

## **DIVULGAÇÃO**

### *A VIDA VEIO DAS NUVENS INTERESTELARES*

*Oscar Toshiaki Matsuura*

*Instituto Astronômico e Geofísico - USP*

Se antes da evolução darwiniana houve uma evolução ao nível biomolecular, o problema da origem da vida se reduz ao problema da origem de substâncias pré-bióticas a partir de uma origem abiológica. As substâncias pré-bióticas mais importantes são os constituintes dos ácidos nucleicos (um açúcar, quatro bases e um fosfato) e das proteínas (21 tipos de aminoácidos); os constituintes dos polissacarídeos (glucose) e da clorofila (anéis nitrogenados). Particularmente as bases dos ácidos nucleicos também levam anéis nitrogenados.

Já é popular a hipótese da origem da vida conhecida pelo nome de hipótese do caldo primitivo proposta por volta de 1920 por Haldane e Oparin. Apesar de seu sucesso através de experimentos de laboratório feitos por Miller em 1953, essa hipótese que situa o caldo primitivo aqui na própria Terra, esbarra em dificuldades: para que ela seja viável requer-se uma atmosfera não oxidante, totalmente diferente da atmosfera que hoje envolve a Terra, o que dificilmente pode ser concebido. Mais. Sendo oxidante e tendo uma camada de ozona protegendo as formas mais complexas de vida contra a ação deletéria da radiação ultra-violeta do Sol, faltaria essa radiação que é requisito essencial para a hipótese do caldo primitivo.

Não é de hoje a idéia de que a vida tivesse vindo de recônditas regiões do Cosmo, ao invés de ter se originado na Terra. O famoso Lord Kelvin, conhecido dos físicos pelos seus importantes trabalhos em Termodinâmica, já havia intuído que a vida pudesse ter vindo do espaço exterior trazida na forma de esporos. Mas, mais recentemente, aduzindo argumentos da astrofísica contemporânea, Hoyle e Wickramasinghe, na Inglaterra, propuseram um modelo de origem extra-terrestre da vida com base nos seguintes pontos:

- (1) existem moléculas pré-bióticas no meio interestelar;
- (2) remanescente da nuvem interestelar que deu origem ao Sistema Solar, conservou a salvo moléculas pré-bióticas mesmo depois da

fase de altas temperaturas a que foi submetida a nebulosa solar primitiva e depois da constituição dos planetas;

(3) o interior de núcleos de cometas seria um local adequado para abrigar moléculas pré-bióticas e até mesmo para organizá-las em formas ainda mais complexas, dando assim, origem a formas primitivas de vida;

(4) a vida teria sido transportada para a Terra através de cometas, através de frequentes colisões desses objetos com a Terra há cerca de 4 bilhões de anos; junto com a vida teria vindo a componente volátil da atmosfera terrestre e a água dos oceanos.

Esse modelo tem, sem dúvida, vulnerabilidade em pontos importantes, mas não deixa de suscitar uma discussão apaixonante e construtiva. Neste artigo tentarei expô-lo seguindo fielmente a linha original de seus autores.

Mesmo dos átomos que compõem as moléculas tanto dos seres vivos, como não vivos, a explicação vem da astrofísica. A teoria cosmológica da "Grande Explosão" é hoje muito aceita; a captação da radiação isotrópica em microondas feita pela primeira vez por Penzias e Wilson da Bell Telephone Laboratories em 1965 é compatível com a idéia de que o Universo começou há uns 13 bilhões de anos com a explosão de uma bola superquente e superdensa constituída de neutrons e fótons. Logo nos primeiros instantes desta história cósmica haveria lugar para reações termonucleares capazes de gerar hélio, hidrogênio pesado e talvez outros elementos pesados. Mas a maioria deles deve sua formação a uma fase posterior, no interior de estrelas, através de reações termonucleares.

São bilhões de galáxias que compartilham de um movimento geral de expansão do Universo, certamente iniciada na Grande Explosão. A nossa Galáxia, a Via Láctea, tem cerca de 200 bilhões de estrelas, mais poeira e gás praticamente concentrados sobre um disco com diâmetro de cerca de 50.000 anos-luz e com espessura de uns 300 anos-luz. Nosso Sol não é senão uma das estrelas da Via Láctea.

Dentre todas as fases da vida de uma estrela em que ela deve sua luminosidade às reações termonucleares, a fase em que ela permanece na Sequência Principal é a mais duradoura. No Sol ela deve durar cerca de 10 bilhões de anos. Nesse estágio, no núcleo da estrela, as reações termonucleares formam hélio a partir do hidrogênio. Ao mesmo tempo em que se produz elementos químicos mais pesados, libera-se também energia. O esforço que vem sendo feito recentemente no sentido de se explorar a fusão nuclear como fonte alternativa de energia não é outro senão o de criar, em laboratório, condições físicas para a realização dessas reações termonucleares. Quando a estrela tiver queimado cerca de 10% de seu hidrogênio, ela abandona a Sequência Princi-

pal, o núcleo de hélio começa a se contrair concomitantemente com a expansão das camadas mais externas da estrela. Nessa fase de espantosa expansão a estrela torna-se uma Gigante ou Supergigante, fase pela qual o Sol deverá passar daqui uns 5 bilhões de anos. O hidrogênio das camadas externas é queimado até a sua exaustão e então, naturalmente, o novo combustível a ser queimado é o hélio comprimido no núcleo estelar e aquecido a uma temperatura capaz de provocar a ignição da reação que transforma o hélio em carbono.

O destino final de uma estrela depende de sua massa. Se ela é menor que o Sol, se transformará em anã branca. Mas se ela é muito maior, as reações termonucleares sintetizando elementos cada vez mais pesados podem atingir um regime de instabilidade, daí resultando violenta ejeção de matéria com elementos pesados ao meio interestelar: é o caso de supernovas que surgem na razão de duas ou três por século, em nossa Galáxia. A baixa temperatura das supergigantes favorece a ocorrência da convecção da matéria, isto é, o borbulhamento da matéria e seu escape para o meio interestelar, bem como a condensação de gases em grãos de poeira.

Isto serve para mostrar que a matéria processada nuclearmente no interior das estrelas tem diversas oportunidades para ingressar no meio interestelar.

Mas o que se pode depreender dos estudos diretos sobre o meio interestelar? Já são clássicos os estudos da extinção da luz estelar provocada pela poeira interestelar. Os estudos mais antigos se restringiam principalmente à região visível do espectro eletromagnético; como a poeira extingue mais a luz azul (de comprimentos de onda mais curtos) do que a luz vermelha (de comprimentos de onda mais longos), a radiação estelar que consegue chegar até nós é avermelhada. Um exemplo desse avermelhamento pode ser visto num pôr de Sol através de uma atmosfera empoeirada. Mais recentemente, a extinção foi também estudada no ultra-violeta e no infra-vermelho. Há uma absorção característica devida a grãos interestelares por volta de 2.200 Angstrons (ultra-violeta), além de diversas bandas relativamente largas de absorção entre 4.400 e 7.000 Angstrons. Compostos orgânicos com anéis nitrogenados poderiam dar conta dessas características. Em especial esta interpretação é atraente, pois se baseia em grãos compostos de elementos abundantes no Universo, a saber, o carbono, o nitrogênio e o oxigênio, em combinação com o hidrogênio. Polissacarídeos podem dar conta também do comportamento da polarização da luz espalhada pela poeira interestelar.

Observações no infra-vermelho em nuvens circunstelares, envolvendo estrelas gigantes que ejetam matéria, bem como em nuvens interestelares, revelaram a presença de poeira que absorve nas vizinhanças

dos 3 e dos 10 microns. Muitos atribuem a primeira absorção a grãos de gelo e a segunda, a grãos de silicato. Esta última absorção é vista frequentemente em nuvens circunstelares de supergigantes vermelhas ricas de oxigênio. Hoyle e Wickamasinghe propuseram uma substância única, feita de elementos cosmicamente abundantes, capaz de explicar ao mesmo tempo as duas absorções e, para surpresa deles mesmos, verificaram que polímeros orgânicos como a celulose em mistura com hidrocarbonetos eram capazes de explicar as propriedades observadas.

É sabido que a abundância maior de oxigênio ou de nitrogênio nos fluxos de matéria ejetada pelas estrelas depende criticamente do fato de a estrela ter experimentado, ou não, reações termonucleares conhecidas como ciclo do carbono-nitrogênio (C-N). Na matéria estelar que passou por este processo, abunda o nitrogênio; caso contrário, abunda o oxigênio. Assim as nuvens circunstelares de estrelas que passaram pelo ciclo C-N propiciam a formação de polissacarídeos que requerem o oxigênio para estabelecer as ligações do polímero. No caso oposto, cria-se condições para formar anéis nitrogenados, cujas absorções seriam típicas da matéria interestelar.

A formação dessas cadeias de moléculas pode ter lugar nos próprios fluxos estelares, quando a temperatura cai para cerca de 1.200 K. Fortuitamente colisões binárias podem dar origem a um anel nitrogenado; se todas as moléculas seguissem esse caminho, o processo de formação seria sem dúvida muito pouco eficiente. É, porém, viável um mecanismo no qual uma pequena cadeia inicial de anéis desempenha o papel de molde, no sentido de que cada fragmento da cadeia possa crescer rapidamente em longas cadeias-filhas, numa lógica que lembra a própria divisão celular. Esse seria um processo não só eficiente, mas explosivo.

A próxima indagação que surge naturalmente se refere ao transporte da matéria interestelar para a Terra. Vêm então imediatamente à mente os cometas. Poucos são os conhecimentos sobre cometas que escapam a sérias controvérsias. Tudo se passa como se a maioria dos cometas de longo período proviessem de uma nuvem aproximadamente esférica envolvendo o Sistema Solar, denominada Nuvem de Oort, a cerca de um ano-luz do Sol (o que é uma substancial fração da distância entre a Terra e a estrela mais próxima). Os estudos mais recentes sobre cometas têm revelado que a coma, gerada quando o cometa se aproxima do Sol, contém poeira e gás constituído de átomos, radicais, íons, moléculas simples e complexas. Acredita-se que tudo isso seja produto da vaporização do núcleo cometário pela ação da radiação solar. Os componentes gasosos requerem uma estrutura sólida do núcleo muito peculiar, conquanto surgem quase que simultaneamente a cerca de 3 unidades astronômicas do Sol. Muitos dos radicais observados podem ser explicados co-

mo produtos de dissociação de polissacarídeos hidratados. Por sua vez, também a poeira parece poder ser explicada em termos de grãos de grafite ou silicato recobertos de polissacarídeos. Inicia-se agora no Instituto Astronômico e Geofísico da USP o desenvolvimento de um sistema para medir características da radiação infra-vermelha de grãos cometários. Isso foi viabilizado agora, embora um instrumento com potencialidade técnica similar tivesse sido pleiteado há muitos anos, dada a inegável importância que a astronomia do infra-vermelho tem tido nesta última década.

Os impactos meteoríticos registrados em 1908 e em 1947 na Sibéria tiveram possivelmente origem cometária. A probabilidade de colisão de um cometa com a Terra é muito pequena, mas não nula mesmo nos dias de hoje. Seria da ordem da probabilidade de um desastre em usina nuclear. Todavia, para que os cometas tenham desempenhado o papel previsto por este modelo, é preciso que em épocas passadas as suas colisões com a Terra tenham ocorrido com muito maior frequência.

Parece que informações pertinentes podem ser obtidas através do estudo de meteoritos. Muitos se surpreendem quando afirmamos que a Terra é diariamente bombardeada com muitas toneladas de meteoritos; felizmente, hoje, a maior contribuição se deve aos de menores dimensões. Em épocas bem determinadas do ano a queda de meteoritos cresce de maneira notável, formando chuviscos procedentes de direções bem definidas. Esses chuviscos se correlacionam com a passagem da Terra por órbitas cometárias, onde provavelmente se encontram restos de matéria cometária. Um tipo muito particular deles são os carbonáceos condritos. A idade de sua formação excede às vezes a idade da formação da crosta terrestre. A existência de grãos finíssimos em aglomerados não compactados mostra que eles nunca foram aquecidos a temperaturas superiores a cerca de 500 K. A sua razão isotópica de  $Ne^{20}/Ne^{22}$  é anômala se comparada com os padrões do Sistema Solar, indicando que se trata de matéria condensada em regiões distantes do Sistema Solar, provavelmente nas vizinhanças de uma supernova. Assim, esses meteoritos constituiriam amostras intactas de componente genuinamente interestelar. O carbono desses meteoritos encontra-se na forma de compostos orgânicos que podem ser solúveis e insolúveis; a parte insolúvel constitui estruturas regulares semelhantes à de algas fossilizadas de cinco tipos diferentes, dos quais só quatro têm similares na Terra. Isto exclui a possibilidade de contaminação terrestre desses fósseis. Outra parte do material orgânico insolúvel consiste de estruturas não muito diferentes da celulose. Mais recentemente foi descoberta a presença de aminoácidos. Sabe-se que os aminoácidos (como os açúcares) podem se apresentar como isômeros levógiros (L) ou dextrógiros (D). Enquanto que os aminoácidos de origem não biológica são racêmicas, quase todos

os aminoácidos de origem biológica aqui na Terra são L, e todos os açúcares são D. A opção por um dos isômeros confere maior estabilidade para as longas cadeias de moléculas. Os exemplares de carbonáceos condritos Murray (EE.UU) e Murchison (Austrália) apresentam uma mistura racêmica de aminoácidos, enquanto que os exemplares Orgueil (França) e Ivuna (Tanganika) apresentam mais aminoácidos D.

Finalmente a componente solúvel apresenta um espectro de absorção no ultra-violeta típico de anéis nitrogenados. Esses meteoritos parecem ser grãos de silicato com polímeros orgânicos e organismos fósseis remanescentes de um processo de vaporização sofrido por um grão cometário.

Qual é então a sequência de eventos que explicaria a vinda da matéria interestelar para os cometas e daí para a Terra, em momentos oportunos da história do nosso Sistema Solar?

O meio interestelar é revelado por exemplo pela emissão do hidrogênio atômico neutro na linha de 21 cm. Em regiões próximas de estrelas quentes o hidrogênio apresenta-se ionizado pela radiação ultra-violeta da estrela central formando as Regiões HII. Linhas no ultra-violeta revelam a presença do hidrogênio molecular em nuvens mais densas ou nuvens interestelares, onde a poeira não apenas protege as moléculas de serem dissociadas pela radiação da estrela central, como ainda atuam como catalisadores propiciando a formação das mesmas. Ademais raios cósmicos podem ionizar átomos, sendo que os íons resultantes reagem muito mais eficientemente com os átomos neutros, do que os próprios átomos neutros entre si. Como prova de que isso não é mera conjectura, através de rádio-telescópios tem-se detectado a presença de moléculas orgânicas e inorgânicas em nuvens interestelares através da radiação típica de microondas devida principalmente a estados vibracionais das moléculas. Foi encontrado por exemplo o formaldeído que é unidade básica para a formação de polissacarídeos, assim como o açúcar do fórmico que pode contribuir na formação de aminoácidos.

Essa matéria mais densa resulta de um processo de compressão da tênue matéria interestelar pelo colapso gravitacional. Este colapso está na origem de toda estrela. Uma nuvem interestelar típica possui sua massa correspondente a cerca de milhares de sóis. Durante o colapso ela se fragmenta em milhares de partes, dando origem a milhares de densificações. O colapso prossegue até que a pressão da matéria colapsada cresça ao ponto de poder fazer oposição à ação gravitacional. Quando estas duas forças estão próximas do equilíbrio tem-se formado uma proto-estrela. A radiação emitida por uma proto-estrela é gerada graças à energia gravitacional, não termonuclear ganha pela contração, agora lenta. Ao mesmo tempo, a temperatura da estrela vai crescendo e, ao atingir a temperatura de ignição para a queima do hidrogênio, a

proto-estrela passa a ser uma estrela da Sequência Principal. Até esse ingresso na Sequência Principal, uma estrela como o Sol gasta cerca de 20 milhões de anos.

Não há razões para crer que a Natureza aproveite toda a matéria da nuvem interestelar para o fabrico das estrelas. Uma parte dela se frustra de participar da formação da estrela e poupa suas moléculas complexas à destruição pela radiação da estrela central.

Como, porém, essa matéria tem chance de chegar à Terra? Para responder esta questão devemos enfrentar o problema da formação do Sistema Solar.

Entre as teorias catastróficas e quiescentes já propostas, estas últimas vêm recebendo um consenso cada vez mais universal diante dos resultados mais recentes obtidos na área. O paradigma das teorias quiescentes é ainda a velha teoria de Laplace que todos conhecem. Uma teoria aceitável deve dar conta das propriedades relevantes do Sistema Solar. Uma delas consiste no fato de que o Sol gira muito lentamente, isto é, contém apenas 2% do momentum angular do Sistema Solar, ao passo que encerra 99,9% de toda a massa. Se um mesmo fragmento da nuvem deu origem ao Sol e aos planetas, podemos imaginar no início uma enorme esfera girando lentamente, depois girando cada vez mais depressa no decurso da contração gravitacional, pela conservação de momentum angular. Com o aumento da rotação surge um bojo equatorial e, com toda plausibilidade, em algum instante a nuvem colapsante se verá na situação em que a força centrífuga começa a superar as forças gravitacionais, quando o bojo se transforma num disco de ejeção de matéria. Isto é designado crise da rotação. Ora, o campo magnético aí presente poderia atuar como um transmissor de momentum angular da condensação central à matéria ejetada (futuros planetas), assim como os raios de uma roda de bicicleta. É o que pode prever a magneto-hidrodinâmica. O Sol seria uma proto-estrela com diâmetro umas 30 vezes maior que o atual, temperatura de uns 3.500 K e luminosidade cerca de 150 vezes maior que a atual. Por outro lado, o gás aquecido em ejeção foi ao mesmo tempo se expandindo e se resfriando. Quando a temperatura chegou aos 1.500 K condensaram-se "planetesimais" de substâncias com temperatura de fusão mais alta: ferro e silicato. Os planetesimais maiores fixaram-se nas proximidades do local de formação, desacoplando-se do gás em expansão e descrevendo aí órbitas quase circulares ao redor do proto-Sol. O material ainda volátil prosseguiu sua viagem a regiões mais externas, e ao atingir cerca de 100 K se condensou nos "planetesimais" ou "cometesimais" compostos de água, dióxido de carbono e amônia. O grosso da perda de momentum angular ter-se-ia dado com a perda definitiva de grandes quantidades de hidrogênio e hélio, sem condições de se condensar. Posteriormente esses planetesimais constituí-

ram aglomerados; colisões dentro deles propiciaram a formação de planetas compactos. Fases finais de sua formação envolveram colisões violentas a ponto de causar fusão e a segregação das rochas, do ferro na Terra. Neste contexto a Terra teria uma paisagem desoladora para a vida. Teria cicatrizes de colisões com planetesimais, como é hoje a Lua, não teria atmosfera nem água e as variações de temperaturas seriam extremas. Esta concepção explicaria a segregação química que permite classificar os planetas internos como terrosos e os externos como compostos principalmente de carbono, nitrogênio e oxigênio combinados com hidrogênio na forma de metano, amônia, dióxido de carbono e água. É plausível ainda supor que a fase de formação de planetas nas regiões mais externas estivesse em atraso relativamente aos planetas nas regiões mais internas. Assim, quando a crosta terrestre já estava formada, havia ainda uma multidão de objetos na fase de acumulação à altura das órbitas de Netuno e Urano. Certamente sua matéria estaria misturada ou contaminada com grãos e moléculas complexas da nuvem interestelar primitiva, poupada da segregação química e da destruição de suas moléculas mais complexas. A deflexão da órbita desses objetos poderia trazê-las para o interior do Sistema e provocar impactos com a Terra. Nesses impactos, pois, a Terra teria adquirido as moléculas pré-bióticas bem como a componente volátil da atmosfera e dos oceanos.

Um fato que vem endossar esta teoria é o fato de que entre os materiais voláteis, os gases raros são realmente muito raros na Terra, em comparação com a quantidade de oxigênio presente na forma de água nos oceanos, nitrogênio na atmosfera, se se toma por base as abundâncias da nebulosa solar primitiva. Esta discrepância não é explicável em termos de um processo de segregação por evaporação, conquanto as massas atômicas não são tão discrepantes entre si. Certamente o degasamento das rochas é responsável pela maior parte dos gases raros hoje existente na Terra. Os voláteis existentes em quantidade maior teriam vindo de fora, nos cometesimais. Neles a presença dos gases raros seria praticamente nula, pois não se condensariam mesmo nas baixas temperaturas da região de Urano e Netuno.

Pode-se mesmo admitir que moléculas pré-bióticas tenham podido evoluir para formas primitivas de vida já nos próprios cometas. Reações entre moléculas orgânicas podem liberar calor no interior dos núcleos cometários fundindo a matéria sob a crosta; posterior liberação de calor é possível graças a reações entre a matéria orgânica e a água já formada. Um tal bolsão de matéria liquefeita providencialmente isolado termicamente pelas camadas mais exteriores constituiria um local privilegiado para o caldo primitivo.

Neste esquema de origem extra-terrestre da vida, seu surgimento poderia ter deixado vestígios em épocas bem remotas. Há indícios

de bactérias e algas fossilizadas em rochas sedimentares datando cerca de 3 bilhões de anos. Esses espécimes não seriam os mais antigos, dada a dificuldade de preservação desses fósseis. A imigração da vida à Terra ter-se-ia dado há 4 bilhões de anos, época em que se registram os últimos eventos catastróficos de impacto na superfície lunar.

Vaporizando-se pela ação do Sol e do impacto, os cometas e meteoritos criaram uma atmosfera rica em gás carbônico. Graças ao conhecido efeito de estufa do gás carbônico, a Terra ter-se-ia transformado num planeta com calor, permitindo a fusão dos gelos, a vaporização da água, os processos convectivos envolvidos nas chuvas e a formação dos oceanos. É previsível que o conteúdo de gás carbônico fosse diminuído, pelo fato de que se dissolve na água e depois se fixa nas rochas na forma de carbonatos. Como a solubilidade do gás carbônico decresce com a temperatura, haveria uma conspiração de fatores para tornar bem lento o resfriamento da Terra. Isto é coerente com o fato de que fósseis de formas de vida compatíveis com temperaturas mais elevadas são mais antigos do que os de formas compatíveis com temperaturas menores. Há ainda amostras de rochas datando cerca de 4 bilhões de anos que estiveram em contato direto com a água no estado líquido, o que não seria possível se não fosse um forte efeito de estufa lutando contra a baixa luminosidade solar daquela época (75% da atual).

Estas considerações permitem levar esta discussão um pouco mais adiante, tocando em pontos como o da existência de vida inteligente em outros lugares do Cosmo.

O tempo de evolução da vida inteligente na Terra demandou vários bilhões de anos. Como o período que medeia entre a entrada da estrela na Sequência Principal e a sua mudança para Gigante ou Supergigante é mais curto para estrelas de maior massa, este fato impõe um limite superior para a massa de estrelas capazes de ter planeta portador de vida como a conhecemos. Na verdade uma estrela maior tem maior quantidade de combustível, mas a taxa de queima cresce com o cubo da sua massa. Assim a estrela deverá ter massa inferior a 1,5 da massa solar. Mas ela não deve ter menos que aproximadamente 0,7 da massa solar, pois, quanto menor a estrela, menor a sua luminosidade, sendo preciso que o planeta fique cada vez mais próximo da estrela central. Estimava-se que abaixo de 0,7 massas solares, o planeta estaria tão próximo da estrela, a ponto de os efeitos de maré se tornarem importantes. É sabido que o atrito resultante faria com que a rotação do planeta fosse rapidamente diminuída. Ora, a rotação rápida minimiza as flutuações de temperatura entre a noite e o dia. Com rotação lenta os extremos de temperatura tornar-se-iam inaceitáveis. Ficam também excluídas as estrelas binárias ou múltiplas, nas quais os movimentos relativos perturbariam a órbita planetária a pon-

to de a alterarem sensivelmente em tempos mais curtos que o da emergência da vida. Estimativamente ficaríamos assim reduzidos a cerca de 20% das estrelas da Galáxia. É necessário ainda que o planeta se encontre numa distância apropriada em relação à estrela e que possua mas sa apropriada para reter sua atmosfera. Com isso a porcentagem acima deve cair para 1%. Havendo 200 bilhões de estrelas na Via Láctea, res tariam 2 bilhões de candidatas prováveis para portarem planetas com vida. O número provável de civilizações tecnológicas na Galáxia pode ser obtido multiplicando-se o número de candidatas acima pela razão: (duração de uma civilização tecnológica)/(duração da estrela na Sequência Principal). Se, por exemplo, a civilização tecnológica dura tipicamente uns 300.000 anos, a civilização extra-terrestre mais próxima estaria a cerca de 200 anos-luz, com um total de 60.000 tecnologias na Galáxia.

A relação predador-presa tem sido invocada para se argumentar que a civilização na Terra é única, pois a Terra não foi colonizada por seres extra-terrestres apesar de ser colonizável. Este argumento só se fundamenta se se ignora os fatores psicológicos de um possível ser inteligente extra-terrestre; há muitas razões para que tal ser não nos encare como presa. Mais; a colonização da Galáxia não é tecnologicamente factível, pois mesmo em condições altamente idealísticas de mandaria várias centenas de milhões de anos. Do ponto de vista biológico o alcance da presa passado o tempo de vida do próprio predador é completamente nulo. Para nós seria inútil tentar alcançar uma presa a 200 anos-luz.

Numa missão colonizadora as possibilidades de colonização só podem ser constatadas quando o veículo espacial estiver próximo do ob jeto e isso requer manobras com alta aceleração. Nelas é inútil tentar economizar combustível aumentando-se a velocidade de ejeção, pois, a concomitante alta geração de energia não é bem aproveitada pelos mo tores. Fatalmente essas operações requerem o uso de baixas velocidades de ejeção e baixa eficiência no aproveitamento do combustível. A repetição de inúmeras manobras desse tipo, entre sucessos e insucessos na escolha de estrelas candidatas, torna tal empresa tecnologicamente inviável. Isto leva fatalmente à discussão de comunicação extra-terres-tre.

Um rádio-telelescópio como o do Instituto Max Planck em Bonn, Alemanha, potencialmente poderia emitir sinais captáveis até a 5.000 anos luz. Suponhamos que os primeiros 7 dígitos do número "pi" codificados na forma binária, constituam a mensagem inteligível. Sua transmissão requer cerca de 20 segundos. Uma rede, por exemplo, de 90 telescópios iguais ao de Arecibo, Porto Rico, distribuídos ao longo de uma linha de longitude na Terra, poderia dar cobertura, de pólo a pó-

lo, a uma faixa de  $2^{\circ}$  de largura. A cada rotação da Terra essa faixa varreria o céu todo e em cada dia a chance de captar a mensagem de um transmissor continuamente ligado em direção à Terra seria de  $2/360$ . A mensagem seria captada à razão de umas 20 vezes por dia. Mesmo levando-se em conta os problemas de procura de frequência de transmissão (na base de 20 tentativas por dia) e considerando-se um regime mais realista de transmissão intermitente para a Terra, a escala de tempo requerida para o estabelecimento de comunicação seria muito inferior à demandada para colonizar a Galáxia.

Podemos o envolvimento do Homem na comunicação cósmica com eventuais super-intelectos nos representar a ameaça de uma relação predador-presa ao nível intelectual? Eis um bom ponto de partida para divagarmos no âmbito de uma boa ficção e para testarmos nossa própria disposição para aceitar o papel de presa.