

Cognição em Bactérias

André Olinto Latansio

UNICAMP – Programa de Pós-Graduação FEEC

Resumo. Bactérias são organismos vivos unicelulares que apresentam um comportamento complexo, não explicável apenas em termos de processos metabólicos celulares. Do ponto de vista da ciência cognitiva, bactérias apresentam o fenômeno da cognição situada e incorporada. Também se observa que as bactérias normalmente se agrupam em colônias, gerando comportamentos cooperativos que ajudam a manter a sobrevivência da espécie. Nisso, uma colônia bacteriana se assemelha a um sistema multi-agentes.

Palavras-chave: Cognição, Bactérias, Agentes

I. INTRODUÇÃO

As Bactérias foram as primeiras formas de vida a habitar o planeta Terra e contribuírem para as mudanças atmosféricas e ambientais do planeta. Elas têm a capacidade de converter substâncias químicas inorgânicas em substâncias orgânicas de *baixa-entropia*. Estudando-se os mecanismos que permitem a uma bactéria se manter *viva*, percebeu-se a existência de processos *cognitivos* envolvidos na geração de comportamentos da bactéria. Assim, elas são capazes de sentir o seu ambiente e gerar informações internas que são processadas através de suas capacidades *bioinformáticas* naturais. Os mecanismos que geram tais capacidades bioinformáticas, necessárias para a manutenção de funções fundamentais, compreendem a auto-organização intracelular, a plasticidade genômica e as conformações dinâmicas da membrana celular. (Ben Jacob, 2006)

Sendo organismos vivos, cabe a necessidade de se definir o que seria *vida*. A definição apresentada aqui, neste artigo, está relacionada aos processos físicos termodinâmicos que controlam a manutenção da vida como um *estado* a ser mantido no decorrer do tempo. Uma segunda definição é proposta do ponto de vista da *autopoiese* – um termo que foi cunhado para englobar os processos necessários a um sistema para o mesmo ser chamado de *vivo*.

Antes de se falar sobre cognição em bactérias, há a necessidade de se definir o que seria *cognição*. Esse termo possui várias definições, mas, aqui foram tratadas aquelas que mais se assemelham aos processos que ocorrem em (e são exibidos por) uma bactéria ou colônia de bactérias. Uma investigação mais aprofundada revela que tais processos podem ser ditos como os mínimos requisitos para um sistema apresentar cognição.

Esses organismos vivos – que são as mais simples formas de *vida* – exibem um comportamento “inteligente” e apresentam cooperação com outros indivíduos de sua espécie. Além de algum tipo de comunicação “linguística”, vivendo em complexas *sociedades* formadas por inúmeros indivíduos na forma de colônias. A vida em colônias permite às bactérias melhores chances de perpetuarem-se como espécie viva. Numa colônia, as bactérias se comunicam por meio de mensagens químicas. Essas trocas de informações entre os indivíduos da colônia gera uma *memória* coletiva do grupo – visto que as bactérias possuem mecanismos (“ferramentas”) que lhes permite gerar conhecimento aprendido a partir de experiências vividas. (Ben Jacob, 2006)

Tais características conduzem a conclusão de que as bactérias realmente apresentam o fenômeno da cognição. Não seriam organismos controlados por simples processos metabólicos – apesar de tais processos servirem de base para os processos cognitivos.

Sendo tais comportamentos cognitivos gerados a partir de estruturas simples, uma bactéria apresenta um grande poder de processamento de informações levando a geração de novos conhecimentos. Isso, aliado a estruturação das bactérias em colônias de indivíduos, leva a visão de uma colônia de bactérias servindo de inspiração para a construção de sistemas multi-agentes muito eficazes na tarefa de atuarem otimamente no seu ambiente de atuação.

Uma especulação também é proposta sobre a relação entre as bactérias e as habilidades cognitivas exibidas por humanos.

II. VIDA

Na visão de Schrödinger – numa tentativa de formalizar o que seria *vida* do ponto de vista da física, pouco tempo antes da descoberta do código genético (DNA): um organismo vivo é um sistema *aberto*, continuamente atravessado por um fluxo de matéria e energia. (Bourgine & Stewart, 2004)

Schrödinger também propôs que para manter-se vivo um organismo deve não somente se alimentar de energia (igual a uma “máquina” criada pelo homem), mas, é necessária a absorção de energia de baixa-entropia e a eliminação de resíduos de alta-entropia. Ou seja, um organismo vivo troca continuamente *entropia* com o seu ambiente, mantendo sempre um estado interno de baixa entropia. Dessa forma, um organismo vivo segue os princípios físicos da termodinâmica. (Ben Jacob, Shapira & Tauber, 2006)

No caso de uma bactéria, a mesma representaria uma “fábrica” composta por diversas ‘máquinas’ que estariam continuamente processando as informações do sistema para regular seu metabolismo e realizar as trocas energéticas com o ambiente. Essa visão corrobora com a de Schrödinger, que também notou que os organismos vivos devem ser capazes de extrair informações do seu ambiente, realizar algum tipo de processamento sobre elas, e com isso, gerar novas informações (representações internas sobre o ambiente). Esse seria o critério para haver vida: flexibilidade e liberdade de gerar respostas. (Ben Jacob, 2006)

Outra definição de “o que seria” *vida* foi proposta por Maturana & Varela, do ponto de vista da *autopoiese*: “um sistema que é ambos autopoietico e cognitivo é um sistema vivo”. A definição do significado de *autopoiese* especifica uma propriedade comum a todos os organismos vivos, e que seria o mínimo suficiente para haver vida. (Bourgine & Stewart, 2004)

III. AUTOPOIESE

Esse termo foi cunhado por Maturana & Varela, nos anos oitenta, e seria uma abstração dos processos de *auto-produção* que ocorrem em sistemas vivos. O termo *autopoiesis* denota a capacidade de um sistema de produzir a si mesmo. (van Duijn, Keijzer & Franken, 2006)

Um sistema autopoietico é uma rede de processos *auto-organizáveis* que mantém sua organização, apesar das perturbações externas. Seria uma rede de processos que produzem os componentes que produzem a própria rede. Um exemplo bem conhecido de sistema autopoietico seria uma *célula* (e, por conseguinte, uma bactéria). (Bourgine & Stewart, 2004)

IV. COGNIÇÃO

Cognição, dentre as muitas definições deste termo, seria algo que permite a um organismo (vivo ou artificial) controlar seu próprio comportamento e ser capaz de lidar com a complexidade do seu ambiente. No caso dos organismos vivos, como nas bactérias, a cognição ‘brotaria’ dos processos biológicos, ou seja, ela emerge do metabolismo da célula. (van Duijn, Keijzer & Franken, 2006)

Para melhor definir este termo, faz-se necessário impor alguma restrição: um sistema é cognitivo se e somente se suas entradas sensoriais servem para disparar ações orientadas a cumprir um propósito. Ou seja, faz-se necessário que o sistema possua *coordenação sensório-motora* – sensores e efetores (atuadores) sendo coordenados por algum tipo de processamento de informações, que é o que ocorre no caso das bactérias. (Bourgine & Stewart, 2004)

A cognição também pode ser vista como a soma das habilidades que permitem a um organismo, *flexibilidade* e *autonomia* para lidar com seu ambiente complexo. Nesse contexto, os *procariontas* (bactérias) evoluíram um elaborado

aparato sensório-motor para permitir operar sobre o seu ambiente em constante mudança. (Müller, di Primio & Lengeler, 2001)

V. MINIMAL COGNITION

Seriam as *mínimas* características que um sistema deveria ter para apresentar o fenômeno da *cognição*. Mínima cognição requer a *corporificação* de um mecanismo sensório-motor que compreenda uma rede *metabólica/autopoietica*. A coordenação sensório-motora difere dos processos puramente metabólicos, e seria o ponto de partida para haver mínima cognição. (van Duijn, Keijzer & Franken, 2006)

As bactérias são um bom exemplo de um sistema que apresenta mínima cognição. Elas constituem uma rede autopoietica (com metabolismo), possuem um ‘corpo’ imerso num ambiente, e apresentam coordenação sensório-motora. No caso das bactérias, o seu genoma (DNA) funciona como um “programa” que armazena as instruções sobre como construir os diversos elementos do corpo celular, o “hardware”, da bactéria. O seu genoma pode sofrer alterações, ou seja, o seu ‘software’ é flexível. As alterações no genoma bacteriano causam mudanças na morfologia do corpo celular, ou seja, podem alterar o ‘hardware’. Mudanças morfológicas no corpo celular podem induzir novos comportamentos na bactéria. Novos hábitos podem induzir alterações genômicas. Esse intrincado mecanismo auto-dependente, exibido pelas bactérias, pode ser visto como *cognição*. (Müller, di Primio & Lengeler, 2001)

VI. COGNIÇÃO EM BACTÉRIAS

As bactérias são organismos vivos unicelulares que possuem metabolismo celular e apresentam cognição. Existe uma relação estreita entre metabolismo e cognição numa bactéria. Basicamente, a cognição proporciona às bactérias uma vantagem evolutiva no sentido de preservar a própria vida e a preservação da espécie. Os tópicos abaixo demonstram alguns mecanismos cognitivos observados nas bactérias e em suas colônias. São comportamentos complexos demais para serem descritos puramente apenas como processos metabólicos.

A. Diferenciação

Os sensores e efetores (Figura 1) presentes no “corpo” de uma bactéria são fundamentais para determinar o seu comportamento, ou seja, a coordenação sensório-motora influencia o processo de cognição da bactéria. Por exemplo, no caso do metabolismo da lactose – um tipo de açúcar que serve de alimento à bactéria *E. coli*. A principal fonte de alimento dessa bactéria é o açúcar glucose, cujos receptores (sensores) para esse açúcar estão presentes na membrana bacteriana. Num ambiente rico em glucose, não há necessidade de a bactéria expressar efetores (os *flagelos*) para se deslocar no meio. (di Primio & Kilian, 2001)

No entanto, num ambiente pobre em glicose, a bactéria expressa (a partir de seu DNA) os receptores de lactose, além dos flagelos para se mover. É ativado o metabolismo da lactose e a bactéria move-se pelo ambiente à procura de novas fontes de glicose. Havendo uma maior oferta de glicose no ambiente, a bactéria preferirá metabolizar a glicose em detrimento da lactose, além de poder eliminar os receptores de lactose e os seus flagelos. (di Primio & Kilian, 2001)

Esse comportamento descreve o fenômeno da *diferenciação* numa bactéria. Ou seja, a capacidade de poder expressar sensores/efetores quando necessário e eliminá-los quando os mesmos forem desnecessários. O conjunto de todos os sensores e efetores que uma bactéria pode expressar está codificado no seu genoma (DNA). No entanto, apenas alguns efetores e (ou) sensores são expressos, a cada momento, dependendo das condições ambientais. (Müller, di Primio & Lengeler, 2001)

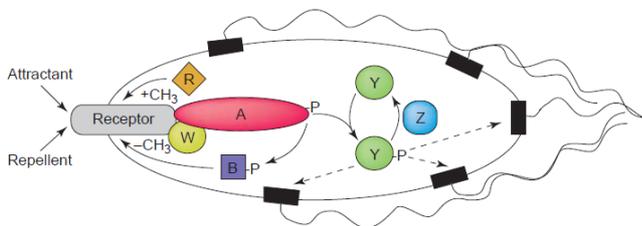


Fig. 1. Representação dos sensores e atuadores (efetores) de uma bactéria. Uma bactéria possui receptores químicos e flagelos, pequenos filamentos que conferem mobilidade à bactéria. (Sourjik, 2004).

B. Chemotaxis

Quando imersas numa solução neutra, as bactérias do tipo *E. coli* exibem um padrão de movimentação aleatória no meio ambiente em que estão imersas. Injetando-se uma porção de alimento (açúcar) num ponto específico do ambiente, as bactérias parecem *sentir* a presença da fonte alimentícia e movem-se em direção a ela. Por outro lado, a presença de antibióticos – substâncias nocivas às bactérias – num ponto específico do ambiente, faz com que as bactérias evitem aquela região. (van Duijn, Keijzer & Franken, 2006)

Essas observações induzem a se pensar que as bactérias “sentem o gosto” do ambiente ao seu redor (Figura 2). A informação (*gosto*) percebida pela bactéria ativa um comportamento específico – acionamento dos efetores (flagelos) da bactéria. Dessa forma, elas são atraídas ou repelidas para pontos específicos do ambiente. (Ben Jacob, Shapira & Tauber, 2006)

Chemotaxis é um processo constituído por reações químicas e mudanças físicas de posição da bactéria de acordo com as características do ambiente. Dessa forma, a chemotaxis é um exemplo de como a coordenação sensorio-motora pode expandir os processos metabólicos de uma bactéria, conferindo a mesma algum tipo de cognição (percepção e respostas adequadas) sobre o seu ambiente. (van Duijn, Keijzer & Franken, 2006)

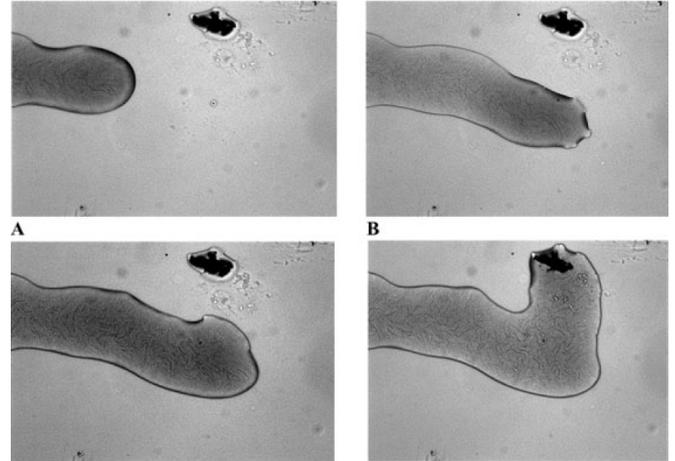


Fig. 2. *Tasting Food*. A direção de crescimento de um ramo de uma colônia de bactérias foi alterada pela presença, detecção, de uma fonte de alimento no meio ambiente. (Ben-Jacob, 2009).

C. Quorum Sensing

As bactérias não vivem isoladas no seu ambiente. Existe um comportamento cooperativo entre elas para atingir seus objetivos. Portanto, convém falar de *colônia* ao invés de bactéria. As decisões de uma bactéria são para o bem da colônia, em detrimento dos próprios indivíduos isoladamente. As bactérias estão continuamente “lendo” as informações do seu ambiente, as suas próprias informações internas e as informações transmitidas pelos outros membros da colônia, para auxiliar nas tomadas de decisão da colônia como um todo. (Shapiro, 2007)

Uma bactéria é capaz de *sentir* apenas uma pequena área do ambiente ao seu redor. Assim sendo, numa colônia com bilhões de indivíduos, as bactérias podem cobrir uma enorme porção do seu ambiente e coletar continuamente as informações contidas no meio. As informações coletadas por cada bactéria são transmitidas aos demais membros da colônia por meio de mensagens químicas, sendo esse processo denominado *Quorum Sensing*. (Ben-Jacob, 2009)

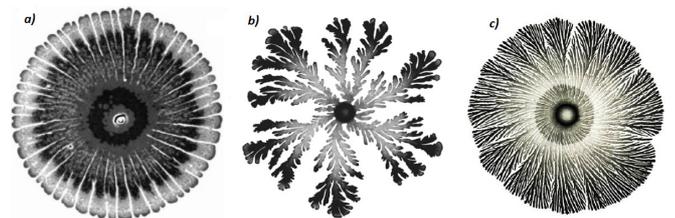


Fig. 3. Padrões de crescimento de colônias de bactérias. O padrão em a) foi formado pela predominância de sinalização quimiotática atrativa num meio rico em alimento. O padrão b) deve-se a diferentes sinalizações quimiotáticas causadas pelas concentrações de alimento no meio. O padrão c) foi formado pela predominância de sinalização quimiotática repulsiva num meio pobre em alimento. (Ben Jacob, Shapira & Tauber, 2006).

Esse fenômeno de cooperação por meio de comunicação envolve um mecanismo de sinalização intracelular baseado numa *linguagem* genética – codificada no genoma de cada bactéria que forma a colônia. (Ben Jacob, Shapira & Tauber, 2006).

Esse mecanismo controla, por exemplo, o padrão de crescimento da colônia (Figura 3). Nesse caso, as informações do ambiente são trocadas entre as bactérias por meio de sinalização quimiotática. Essas sinalizações – mensagens químicas – podem ser de dois tipos: atrativas ou repulsivas. As informações contextuais sobre o meio (na forma de mensagens químicas) são interpretadas por cada bactéria da colônia para formular uma resposta adequada, também transmitida na forma de sinalizações químicas. (Ben Jacob, Shapira & Tauber, 2006).

O genoma bacteriano não pode conter todo tipo de informação sobre os diversos padrões de crescimento da colônia, em resposta às mudanças do ambiente. Por isso, a necessidade de um sistema de comunicação *linguístico* entre os indivíduos que compõem a colônia. Essa linguagem usada pelas bactérias pode mesmo se alterar ao longo do tempo – similarmente ao que costuma ocorrer com a linguagem humana. (Ben Jacob, 2006).

D. Memória

Há indícios de que as bactérias possuem memória *epigenética*, ou seja, que fica armazenada no seu código genético. Esse tipo de memória é formada a partir de reações da bactéria a alterações no seu ambiente. Ou seja, a bactéria *aprende* a partir de experiências passadas. Um caso particular é a resposta de uma colônia de bactérias a encontros com antibióticos, conforme ilustra a Figura 4. (Ben Jacob, 2006)

Nesse experimento, expõe-se uma colônia de bactérias a um tipo de antibiótico. O antibiótico inibe o crescimento da colônia, conforme pode ser visto na Figura 4, segundo slide. Em seguida, extrai-se uma amostra (algumas bactérias) dessa colônia para formar uma nova colônia num meio livre de antibióticos. Aplica-se de novo o mesmo antibiótico no meio onde se formou a nova colônia. O resultado obtido (terceiro slide da Figura 4) demonstra que houve algum tipo de reação da colônia à segunda exposição ao antibiótico. (Ben-Jacob, 2009)

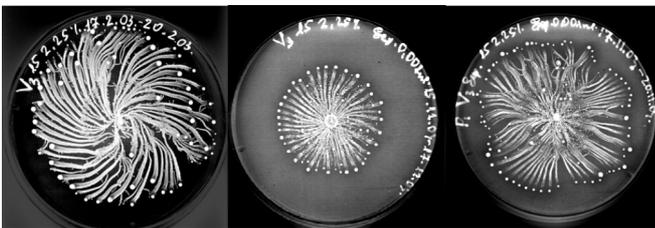


Fig. 4. Memória Bacteriana. O primeiro slide mostra o padrão de crescimento normal de uma colônia num ambiente ausente de antibióticos. Em seguida, o padrão de uma colônia exposta à presença de antibióticos no meio. E, a resposta da colônia a um segundo encontro com o mesmo antibiótico. (Ben Jacob, 2006).

Em resposta ao estresse causado pelo antibiótico, algumas bactérias intensificam a atração *chemotática*, formando grandes vórtices. Dessa forma, o antibiótico será diluído no líquido lubrificante excretado pelas bactérias dos vórtices formados. Ao mesmo tempo, outras bactérias intensificam a

repulsão quimiotática, fazendo os vórtices se moverem rapidamente para longe das áreas de maior concentração do antibiótico. Esse novo padrão de crescimento complexo adaptado às condições ambientais só foi possível porque as bactérias possuem algum mecanismo de aprendizado a partir de experiências passadas que expressa novos conhecimentos no genoma bacteriano. (Ben Jacob, 2006)

E. Esporulação

Quando o ambiente ao redor da colônia de bactérias torna-se desfavorável para o crescimento da colônia – ou seja, num período de “fome” extrema – as bactérias podem decidir *esporular*. (Ben Jacob, Shapira & Tauber, 2006)

Esse é um estado no qual a colônia assume a conformação de uma estrutura compreendendo uma “cabeça” (os *esporos*) e um “caule”, conforme ilustrado na Figura 5. O caule é formado por células cuja única função é manter a estrutura dos esporos suspensa, livre do meio no qual a colônia havia se formado. A cabeça é formada por células especializadas, os esporos, cuja função será propagar uma nova geração de bactérias num novo ambiente favorável ao crescimento da colônia. (Müller, di Primio & Lengeler, 2001)

Para uma colônia entrar nesse estado de conformação *irreversível*, é realizada uma “consulta” a todos os indivíduos da colônia, constituindo-se numa tomada de decisão coletiva. Cada bactéria da colônia *percebe* o ambiente ao seu redor, e emite um sinal químico como resposta. Esse sinal pode ser uma mensagem ‘contra’ ou ‘a favor’ da esporulação – dependendo das condições de crescimento do ambiente, percebidas por cada bactéria. Essas mensagens são interpretadas por cada bactéria, onde a mesma as compara com suas próprias percepções, para gerar uma interpretação contextual (mensagem química) sobre o estado da colônia. Após todos os indivíduos da colônia terem “lido” as mensagens dos outros e gerado suas próprias, o estado da colônia – esporular ou não – é decidido por “voto majoritário”. (Ben Jacob, Shapira & Tauber, 2006)

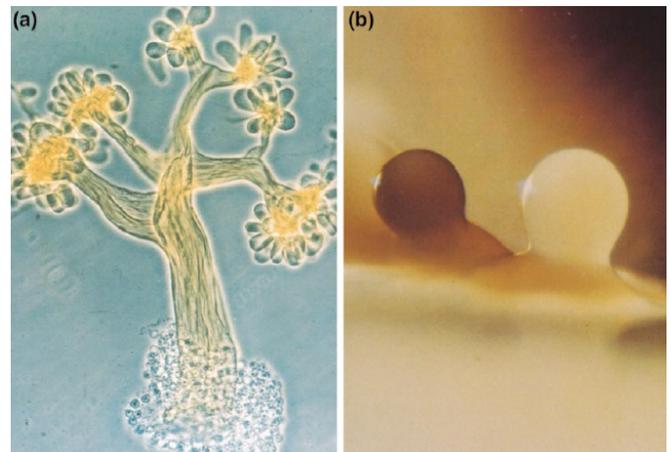


Fig. 5. Corpos Frutíferos de duas espécies de bactérias. Nesse estado, algumas bactérias se transformam no *caule*, enquanto outras formam os *esporos* que contém células reprodutivas. (Crespi, 2001).

F. Conjugação

Freqüentemente, as bactérias trocam informações contextuais (extraídas do seu ambiente) entre si. Essas informações são transferidas pelo processo de *conjugação*. (Ben Jacob, Shapira & Tauber, 2006). Esse é um tipo de comportamento sexual, onde ocorre a transferência *horizontal* de genes entre indivíduos de uma mesma geração. Isso constitui-se numa troca de *conhecimento*, na forma de plasmídios, entre duas bactérias. Os plasmídios são pequenos anéis de DNA que codificam informações. Um tipo de informação representada por um plasmídio pode ser uma característica que torne a bactéria resistente a algum antibiótico. (Raz, & Tannenbaum, 2010).

Esse tipo de cooperação informativa entre procariotas (bactérias) costuma ocorrer mais freqüentemente em ambientes hostis – por exemplo, presença de antibióticos no meio. O processo se dá pela formação de um apêndice (chamado *pilus*) na bactéria doadora, conforme ilustra a Figura 6. O *pilus* se liga a bactéria receptora, ocorrendo então a transferência de plasmídios. (Müller, di Primio & Lengeler, 2001)

Essa troca de informação genética pode ser vista como uma forma de *comunicação* entre as bactérias. Dessa forma, as bactérias estariam “falando” umas pras outras como lidar com novas adversidades presentes no seu ambiente. (Müller, di Primio & Lengeler, 2001)

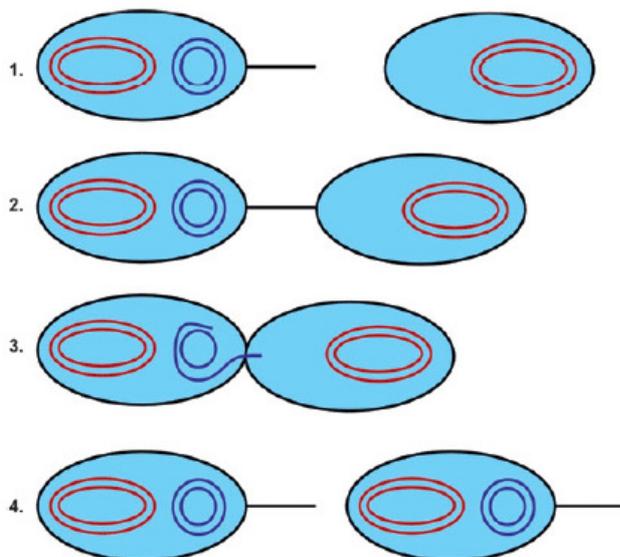


Fig. 6. Conjugação Bacteriana. Ilustração da troca de plasmídios, anéis em azul, entre bactérias. O traço em preto representa a formação do *pilus*. O anel vermelho representa o cromossomo bacteriano. (Raz, & Tannenbaum, 2010).

VII. DISCUSSÃO

Seres humanos são ditos “seres inteligentes” e *conscientes*. No entanto, as habilidades cognitivas expressas nos humanos – consciência, memória, linguagem, *inteligência* – não surgiram do nada. É de consenso geral que o cérebro seria a fonte da razão e emoção humanas. Sendo o cérebro formado por

células, os neurônios, as propriedades cognitivas expressas por ele seriam fruto de propriedades intrínsecas aos corpos celulares neuronais. No entanto, ainda se discute se não haveria *dualidade* “mente-corpo” nos fenômenos cognitivos da mente que emergem dos corpos celulares do cérebro.

Numa bactéria, supõe-se que não haveria tal dualidade. O próprio corpo – o DNA e as diversas proteínas que compõem a maquinaria celular – da bactéria também seriam responsáveis pela sua ‘mente’. Informações sobre os mecanismos cognitivos e mesmo a *memória* de uma bactéria são codificados no genoma bacteriano. As diversas cadeias de reações químicas metabólicas das proteínas afetam diretamente a geração de comportamento – as tomadas de decisão – numa bactéria.

Vida significa a manutenção de um *estado* que englobaria tudo o que é necessário para um ‘ser’ ser dito “vivo” e continuar possuindo vida. No caso dos seres humanos, esse estado de vida também equivale a um estado de “estar consciente”. Consciente do mundo... Mas, também consciente e *senciente* de si mesmo. A perda da ‘consciência’ equivaleria, para um ser humano, a um estado próximo ao de *morte*. E a perda da ‘senciência’... Ao que equivaleria?

Células, iguais às bactérias (e mesmo neurônios do cérebro), precisam manter um estado de baixa entropia energética para manterem-se no estado de vida. Numa bactéria, as suas propriedades cognitivas auxiliam a manutenção desse estado. E, obviamente, a reprodução celular das bactérias garante que sempre haja vida (bacteriana).

Entre bactérias se reproduzindo e compondo uma colônia e, os neurônios compondo as redes neuronais do cérebro, há uma grande distância. Bactérias se empenham na sobrevivência da colônia, em detrimento de sua própria existência. Por meio de trocas de informações entre bactérias, numa colônia, a sobrevivência das bactérias, como espécie, é garantida. Neurônios são ávidos por impulsos neurais. A constante comunicação entre neurônios no cérebro garante que o ser vivo – no caso o homem – que dele depende, continue vivo. Diferença a parte, poder-se-ia tentar imaginar como os mecanismos celulares cognitivos de uma bactéria teriam evoluído para a complexa maquinaria neuronal do cérebro.

Sistemas multi-agentes podem se beneficiar das lições aprendidas com as bactérias. Mesmo hoje, apesar da *evolução*, esses pequeníssimos seres ainda coexistem com organismos mais bem adaptados – do ponto de vista cognitivo – para lidar com as adversidades da vida.

VIII. CONCLUSÃO

Somente o metabolismo celular não é suficiente para explicar a complexidade dos comportamentos exibidos por uma bactéria e (ou) uma colônia de bactérias. Nota-se, portanto, a existência de processos cognitivos atuando na geração de comportamento de uma bactéria/colônia. Uma bactéria possui um corpo celular imerso num ambiente em constante mudança. Dessa forma, uma bactéria é similar a um *agente cognitivo situado e incorporado*.

A cognição, para uma bactéria, seria “a propriedade” que lhe permite sobreviver às mudanças de seu ambiente. O sistema aberto de receptores químicos e efetores de uma bactéria é coordenado por cadeias de reações metabólicas codificadas no seu genoma celular. Essa coordenação sensório-motora é o que permite, à bactéria, um mínimo de cognição.

O genoma bacteriano não é grande o suficiente para armazenar todas as informações possíveis a uma bactéria lidar com seu ambiente – principalmente, devido ao mesmo estar em constante mutação. O que é codificado no genoma bacteriano são as informações (obtidas do ambiente) que permitem a uma bactéria criar “ferramentas” para lidar com seu ambiente. Nesse sentido, uma bactéria é um exemplo de como é possível gerar comportamentos complexos a partir de instruções simples. Uma colônia de bactérias, nessa visão, poderia servir de inspiração para se criar *sistemas multi-agentes* com flexibilidade e autonomia para lidar com a complexidade exibida por seu ambiente operacional.

Uma última consideração: poderiam as bactérias elucidar os primórdios do surgimento do fenômeno da cognição, exibido pelos seres vivos? Foi demonstrado, neste artigo, que as bactérias possuem algum tipo de “memória”. Seria essa *memória* a base do complexo sistema memorial visto no cérebro humano? E quanto à *consciência*... Seres humanos são conscientes de seu mundo e acerca de sua própria existência. Os exemplos comportamentais de uma bactéria (colônia) descritos neste artigo demonstram que: bactérias *percebem* (e reagem a) seu ambiente. O quanto poderia essa *percepção* ser vista como algum tipo de *consciência* sobre a existência de um mundo e de si próprio como um indivíduo que habita um mundo?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ben Jacob, E. (2006). Bacterial Know-How: From Physics to Cybernetics. , *PHYSICAPLUS* 7.

Ben Jacob, E., Shapira, Y. & Tauber, A.I. (2006). Seeking the foundations of cognition in bacteria: from Schrödinger’s negative entropy to latent information. *Physica A*.

Ben-Jacob, E. (2009). Learning from bacteria about natural information processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*.

Bourgine, P. & Stewart, J. (2004). Autopoiesis and cognition. *Artificial Life*, 10.

Crespi, B. (2001). The evolution of social behavior in microorganisms. *Trends in Ecology and Evolution*, 16.

di Primio, F. & Kilian, A. (2001). Minimum Forms of Control in Prokaryotes and their Computational Meaning. Submitted to 5th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2001).

Müller, B. S., di Primio, F. & Lengeler, J. W. (2001). Contributions of Minimal Cognition to Flexibility. SCI 2001 *Proceedings of the 5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Volume XV, Industrial Systems: Part II, by the International Institute of Informatics and Systemics.

Raz, Y. & Tannenbaum, E. (2010). The Influence of Horizontal Gene Transfer on the Mean Fitness of Unicellular Populations in Static Environments . *Genetics Society of America*, 185.

Shapiro, J. A. (2007). Bacteria are small but not stupid: cognition, natural genetic engineering and socio-bacteriology. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 38.

Sourjik V. (2004). Receptor clustering and signal processing in *E. coli* chemotaxis. *Trends Microbio*, 12.

van Duijn, M., Keijzer, F. & Franken, D. (2006). Principles of Minimal Cognition: Casting Cognition as Sensorimotor Coordination. *Adaptive Behavior*, 14(2).