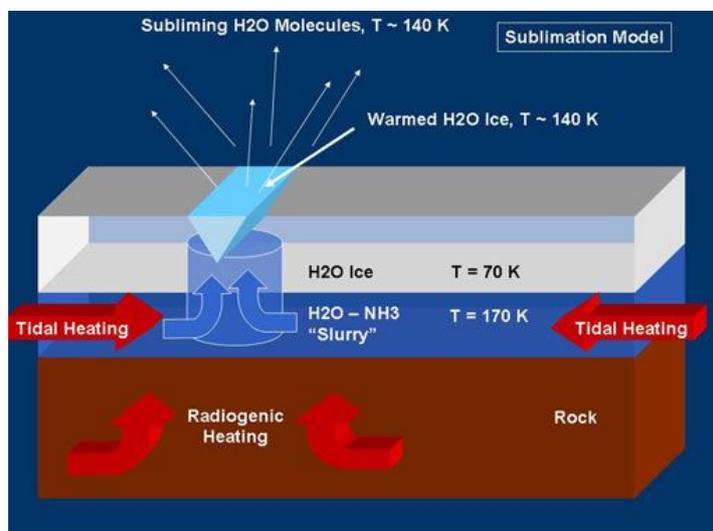
**Figura 4.2.** Jatos de água com material orgânico expelidos do interior de Enceladus. Fonte: NASA.

Nas condições próximas do vácuo da superfície, essa água dissipar-se-ia no espaço. Análises feitas dos jatos e plumas indicam que a maioria das partículas acabam por cair de novo na superfície, dando ao pólo sul um aspecto extremamente brilhante, local que deverá ser o único, na lua, onde a água existe mais próxima da superfície. As partículas que conseguem escapar da gravidade de Enceladus acabam por entrar na órbita de Saturno, formando o anel E.

Algumas características geológicas no hemisfério sul indicam que existem alterações na forma do lua ao longo do tempo. Acredita-se que podem estar relacionadas com aquecimento interno intenso no passado, o que, por último, explicaria o aquecimento anômalo e a atividade na região polar sul.

## 4.1 Atmosfera e clima

Encéladus, uma das luas de Saturno, tem uma atmosfera rarefeita. A fonte da atmosfera pode ser vulcanismo, gêiseres, ou gases que se libertam da superfície ou o interior como pode ser visto na Figura 4.3. Esse material foi recolhido e analisado in situ por instrumentos da Cassini, especialmente o Ion and Neutral Mass Spectrometer (INMS) e a Ultraviolet Imaging Spectrograph (UVIS), e a composição da pluma foi determinado para consistir de ~ 90% de H<sub>2</sub>O, ~ 5% de CO<sub>2</sub>, ~0.9% de CH<sub>4</sub>, ~0.8% de NH<sub>3</sub>, além de pequenas quantidades de outras espécies, que incluem CH<sub>3</sub>OH, N<sub>2</sub>, <sup>40</sup>Ar, C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> e C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>O (Spencer et al 2006;. Spencer et al., 2009).

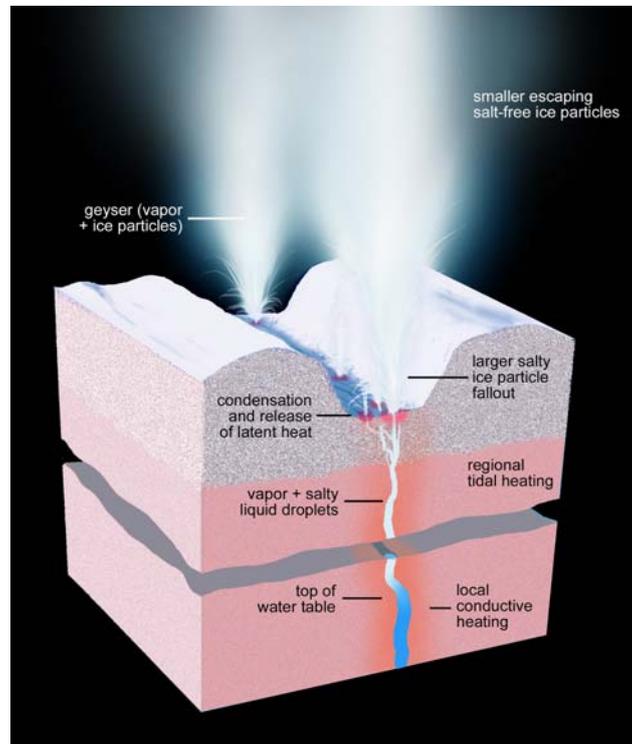


**Figura 4.3.** Modelo de possível atividade geológica de Enceladus liberando gases para a atmosfera dessa lua. (NASA). Imagem artística de criovulcanismo de Enceladus.

As moléculas acima da superfície de Encélado são submetidas a todos os tipos de radiações ionizante, incluindo os elétrons do vento solar e da magnetosfera de Saturno, que é fortemente ligada com a região polar norte de Enceladus. Esta é a região mais fria da superfície de Enceladus, com temperaturas de até 33 K (Spencer et al., 2006). O bombardeio da pluma de Encélado por elétrons energéticos pode provocar alterações nas moléculas, destruindo e produzindo espécies, levando assim, um aumento da complexidade química no ambiente (Bergantini et al. 2014).

## 4.2 Vida em Enceladus

A sonda Cassini parece ter encontrado provas da existência de reservatórios de água líquida que entra em erupção ao estilo de geisers (que podem atingir mais de cem metros de altitude devida à reduzida força gravitacional). A existência deste tipo de atividade geológica num mundo tão pequeno e frio acrescenta significativamente o número de habitat com capacidade de sustentar organismos vivos no sistema solar. Outras luas do sistema solar, tais como Europa ou Ganimedes, têm oceanos de água líquida por baixo de quilômetros de uma crosta gelada. No entanto, no caso de Enceladus, existem bolsas de água a poucos metros da superfície.



**Figura 4.4.** Representação artística mostrando um corte da crosta gelada de Encélado e um possível oceano subsuperficial. Crédito: NASA/JPL-Caltech/SSI/Ron Miller. Fonte: <http://www.astropt.org/2014/08/03/encelado-uma-lua-com-101-geiseres/>

No dia 24 de junho de 2009, cientistas britânicos e alemães das universidades de Potsdam e Leicester anunciaram a confirmação da descoberta de um oceano salgado oculto sob a superfície do polo sul do satélite. A descoberta foi baseada em estudos fornecidos através das pesquisas e fotografias realizadas pela sonda Cassini, que, em 2005, durante sobrevôo de Enceladus, descobriu gêiseres de vapor e gás e pequenas partículas de gelo, contendo quantidade considerável de sais de sódio, lançadas a centenas de quilômetros no espaço.

Rachaduras que ligam o oceano à superfície não afetaria o potencial para a vida em Enceladus, mas isso poderia fornecer acesso fácil para a amostragem do oceano subsuperficial da lua. Se há vida microbiana no oceano líquido em Enceladus, as partículas de gelo do mar poderia conter as provas de que astrobiólogos precisam para identificá-la<sup>16</sup>.

## 5. Asteroides

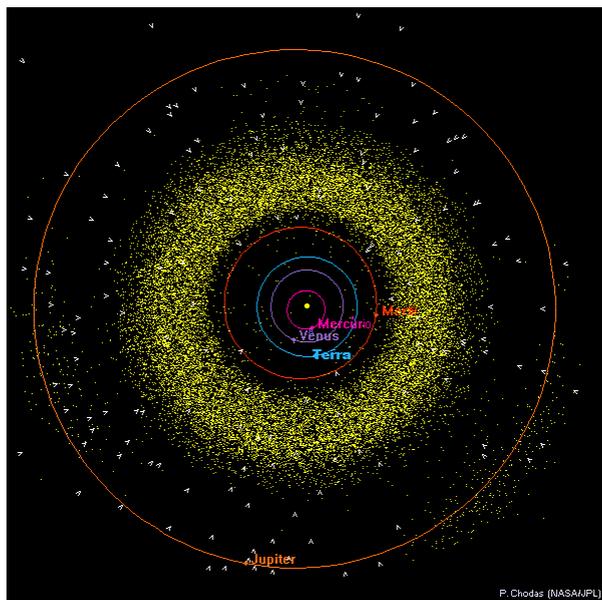
Um asteroide é um corpo menor do sistema solar, geralmente da ordem de algumas centenas de quilômetros apenas. É também chamado de planetóide. O termo "asteroide" deriva do grego "astér", estrela, e "oide", sufixo que denota semelhança. Já foram catalogados mais de 500 mil asteroides, sendo que diversos deles ainda não possuem dados orbitais calculados; provavelmente existem ainda milhares de outros asteroides a serem descobertos<sup>25</sup>.

Os asteroides estão concentrados em uma órbita cuja distância média do Sol é de cerca de 2,17 a 3,3 unidades astronômicas, entre as órbitas de Marte e Júpiter. Esta região é conhecida como Cinturão de Asteroides. No entanto, dentro deste cinturão há diversas faixas que estão praticamente vazias (são as chamadas Lacunas de Kirkwood), que correspondem a zonas de ressonância onde a atração gravitacional de Júpiter impede a permanência de qualquer corpo celeste<sup>25</sup>.

Alguns asteroides, no entanto, descrevem órbitas muito excêntricas, aproximando-se periodicamente dos planetas Terra, Vênus e, provavelmente, Mercúrio. Os que podem chegar perto da Terra são chamados EGA (earth-grazers ou earth-grazing asteroids). Um deles é o famoso Eros<sup>25</sup>.

O maior asteroide do Cinturão principal, e o primeiro asteroide conhecido é Ceres, descoberto em 1801 pelo italiano Giuseppe Piazzi (1746-1826), com massa de um centésimo da massa da Lua, e diâmetro

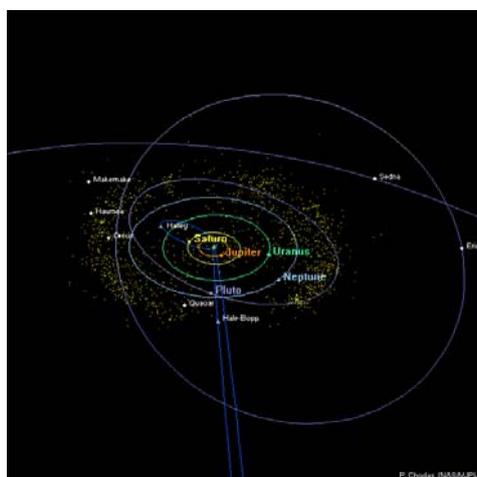
de 1000 km. Nessa época os astrónomos estavam procurando insistentemente um planeta que, de acordo com a lei de Titius-Bode, deveria existir entre as órbitas de Marte e Júpiter. O asteroide Ida, com 50 km de diâmetro, foi fotografado em 1993 pela sonda Galileo e foi então descoberto que ele possui um satélite, Dactyl, de 1,5 km de diâmetro, a 100 km de distância. Aproximadamente 10% dos asteroides têm satélites.



**Figura 5.1.** Imagem do Cinturão de Asteróides, entre as órbitas de Marte e Júpiter. As flechas em branco são cometas (NASA).

### 5.1 Asteroides do Cinturão de Kuiper.

O cinturão de Kuiper, é um grande anel de detritos semelhantes ao cinturão de asteroides, onde o gelo é a sua principal composição. Estende entre trinta e cinquenta unidades astronômicas do Sol. Contém muitos dos pequenos corpos – conhecidos como KBOs (Kuiper belt objects) – do Sistema Solar. Entretanto, muitos dos maiores corpos do anel de Kuiper, como Quaoar, Varuna e Orcus, são classificados como planetas anões. Estima-se que mais de cem mil corpos do anel de Kuiper tenham diâmetro superior a cinquenta quilômetros, embora sua massa seja correspondente a apenas um décimo ou um centésimo da massa da Terra. Alguns objetos do anel têm inúmeros satélites, e alguns outros têm órbitas que o levam fora da classificação do plano da eclíptica.



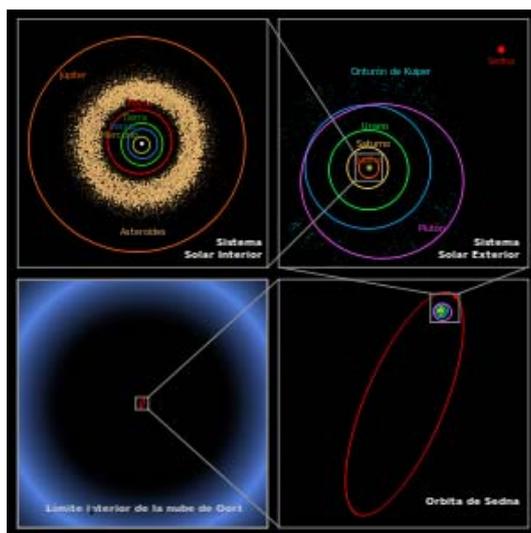
**Figura 5.2.** Imagem do Cinturão Kuiper, e de parte da órbita dos corpos pequenos Sedna e Eris, e do cometa Hale-Bopp (NASA).

Este cinturão de restos gelados, o Cinturão de Kuiper, ao contrário da Nuvem de Oort (que veremos depois), está no plano do sistema solar, de 30 a 50 UA do Sol, portanto logo após a órbita de Netuno. Até mar/2008 existiam 404 578 asteroides catalogados, e 2 461 cometas. Asteroides muito pequenos são chamados meteoroides.

## 5.2 Nuvem de Oort

A nuvem de Oort, também chamada de nuvem de Öpik-Oort, é uma nuvem esférica de cometas e asteroides hipotética (ou seja, não observada diretamente) que possivelmente se localize nos limites do Sistema Solar, a cerca de 50 000 UA, ou quase um ano-luz, do Sol. Isso faz com que ela fique a aproximadamente um quarto da distância a Próxima Centauri, a estrela mais próxima da Terra além do Sol. O cinturão de Kuiper e o disco disperso, as outras duas regiões do Sistema Solar que contêm objetos transnetunianos, se localizam a menos de um centésimo da distância estimada da nuvem de Oort. A parte externa da nuvem de Oort define o limite gravitacional do Sistema Solar.

Esses corpos formariam uma vasta nuvem circundando o Sistema Solar, em órbitas com afélios a uma distância de  $\approx 50\,000$  UA do Sol: a "Nuvem de Oort". Haveria  $\approx 100$  bilhões de núcleos cometários nessa nuvem. Eventualmente, a interação gravitacional com uma estrela próxima perturbaria a órbita de algum cometa, fazendo com que ele fosse lançado para as partes mais internas do sistema solar. Uma vez que o cometa é desviado para o interior do sistema solar, ele não sobrevive mais do que 1000 passagens periélicas antes de perder todos os seus elementos voláteis.



**Figura 5.3.** Distância da Nuvem de Oort respeito do resto de corpos do Sistema Solar.

Os objetos da nuvem de Oort são compostos principalmente por gelo, amônia e metano, entre outros, e foram formados perto do Sol, nos primeiros estágios de formação do Sistema Solar. Então, chegaram às suas posições atuais na nuvem de Oort devido a efeitos gravitacionais causados pelos planetas gigantes.

Os cometas da nuvem de Oort exterior encontram-se pouco ligados pela gravidade ao Sol, e isto faz com que outras estrelas, e até mesmo a própria Via Láctea, possam influir neles e provocar que saiam despedidos para o Sistema Solar interior. A maioria dos cometas de período curto originaram-se no disco disperso. No entanto, acredita-se que um grande número deles tem a sua origem na nuvem de Oort. Apesar de que tanto o cinturão de Kuiper como o disco disperso tenham sido observados e estudados, bem como classificados muitos dos seus componentes, somente há evidências na nuvem de Oort de quatro possíveis membros: 90377 Sedna, 2000 CR105, 2006 SQ372, e 2008 KV42, todos eles na nuvem de Oort interior.

Composição e estrutura:

Considerando os cometas analisados como estimativa dos que se encontram na nuvem de Oort, a grande maioria deles estaria formada por gelo, metano, etano, monóxido de carbono e ácido cianídrico.

Contudo, a descoberta do asteroide "1996 PW", que possui uma órbita mais característica de um cometa de período longo, sugere que a nuvem também abriga objetos rochosos. As análises das isótopos de carbono e nitrogênio revelam que quase não existem diferenças entre os cometas da nuvem de Oort e os cometas de Júpiter, apesar das enormes distâncias que os separam. Este fato sugere que todos eles se formaram na nuvem protosolar, durante a formação do Sistema Solar. Estas conclusões são também aceitas pelos estudos do tamanho granular nos cometas da nuvem de Oort, assim como também pelo estudo dos impactos do cometa 9P/Tempel 1.

## 6. Outros corpos dos sistema solar com potencial astrobiológico

### 6.1 Titânia (Lua de Urano)

O maior satélites de Urano, Titânia, tem um raio de somente 788,9 km, menos da metade do raio da Lua mas um pouco maior que Reia, a segunda maior lua de Saturno, fazendo de Titânia a oitava maior lua do Sistema Solar.



**Figura 6.1.** A lua Titânia (NASA).

Titânia consiste de proporções aproximadamente iguais de gelo de água e componentes densos que não são gelo, que podem ser feitos de rocha e materiais ricos em carbono incluindo compostos orgânicos pesados. A presença de gelo de água é suportada por observações espectroscópicas em infravermelho feitas em 2001 a 2005, que revelaram gelo de água cristalizado na superfície da lua<sup>17</sup>.

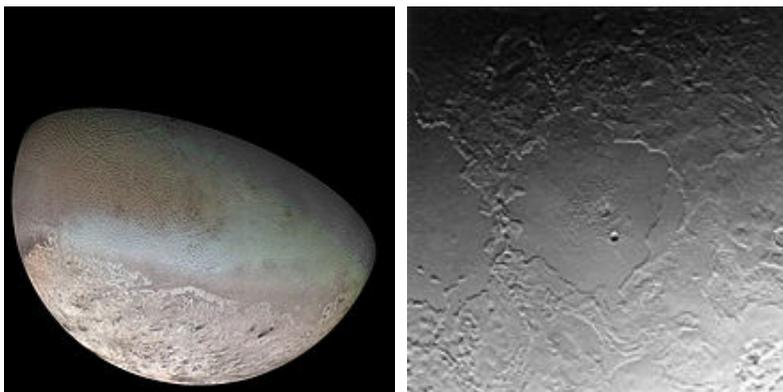
Titânia pode ser diferenciada em um núcleo rochoso cercado por um manto de gelo. Nesse caso, o raio do núcleo (520 km) possui cerca de 66% do raio da lua, e sua massa é de cerca de 58% da massa da lua. A pressão no centro de Titânia é de cerca de 0,58 GPa (5,8 kbar). O estado atual do manto de gelo não é claro. Se o gelo contiver bastante amônia ou outro anticongelante, Titânia pode possuir uma camada de água líquida entre o núcleo e o manto e poderia abrigar formas de vida. A espessura desse oceano, se ele existir, é de até 50 km e sua temperatura é de cerca de 190 K (-83 °C).<sup>17</sup>

### 6.2 Tritão, lua de Netuno

Tritão é uma lua geologicamente ativa, o que originou uma superfície complexa e recente. Tritão tem tamanho, densidade, temperatura e composição química semelhantes a Plutão, e ao verificar a órbita excêntrica de Plutão que atravessa a de Netuno, visualizam-se pistas da possível origem de Tritão como um planeta semelhante a esse capturado por Netuno. Assim Tritão poderá ter-se formado longe de Netuno.

Após a passagem de Voyager 2, suas enigmáticas imagens revelaram o que pareceu ser gêiseres de nitrogênio líquido emanados de sua superfície gelada. Esta descoberta mudou o conceito clássico do vulcanismo que, até então, supôs que os corpos gelados não seriam geologicamente ativos.

Tritão demonstrou que para que haja atividade geológica basta meios fluidos, rocha fundida, nitrogênio ou água<sup>18</sup>.



**Figura 6.2.1** Direita) Tritão. As poucas crateras que existem em Tritão revelam uma actividade geológica intensa(figura esquerda). (fonte: NASA).

A superfície é composta principalmente por gelo de nitrogênio, mas também gelo seco (dióxido de carbono congelado), gelo de água, gelo de monóxido de carbono e metano. Pensa-se que poderão existir gelos ricos em amônia na superfície, mas não foram detectados. Tritão é muito brilhante, reflectindo 60 a 95 por cento da luz solar que incide sobre a superfície; a Lua da Terra, em comparação, reflecte apenas 11 por cento. Apesar de ser um terreno com poucas crateras, acredita-se que poderá ser a superfície mais antiga em Tritão.

A sonda Voyager 2 observou vulcões gelados (as Plume) que cuspiam verticalmente nitrogênio líquido, pó ou compostos de metano, proveniente de baixo da superfície, em plumas que atingiam 8 km de altura. Provavelmente, esta atividade vulcânica é devida ao aquecimento sazonal causado pelo Sol, e não como o aquecimento dos vulcões registrados em Io. Neste link vê-se um filme feito pela Voyager 2 de crio-gêiseres em atividade emitindo material escuro e o efeito de ventos fortes em Tritão sobre a pluma vulcânica <http://www.solarviews.com/raw/nep/geyser.mov>

### 6.2.1 Atmosfera e clima

Tritão é a maior lua de Netuno. Esse satélite tem uma atmosfera extremamente fina, composta por N<sub>2</sub> (99,9%) com pequenas quantidades de CH<sub>4</sub> (0,01%). Partículas de gelo de nitrogênio podem formar nuvens finas poucos quilômetros acima da superfície. A pressão atmosférica em Tritão é de cerca de 15 microbars, 0.000015 vezes a pressão à superfície do mar, na Terra. Tritão está cheio de fendas enormes.

A sonda Voyager 2 conseguiu observar uma camada fina de nuvens numa imagem que tirou do limbo desta lua. Estas nuvens formam-se nos pólos e são compostas por gelo de nitrogênio; existe também nevoeiro fotoquímico até uma altura de 30 km que é composto por vários hidrocarbonetos, semelhante ao que foi encontrado em Titã, no entanto nenhum destes hidrocarbonetos foi detectado. Pensa-se que os hidrocarbonetos contribuem para o aspecto cor-de-rosa da superfície. As imagens da Voyager 2 mostram também erupções tipo gêiser ativos que espalham nitrogênio gasoso e partículas escuras de poeira por vários quilômetros na atmosfera.



**Figura 6.2.2** (esquerda) Imagem mostrando uma fina camada de nuvens ao longo do limbo da lua - Fonte: NASA. (direita) Imagem artística mostrando a atividade vulcânica expelindo  $N_2$  líquido e gêiseres - Fonte: <http://astropt.org/blog/wp-content/uploads/2012/08/06-triton-geyser.jpg>.

### 6.2.2 Vida em Tritão

Tritão é um dos locais mais gelidos do sistema solar. Esta lua tem uma órbita pouco convencional, é retrógrada, o que é comportamento orbital invulgar. Em especial, a integração com as outras luas de Netuno poderá causar aquecimento interno em Tritão. Com a passagem da Voyager 2 em 1989, descobriu-se que tinha atividade vulcânica, mas de um tipo de vulcanismo gelado que consiste no derretimento de gelos de água e nitrogênio e talvez metano e amônia.

Como foi relatado acima, a atmosfera dessa lua é composta de nitrogênio e metano, e estes são os mesmos compostos que existem na grande lua de Saturno, Titã. O nitrogênio é também o composto principal da atmosfera terrestre, e o metano na Terra está normalmente associado à vida, sendo um produto secundário da atividade desta. Mas tal como Titã, Tritão é extremamente frio, se não fosse esse o caso, estes dois componentes da atmosfera seriam sinais de vida.

No entanto, devido à atividade geológica e ao possível aquecimento interno tem sido sugerido que Tritão poderia abrigar formas de vida primitiva em água líquida por debaixo da superfície, muito semelhante ao que tem sido sugerido para a lua Europa de Júpiter. Tritão e Titã são assim mundos que apesar de fisicamente extremos são capazes de suportar formas exóticas de vida desconhecidas na Terra.

Outras ideias científicas, afirmam que a vida na Terra é baseada em carbono, mas em Tritão esta poderá ser baseada em compostos de silicatos.

### 6.3. Plutão (planeta anão)

Plutão, classificado como planeta anão, é menor do que a Lua da Terra. Plutão era o oitavo planeta do sol, mas foi rebaixado ao status de planeta anão. É um mundo rochoso frio com apenas uma atmosfera muito tênue. Atualmente é o maior membro do cinturão de Kuiper.

Como outros membros do cinturão de Kuiper, Plutão é composto primariamente de rocha e gelo e é relativamente pequeno. Plutão e sua maior lua, Caronte, são às vezes considerados um planeta binário porque o baricentro de suas órbitas não se encontra em nenhum dos corpos, e sim no espaço livre entre eles.<sup>15</sup> É possível que a UAI ainda faça uma definição de planeta binário, que provavelmente classificará Plutão e Caronte como um planeta anão binário.<sup>16</sup> Plutão também tem quatro outras luas menores, Nix e Hidra, descobertas em 2005, Cérbero, descoberta em julho de 2011, e Estige, descoberta em julho de 2012.<sup>19</sup>



**Figura 6.3.1** Concepção artística mostra Plutão (disco maior) e suas luas. Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Plut%C3%A3o>

Tem uma composição interna de aproximadamente 60% de rocha e 40% de gelo. Como a decadência de minerais radioativos eventualmente iria aquecer os gelos o suficiente para as rochas se separarem deles, cientistas esperam que a estrutura interna de Plutão é diferenciada, com o material rochoso estabilizado em um denso núcleo cercado por um manto de gelo. O diâmetro do núcleo deve ser de cerca de 1 700 km, 70% do diâmetro de Plutão. É possível que o aquecimento continue atualmente, criando uma camada de oceano líquido de 100 a 180 km de profundidade no núcleo.

Análises espectroscópicas da superfície de Plutão revelaram que ela é composta mais de 98% de gelo de nitrogênio, com traços de metano e monóxido de carbono. Um hemisfério de Plutão contém mais gelo de metano, enquanto o outro contém mais gelo de nitrogênio e monóxido de carbono.<sup>20</sup>

### 6.3.1 Atmosfera de Plutão

A atmosfera de Plutão consiste em uma fina camada de nitrogênio, metano e gases de monóxido de carbono, que são derivados dos gelos dessas substância na superfície. Sua pressão superficial varia de 6,5 a 24  $\mu$ bar. A órbita alongada de Plutão tem um grande efeito em sua atmosfera: conforme Plutão se distancia do Sol, sua atmosfera congela gradualmente, e cai na superfície, e quando ele se aproxima do Sol, a temperatura na sua sólida superfície aumenta, causando os gelos sublimarem para gás. Isso cria um efeito antiestufa; a sublimação esfria a superfície de Plutão. Recentemente foi descoberto que a temperatura de Plutão é de cerca de 43 K ( $-230$  °C), 10 K mais fria do esperado.



**Figura 6.3.2** Impressão artística da superfície e atmosfera de Plutão.

A presença de metano, que é um poderoso gás do efeito estufa, na atmosfera de Plutão cria uma inversão térmica, com temperaturas 36 K mais quente 10 km acima da superfície.

A atmosfera inferior contém uma concentração maior de metano que a atmosfera superior. Uma explicação para isso é que em 1987 o polo sul de Plutão saiu da sombra pela primeira vez em 120 anos, causando o nitrogênio extra sublimar da calota polar. Vai levar décadas para que o excesso de nitrogênio condense para fora da atmosfera enquanto ele congela em direção à escura calota de gelo do polo norte. Dados do mesmo estudo revelaram o que pode ser a primeira evidência de vento na atmosfera de Plutão.

Em outubro de 2006, Dale Cruikshank do NASA/Ames Research Center e seus colegas anunciaram a descoberta espectroscópica de etano na atmosfera de Plutão. O etano é produzido pela fotólise ou radiólise (a conversão química orientada pela luz solar ou partículas carregadas) do metano congelado na superfície que então vai para a atmosfera.

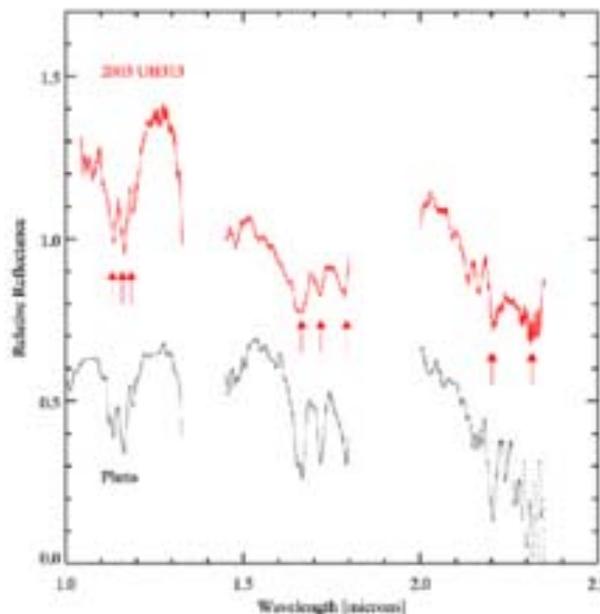
#### 6.4. Éris (planeta anão)

Eris é um planeta anão trans-netuniano. Pode ser o maior corpo celeste conhecido além da órbita de Neptuno, talvez maior que Plutão. Tal como Plutão, é composto de uma mistura sólida de gelo e rocha.



**Figura 6.4.1.** Impressão artística de Eris.

Observações espectroscópicas feitas pelo Telescópio Gemini, no Havaí em 25 de janeiro de 2005 revelaram a presença de metano no gelo, indicando que a superfície pode ser semelhante à de Plutão, que na época era a única objeto trans-netuniano conhecido por ter metano na superfície, e a lua Triton, que também tem o metano em sua superfície<sup>21</sup>.



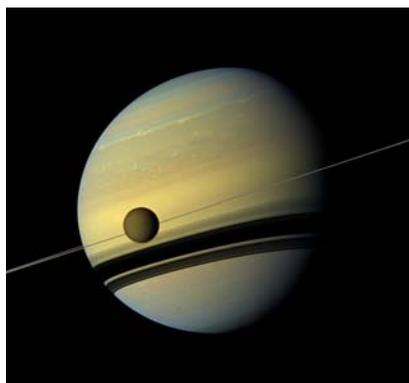
**Figura 6.4.2.** O espectro de infravermelho de Eris, comparada com a de Plutão, mostra as semelhanças acentuadas entre os dois corpos. Setas indicam linhas de absorção de metano.<sup>21</sup>

Eris pode estar até três vezes mais longe do Sol do que Plutão, mas também se aproxima do sol o suficiente para que para que alguma fração do gelo na superfície sublime. Como o metano é altamente volátil, é possível que ele seja continuamente renovado. Acredita-se que isso pode acontecer através de fontes internas de metano.

## 7. Anéis de Saturno

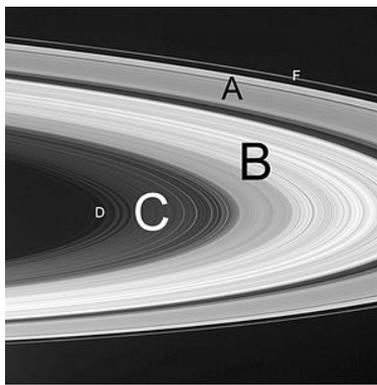
Os anéis de Saturno são constituídos principalmente por uma mistura de gelo, poeiras e material rochoso. Embora possam atingir algumas centenas de milhares de quilômetros de diâmetro, não ultrapassam 1,5 km de espessura<sup>22</sup>. Os quatro planetas jovianos apresentam um sistema de anéis, constituídos por bilhões de pequenas partículas orbitando muito próximo de seu planeta. Nos quatro planetas, os anéis estão dentro do limite de Roche e devem ter se formado pela quebra de um satélite ou a partir de material que nunca se aglomerou para formar um satélite.

Saturno é, de longe, o que possui anéis mais espetaculares. Eles são constituídos principalmente por pequenas partículas de gelo, que refletem muito bem a luz. Já os anéis de Urano, Netuno e Júpiter (nesta ordem de massa constituinte), são feitos de partículas escuras, sendo invisíveis da Terra. A massa total dos anéis de Saturno é menor do que 3 milionésimos da massa de Saturno. Já em 1857, James Clerk Maxwell (1831-1879) demonstrou que os anéis só poderiam permanecer em órbitas estáveis se fossem constituídos de pequenas partículas.



**Figura 7.1.** Saturno e a sombra de seus finos anéis refletidos na parte sul do planeta, e a lua Titan (NASA).

A origem dos anéis é desconhecida<sup>22</sup>. A primeira teoria concluiu que sua formação ocorreu junto com a dos planetas, há cerca de 4 bilhões de anos, mas estudos recentes apontam que sejam mais novos, tendo apenas algumas centenas de milhões de anos. Uma outra teoria sugere que um cometa tenha se desintegrado devido a forças de maré quando passava perto de Saturno. Uma outra possibilidade é o choque de um cometa com uma lua de Saturno que, ao desintegrar-se, teria formado a misteriosa estrutura.



**Figura 7.2.** Anéis de Saturno: Os anéis maiores são nomeados (NASA).

A União Astronômica Internacional designou os seguintes nomes para os anéis de Saturno e para as divisões entre eles. Na NASA factsheet provêm mais informações sobre suas distâncias e larguras.

Nome	Distância do centro de Saturno (km)	Largura (km)	Origem do nome
D Ring	66,900 - 74,510	7,500	
C Ring	74,658 - 92,000	17,500	
Colombo Gap	77,800 ?	100	Giuseppe "Bepi" Colombo
Titan Ringlet	77,800 ?	?	Titan (Titã) (satélite de Saturno)
Maxwell Gap	87,491	270	James Clerk Maxwell
B Ring	92,000 - 117,580	25,500	
Cassini Division	117,580 - 122,170	4,700	Giovanni Cassini
Huygens Gap	117,680 ?	285-440	Christiaan Huygens
A Ring	122,170 - 136,775	14,600	
Encke Division	133,589	325	Johann Encke
Keeler Gap	136,530	35	James Keeler
R/2004 S 1	137,630	?	
R/2004 S 2	138,900	?	
F Ring	140,180	30-500	
Janus/Epimetheus Ring	149,000 - 154,000	5,000	Jano and Epimeteu
G Ring	170,000 - 175,000	5,000	
Pallene Ring	211,000 - 213,500	2,500	Pallene
E Ring	181,000 - 483,000	302,000	

Descobertas recentes, através de medições da sonda Cassini-Huygens pelo instrumento Ultraviolet Imaging Spectrograph (UVIS), relatam a existência de uma atmosfera independente da de Saturno, que existe em torno dos anéis e que é constituída essencialmente oxigênio molecular ( $O_2$ )<sup>22</sup>.

Como os anéis de Saturno são compostos, em sua maior parte, de gelo de água pura ( $H_2O$ ), este material gelado é bombardeado por partículas carregadas da magnetosfera de Saturno e se decompõe em seus constituintes, hidrogênio ( $H_2$ ) e oxigênio ( $O_2$ ). Assim, há sempre um pouco de oxigênio flutuando no sistema de anéis<sup>23</sup>.

Os cientistas que trabalham na missão Cassini da NASA detectaram sais de sódio em grãos de gelo do anel mais externo de Saturno. Detectando gelo salgado indica que a lua de Saturno Enceladus, que reabastece principalmente o anel com material de jatos de descarga, poderia abrigar um reservatório de água em estado líquido - talvez um oceano - abaixo de sua superfície. Cassini descobriu os jatos de água congelada em 2005 sobre Enceladus. Estes jatos expulsam minúsculos grãos de gelo e vapor, alguns dos quais escapam gravidade da Lua e formam anel mais externo de Saturno. Analisador de poeira cósmica da Cassini examinou a composição desses grãos e encontrou sal dentro deles<sup>24</sup>.



**Figura 7.3.** Visão das plumas ejetadas a partir da região no pólo sul de Enceladus as quais alimentam o difuso anel E de Saturno. Crédito: NASA/JPL/Space Science Institute.

## 8. Discussão e Conclusões

Em suma, Europa pode reunir os critérios necessários para o desenvolvimento da vida, ainda que isto não esteja provado. Um oceano de água líquida é provável, mas não é certo. Há elementos biogênicos na composição de Europa, e é possível que organismos vivos sobrevivam nas rachaduras próximas a superfície congelada do planeta, principalmente por efeito do aquecimento causado por forças de maré de Júpiter.

Contudo, a questão da temperatura seria um grande impedimento para o desenvolvimento da vida tanto em Europa, quanto em Titã. Contudo, a resposta à este problema pode estar em seres extremófilos capazes de sobreviver a baixíssimas temperaturas, tais como os seres encontrados na Groenlândia, a três mil metros de profundidade. Além disso, há diversas analogias entre a atividade química orgânica que ocorre em Titã, e a química pré-biótica que ocorreu na Terra primitiva, incluindo as reações que produzem ac cianídrico (HCN), e cianoacetileno (HC<sub>3</sub>N), que são considerados compostos chave na química pré-biótica da Terra primitiva.

De fato, segundo Raulin a composição atmosférica de Titã (N<sub>2</sub> com pouco CH<sub>4</sub>), é uma das mais favoráveis para síntese pré-biótica atmosférica, e muito mais semelhante do que se imaginava ser em relação à Terra primitiva. As muitas analogias deste corpo com a Terra, e o seu complexo processo químico-orgânico, provêm meios para entender melhor os processos prebióticos que não são mais vistos na Terra, e isso numa escala de complexidade e tamanho planetárias, ainda que a efetiva presença de vida, atual ou extinta, seja muito pouco provável.

Sobre a possibilidade de vida em mundos congelados como Tritão, Plutão-Caronte, Sedna, e outros corpos, existe sim, por causa da possibilidade destes mundos terem água líquida em reservatórios grandes e estáveis bem abaixo da superfície. A exploração robótica destes mundos congelados no Sistema Solar exterior está fora de nosso alcance neste momento da Humanidade, mas talvez possa ser uma realidade no futuro. A Astrobiologia, além de experiências científicas, cálculos, técnicas de engenharias e tecnologias, é também um exercício de imaginação romântica do futuro da vida, inclusive de nós, pois também fazemos parte da Natureza.

## Bibliografia

NASA – Cassini Mission, disponível em <http://saturn.jpl.nasa.gov> , NASA.

NASA – disponível em <http://www.nasa.gov> , NASA.

Raulin, Franciss, Astrobiology and habitability of Titan, Space Science Reviews, Vol 135, nº 1-4, 2007.

Darling, D. - The Internet Encyclopedia of Science, <http://daviddarling.info/encyclopedia/E/Europa.html>).

Astrobiology Magazine, 2008, Astrobiology Top 10: Titan's Ethane Lake, disponível em <[http://www.astrobio.net/index.php?option=com\\_retrospection&task=detail&id=2984](http://www.astrobio.net/index.php?option=com_retrospection&task=detail&id=2984)>

Burger M. H. and Johnson R. E. (2004) Europa's cloud: Morphology and comparison to Io. *Icarus*, 171, 557-560.

Carlson, R. W., et al, "Europa's Surface Composition," Europa, The University of Arizona Press, pp. 283-327, Pappalardo, R. T., McKinnon, W. B. and Khurana, K., eds., United States (2009).

Carlson R. W., Anderson M. S., Johnson R. E., Schulman M. B., and Yavrouian A. H. (2002) Sulfuric acid production on Europa: The radiolysis of sulfur in water ice. *Icarus*, 157, 456-463.

Carlson R. W., Anderson M. S., Mehlman R., and Johnson R. E. (2005) Distribution of hydrate on Europa: Further evidence for sulfuric acid hydrate. *Icarus*, 177, 461-471.

Carlson R. W., Johnson R. E., and Anderson M. S. (1999) Sulfuric acid on Europa and the radiolytic sulfur cycle. *Science*, 286, 97-99.

Cassidy T. A. and Johnson R. E. (2005) Monte Carlo model of sputtering and other ejection processes within a regolith. *Icarus*, 176, 499-507

Spencer, J. R., Pearl, J. C., Segura, M., et al. 2006, *Science*, 311, 1401

Wikipedia, disponível em <http://en.wikipedia.org> , Wikimedia Foundation, Inc..

## Outras fontes

[1] <http://www.spacetoday.org/SolSys/Moons/MoonsSolSys.html>

[2] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Solar](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_Solar)

[5] Johnson Composition and Detection of Europa's Sputter-induced Atmosphere R. E. Johnson

[6] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Europa\\_%28sat%C3%A9lite%29](http://pt.wikipedia.org/wiki/Europa_%28sat%C3%A9lite%29)

[7] <http://www.astropt.org/2013/12/15/hubble-descobre-jactos-de-vapor-de-agua-no-polo-sul-de-europa/>

[8] <http://www.space.com/15257-titan-saturn-largest-moon-facts-discovery-sdcmp.html>

[9] <http://www.seasky.org/solar-system/saturn-titan.html>

[10] <https://solarsystem.nasa.gov/europa/chemistry.cfm>

[11] [http://en.wikipedia.org/wiki/Titan\\_%28moon%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Titan_%28moon%29)

[11] <http://www.portaldoastronomo.org/noticia.php?id=625>

[12] Astrobiology Magazine, disponível em

[http://www.astrobio.net/index.php?option=com\\_retrospection&task=detail&id=2984](http://www.astrobio.net/index.php?option=com_retrospection&task=detail&id=2984).

[13] [http://en.wikipedia.org/wiki/Life\\_on\\_Titan](http://en.wikipedia.org/wiki/Life_on_Titan)

[14] <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Titan-SaturnMoon-Maps-TraceGases-20141022.jpg>

[15] <https://astrobiology.nasa.gov/articles/2000/12/19/titanic-moon-orange-soup-from-saturnian-turn/>

[16] <http://www.astrobio.net/news-brief/enceladus-in-101-geysers/>

[17] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Tit%C3%A2nia\\_\(sat%C3%A9lite\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Tit%C3%A2nia_(sat%C3%A9lite))

[18] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Trit%C3%A3o\\_%28sat%C3%A9lite%29](http://pt.wikipedia.org/wiki/Trit%C3%A3o_%28sat%C3%A9lite%29)

[19] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Plut%C3%A3o>

[20]

[21] [http://en.wikipedia.org/wiki/Eris\\_%28dwarf\\_planet%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Eris_%28dwarf_planet%29)

[22] [http://pt.wikipedia.org/wiki/An%C3%A9is\\_de\\_Saturno](http://pt.wikipedia.org/wiki/An%C3%A9is_de_Saturno)

[23] <https://astrobiology.nasa.gov/articles/2004/7/3/missions-cassini-detects-oxygen-buildup-in-saturns-e-ring/>

[24] <https://astrobiology.nasa.gov/articles/2009/6/24/salt-discovered-in-saturns-outermost-ring/>

[25] <http://www.explicatorium.com/CFQ7-Sistema-Solar.php>

[26] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Asteroides>