

# Semiose Celular: Endo-semiose e Exo-semiose

André Olinto Latansio

UNICAMP – Programa de Pós-Graduação FEEC

**Resumo.** A semiótica de Peirce, que usa um modelo triádico de signo, pode ser usada para explicar os fenômenos semióticos exibidos pelos seres vivos. Células e micro-organismos exibem processos de endo-semiose e exo-semiose. A Biosemiótica estuda tais processos, realizando a análise semiótica dos mesmos. Essa análise é útil para realizar a síntese semiótica, ou seja, se inspirar nos sistemas semióticos vivos para criar sistemas semióticos artificiais.

**Palavras-chave:** Semiótica, Peirce, Célula

## I. INTRODUÇÃO

Os seres vivos podem ser vistos como *a maneira pela qual o Universo torna-se consciente de si mesmo*. A vida emerge de uma auto-organização que ocorrem dentro de uma célula. A manutenção da vida depende de coisas (conceitos) tais como: *cognição, informação, comunicação, emergência e significação*. A Biosemiótica estuda o fenômeno da significação nos seres vivos. (Brier, 2003)

Seres vivos possuiriam uma forma *primitiva de mente*. A visão filosófica de Peirce fornece um direcionamento à compreensão do fenômeno da vida. Vida está ligada à noção de *mente*, que liga-se ao conceito de *signo*. A mente do *intérprete* processa os signos. Seres vivos apresentam processos de semiose, tanto internamente (endo-semiose) quanto externamente (exo-semiose). (Wood, 2005)

Células processam signos. Bactérias movem-se em direção ao gradiente de açúcares. Como esse fenômeno seria possível? A semiótica pode explicar tal fenômeno, analisando os processos envolvidos neste, como sendo processos semióticos. A vida baseia-se num processo de interpretação, que relaciona-se a um processo de conhecimento. (Wood, 2005)

Através da análise semiótica de tais processos, pode-se chegar a uma síntese semiótica dos mesmos. Isto é, usar os conceitos envolvidos no processo de interpretação de conhecimento (processo de significação) – realizado por células e micro-organismos – para criar sistemas artificiais que realizam semiose, exibindo comportamento inteligente. No caso, entende-se *inteligência* como sendo um processo de tomada de decisão *mediado* por algum *propósito*.

## II. CÉLULAS E BACTÉRIAS

Bactérias e células são as mais simples formas de vida que conhecemos – servindo, no caso das células, para formar os seres vivos multicelulares de mais alta ordem na natureza. Mesmo essas formas simples de vida exibem alguns processos que podem ser ditos *semióticos*.

### A. Genes

Os *genes* são definidos pelos biólogos como “*os portadores da informação hereditária*”. Basicamente, os genes servem ao propósito de definir as “*futuras gerações*” de seres vivos – sejam estes seres multicelulares, unicelulares, ou mesmo a própria célula. Esse conceito de *informação*, na biologia, é estudado pela *Biosemiótica* – que analisa os sistemas biológicos do ponto de vista da semiótica. A semiótica de Peirce (Charles Sanders Peirce, filósofo norte-americano) permite a análise dos dois processos fundamentais no sistema de informação genética: *transcrição* e *síntese de proteínas*. (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

O *DNA* celular contém os genes que definem uma espécie de ser vivo – sendo o repositório da informação genética. Assim sendo, o gene é uma sequência de *DNA* que codifica uma *proteína* (polipeptídeo) ou um *RNA*. O *RNA* age como um intermediário que traduz a informação do *DNA* nos aminoácidos que irão formar as proteínas no interior da célula. A visão clássica da biologia dizia que “o *DNA* gera o *RNA* que gera as proteínas que formam o ser vivo”. No entanto, há um problema concernente ao conceito de *informação* nesse processo: “uma vez que a informação foi passada para a proteína, ela não poderia ser recuperada para ser usada de novo”. Nessa visão, o *DNA* conteria *toda* a informação celular – sendo a fonte de onde a informação flui dentro da célula, e para onde a informação retornaria, posteriormente. (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

O papel da Biosemiótica, neste caso, é esclarecer o conceito de *informação* no contexto dos processos de transcrição e síntese de proteínas celulares – o *DNA* não *faz as coisas* para a célula, e sim, é a célula que *faz coisas* com o *DNA*. O *DNA* realmente contém as informações úteis para o funcionamento de uma célula, na sua tarefa de manter-se “viva”; no entanto, o *DNA* não define a forma como os diversos componentes intracelulares (proteínas) devem interagir para manter o correto funcionamento da célula.

O DNA apenas participa (não define) dos processos de transcrição e síntese de proteínas celulares. Esses processos intracelulares constituem um tipo de semiose conhecido como *endo-semiose*. (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

### B. *Dictyostelium discoideum*

O líquen *Dictyostelium discoideum* é um micro-organismo encontrado no solo das florestas, que também é conhecido como “ameba social” – devido ao fato desses organismos se agruparem em colônias de milhares de indivíduos. Cada indivíduo (ameba) cresce isoladamente, sem depender de outros indivíduos da sua espécie. No entanto, em condições adversas – tais como escassez de alimentos – vários indivíduos podem decidir interagir para formar estruturas multicelulares, ideais para lidar com o seu ambiente hostil. A situação de escassez de alimentos é sinalizada por uma *ameba* por meio de um tipo de substância química (o *cAMP*, um *químioatraente*). Os micro-organismos (amebas) vizinhos “sentem” a presença do *cAMP* liberado e podem “decidir” se agruparem – por meio de *chemotaxis* – para formarem uma *lesma* que permitirá à colônia se mover rapidamente para outra área com melhores condições de sobrevivência. (Hofkirchner, & Günther, 2005)

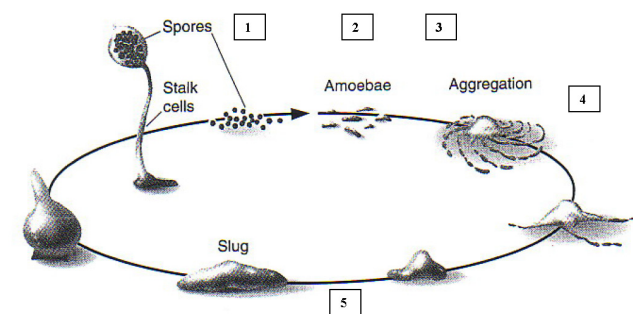


Fig. 1. Ciclo de vida do micro-organismo *Dictyostelium discoideum*. (Hofkirchner, & Günther, 2005).

Esses micro-organismos também possuem outras estratégias de sobrevivência da espécie, baseadas em comunicação *célula-célula*. O ciclo de vida do *Dictyostelium discoideum* compreende algumas fases no desenvolvimento desse micro-organismo (Figura 1). Os *esporos* são “sementes” que dão origem às *amebas*. Dependendo das condições ambientais, as amebas podem se agregar, formando uma *lesma*. A lesma procura uma região favorável à sobrevivência da colônia. Em caso de “fome” extrema, os indivíduos da colônia podem “decidir” pela formação de uma estrutura chamada *corpo frutífero* – composto de um *caule* (formado por células mortas) e os *esporos* (que vão originar novos indivíduos). (Hofkirchner, & Günther, 2005)

Esses processos de troca de informação entre os indivíduos de uma mesma espécie de micro-organismo podem ser analisados semioticamente, constituindo um tipo de semiose conhecida como *exo-semiose*.

## III. SEMIOSE

Seres vivos são estruturas físico-químicas constituídas por inúmeras moléculas químicas contidas dentro de uma membrana que delimita o organismo vivo, separando-o de seu ambiente. Essa membrana celular permite a passagem seletiva de matéria, energia e *informação* – tanto para dentro do organismo, como de seu interior para o meio externo. Os processos que ocorrem nos seres vivos – tais como sinalização celular e códigos orgânicos (DNA) – constituem aspectos *semióticos* necessários à existência dos seres vivos. *Semiose*, conforme definido por Peirce, é o processo através do qual um *signo* media a determinação de um *interpretante*, sendo que ambos se relacionam com um (o seu) *objeto*. (Fernández, 2011)

### Semiótica de Peirce

Charles Sanders Peirce, filósofo norte-americano, desenvolveu uma teoria semiótica na qual o signo faz parte de uma relação *triádica*. Um *signo* seria um *Primeiro* que constitui uma relação triádica com um *Segundo* – chamado de seu *objeto* – e com um *Terceiro* – seu *interpretante*. O interpretante é definido pelo signo e mantém uma relação com o seu objeto, que é a mesma relação mantida entre objeto e seu signo. O signo tem, em si, o poder de definir um interpretante – o qual também possui esse mesmo poder de gerar um novo interpretante. O interpretante pode atuar como um novo signo no processo de semiose. (Wood, 2005)

Na biologia, o estudo dos processos semióticos que ocorrem nos seres vivos (células e micro-organismos) pode ser efetuado seguindo a visão semiótica de Peirce – com relação às noções de *primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade*. O estudo do fenômeno da vida também leva ao conceito controverso de *causalidade* – ou seja, a questão do propósito para o qual alguma coisa existe (ou foi criada). No mundo físico, notam-se basicamente dois tipos de processos físicos. Existem processos que ocorrem espontaneamente – seguindo um gradiente de energia. E aqueles que vão contra o gradiente de energia – ou seja, os processos que consomem energia. (Fernández, 2011)

Os processos físicos que ocorrem numa célula são direcionados por três fatores. Uma tendência da energia se mover *espontaneamente* até sua completa dissipação. Estruturas que resistem ao fluxo de energia, canalizando-o e redirecionando-o – ou seja, as *restrições* impostas às fontes de energia. E, uma tendência (*hábito*) de reproduzir efeitos similares toda vez que fluxos de energia similares e restrições similares forem reproduzidos. A causalidade física pode ser descrita segundo uma concepção triádica envolvendo esses três fatores. Nessa visão, a *espontaneidade*, as *restrições* e os *hábitos* seriam instâncias das três categorias Peirceanas – *primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade*. Dessa forma, a semiose alteraria o modo como a *energia* (ou *informação*) é direcionada – agindo sobre os hábitos incorporados nas restrições que guiam o fluxo de energia até o seu equilíbrio térmico. (Fernández, 2011)

### Informação

Quando olhando para nuvens no céu, alguém poderia achar que vai chover. Para as pessoas, coisas da natureza – tais como nuvens – carregam informação. Da mesma forma, um pesquisador observando o processo de síntese proteica intermediado pelo DNA, poderia chegar à mesma conclusão de que o código genético traz em si *informação*. Substâncias químicas liberadas por bactérias e outros micro-organismos também aparentam possuir o caráter de *comunicar* algum tipo de informação (para algum intérprete). (Maynard Smith, 2000)

Porém, no caso das nuvens, não se pode dizer que exista algum tipo de *intencionalidade* acontecendo no fenômeno conhecido como chuva. Embora nuvens possam ser associadas ao fenômeno de chover, as próprias nuvens não possuem (em si) a intenção de fazer chover. A intencionalidade, neste caso, só é observada no intérprete humano que “viu” nas nuvens a “previsão” de chuva. (Maynard Smith, 2000)

Na biologia, informação implica intencionalidade. Se algo – seja uma molécula química ou mesmo um micro-organismo – carrega informação, então, existe um propósito (ou intenção) nesse fenômeno. Normalmente, esse propósito é o de comunicar algum tipo de informação para um intérprete – processo este que constitui uma semiose: o signo comunica uma forma (ou hábito), do seu objeto, para um interpretante daquele mesmo objeto. (Maynard Smith, 2000)

O conceito de informação, para a Biosemiótica, pode ser visto como “a diferença que faz diferença”. Pensamento este que conduz à visão da informação como algo útil a algum propósito, mas também, como algo que se relaciona (semelhanças e diferenças) com outras coisas. Novamente a noção de signo que se assemelha com o seu objeto, e cujo interpretante causa alguma “ação” num intérprete. Lembrando, também, que os signos se diferenciam entre si – diferentes objetos geram diferentes signos que causam interpretantes diversos. (Fernández, 2011)

## IV. BIOSEMIÓTICA

A Biologia – o estudo dos seres vivos e seus relacionamentos – analisa o fenômeno conhecido como *vida*. Os biólogos constataram que, nesses estudos, há a necessidade de se definir um *propósito* – a função de um órgão (de um ser vivo) não pode ser descrita completamente sem se referir ao seu propósito biológico. Ou seja, há a necessidade de se falar de causalidade, para explicar o fenômeno da vida. (Brier, 2003)

A Biosemiótica usa a semiótica triádica de Peirce para analisar os processos semióticos que ocorrem internamente e externamente aos seres vivos (desde células, até o ser humano). Somente explicações físico-químicas não são suficientes para se explicar os diversos comportamentos que emergem dos seres vivos – mesmo o comportamento de uma única célula ou micro-organismo. (Brier, 2003)

O conceito de signo envolve a noção de *significado*. Os diversos componentes químicos encontrados no interior de uma célula possuem um “significado” – ou seja, um propósito para existirem (eles não estão lá “à toa”). O fenômeno da vida seria algo que emerge de um intrincado e complexo processo de significação. É tarefa da Biosemiótica definir os componentes que participam desse processo *signico* e analisar os seus diversos relacionamentos. (Brier, 2003)

### Emergência

Vida é um conceito que está ligado à *autonomia* – um ser vivo é capaz de manter sua integridade física e executar todas as tarefas necessárias para se manter vivo. Uma célula é algo individual – ou seja, separada do seu meio ambiente. A célula é um compartimento fechado, contendo diversos componentes. A individualidade seria uma forma autossustentável de coesão, com seus componentes contribuindo para a manutenção da sua autonomia. Mantendo-se a estrutura de uma célula intacta – ou seja, mantendo-se seu ambiente fechado e preservando-se os relacionamentos entre seus componentes – mantém-se a autonomia e a vida da célula. (Andrade, 2008)

A vida *emerge* da dinâmica dos relacionamentos que só são possíveis dentro desse ambiente fechado, isolado do restante do mundo. A emergência está ligada à autonomia e ao “fecho” organizacional. A emergência tem causas físicas, no entanto, seres vivos processam informações do seu ambiente – informações essas que contribuem para a manutenção do seu estado de “vivo” e para sua autonomia. Assim, o processamento de informações pode ser visto como uma forma de causalidade. A emergência da vida tem causas tanto físicas quanto informacionais. (Andrade, 2008)

### Vida

A Biosemiótica fornece uma definição (dentre muitas) para *vida*: “vida é a interpretação funcional de signos num sistema de códigos físico, auto-organizável, que constrói seu próprio *umwelt*”. Sendo o *umwelt* o ambiente percebível pelo ser vivo – isto é, as partes do ambiente que o ser vivo é capaz de captar por meio dos seus sensores. Nessa definição, os signos seriam as moléculas químicas, encontradas dentro da célula, que carregam algum tipo de informação. (Ruiz-Mirazo, Peretó & Moreno, 2004)

Outra definição (mais precisa) de vida é dada pela Teoria da Autopoiese: “um sistema Autopoiético – a mínima organização de vida – é definido como uma rede de processos de produção (síntese e destruição) de componentes, tal que, esses componentes, continuamente regeneram e compõem a rede que os produziu, e, constituem o sistema como uma unidade distinguível no domínio no qual eles existem”. Ou seja, uma célula se mantém íntegra graças aos relacionamentos entre os diversos componentes (químico-moleculares) que a compõem. Esses compostos químicos (“máquinas moleculares”) processam outros compostos – ou seja, existe um processamento de informações ocorrendo dentro de uma célula.

Conforme o “estado” (ou estados) da célula, será necessário algum tipo de “atuação” dos seus componentes, criando novos compostos ou destruindo outros. Dessa forma, a ação dos seus componentes, *mediada* pela informação, mantém a manutenção da vida da célula. (Ruiz-Mirazo, Peretó & Moreno, 2004)

## V. ENDO-SEMIOSE E EXO-SEMIOSE

A endo-semiose é um tipo de semiose que ocorre dentro de um organismo vivo. A troca de signos acontece internamente ao ser vivo. A exo-semiose é um tipo de semiose que ocorre entre organismos vivos. A troca de signos acontece externamente ao ser vivo, entre indivíduos da mesma espécie. (Pode ocorrer de um indivíduo conseguir compreender o significado dos signos trocados por outras espécies, que não a sua própria.)

### A. Endo-semiose

Os processos de transcrição e síntese de proteínas celulares constituem um exemplo de *endo-semiose* que ocorre dentro de uma célula, a mais simples forma de vida. Grande parte do genoma celular (DNA) de um organismo multicelular tem a função de codificar proteínas envolvidas na *comunicação* celular – sendo os seres vivos vistos como *sistemas complexos que processam informação*. De alguma forma, as cadeias de reações químicas, que ocorrem numa célula, levam à geração de *signos* e à sua comunicação, interpretação e tradução. Há mais *informação*, numa célula, do que aquela contida nos genes. (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

O DNA celular é composto por quatro *bases* (adenina, guanina, citosina e timina; ou, A, G, C, T) – constituindo-se num *código* onde informações são codificadas por meio desses quatro *símbolos*. O mRNA (RNA mensageiro) é uma “cópia” de um trecho do DNA, que é usado para sintetizar uma proteína qualquer. A *transcrição* é o processo usado para criar mRNA a partir do DNA celular. A *tradução* é o processo pelo qual a sequência de nucleotídeos (as bases A, G, C e T) do mRNA serve para direcionar a *síntese* de proteínas – que são polipeptídeos formados por uma sequência de aminoácidos. (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

Um *códon* é uma sequência de três bases do mRNA, que é usado para codificar um determinado aminoácido. O *ribossomo* é uma “máquina molecular” que *traduz* a sequência de códons de uma molécula de mRNA numa sequência de aminoácidos – formando uma proteína. Ou seja, os ribossomos participam ativamente da síntese de proteínas celular. Esse processo de tradução das informações contidas no mRNA – que é um trecho do DNA celular – gerando uma proteína, constitui a *decodificação* de uma “mensagem” genética. (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

É nesse processo de tradução/síntese proteica que torna-se claro a presença de algum tipo de *semiose* ocorrendo dentro da célula: decodificar um códon num aminoácido específico requer o “reconhecimento” desse mesmo códon – ou seja, o equivalente semiótico ao processo de se “interpretar” um signo. A transcrição de um trecho de DNA numa molécula de mRNA também envolve a interpretação de signos (as sequências de bases A, G, C, T). (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

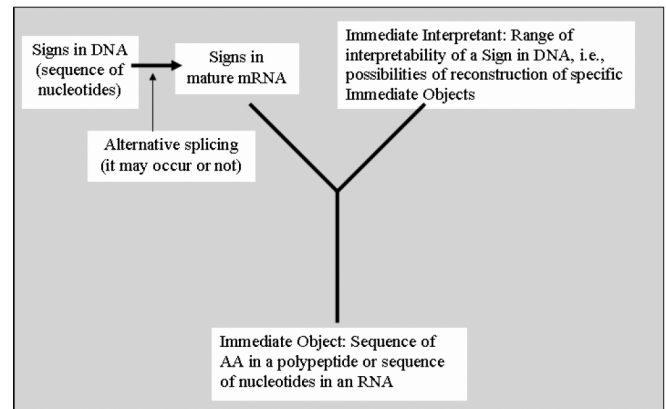


Fig. 2. Análise semiótica do gene como um signo. (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004).

A Figura 2 demonstra que a ação de um gene funcionando como um signo envolve a relação entre três elementos. Dessa forma, a informação genética pode ser entendida como um processo semiótico – segundo a definição triádica de signo de Peirce. Isso também leva à conclusão de que a informação genética de uma célula compreende algo mais do que apenas a sequência de nucleotídeos num trecho de DNA. (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

De acordo com a Figura 2, uma sequência de nucleotídeos do DNA (ou seja, um *gene*) pode ser vista como um *Signo*. O DNA celular compreenderia, nessa visão, um conjunto de signos particulares a cada espécie de ser vivo. Esses signos são *transcritos* para outros signos numa molécula de mRNA. Estes signos (mRNA) serão *traduzidos* numa sequência de aminoácidos (polipeptídeo), formando uma proteína. Essa proteína formada constitui o *Objeto Imediato* do signo. De fato, aquela informação codificada no DNA – que permanece “dormente” no interior da célula – se torna um “objeto” do mundo real, uma proteína necessária a algum propósito. (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

O terceiro elemento dessa relação triádica é o *Interpretante Imediato* – relacionado ao Objeto Imediato (proteína formada) e ao próprio Signo (o gene no DNA celular). Um signo é um elemento mediador, num processo semiótico, através do qual uma *forma* (ou *hábito*) é comunicada do objeto para o seu interpretante. O interpretante seria uma reconstrução de um hábito incorporado no objeto. Essa *comunicação* dos hábitos dos objetos para seus interpretantes encapsula (e define) o comportamento do *intérprete*. (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

A célula (ser vivo) seria esse intérprete onde ocorre o processo de semiose. Resumidamente, essa semiose se constitui no processo pelo qual a forma (hábito) de uma proteína, numa geração de células, é passada para a geração seguinte – por intermédio dos signos no DNA – formando uma “nova” proteína. Essa proteína é uma “interpretação” daquela mesma proteína (objeto) que a gerou, por meio da informação genética contida na célula. Esse processo acaba por definir as gerações futuras, como sendo novos intérpretes que possuem os mesmos hábitos herdados de seus antepassados – apesar de que, nesse processo de interpretação, o novo objeto gerado pelo interpretante nem sempre é uma cópia “fiel” daquele mesmo objeto que originou esse interpretante. Seria essa a origem da evolução das espécies? (El-Hani, Queiroz & Emmeche, 2004)

### B. Exo-semiose

O ciclo de vida do micro-organismo *Dictyostelium discoideum* (Figura 1) constitui um exemplo de *exo-semiose* ocorrendo entre seres vivos microscópicos, a nível celular. Os eventos (numerados de 1 a 5, na Figura 1) que ocorrem durante o ciclo de vida deste organismo podem ser analisados semioticamente, no contexto referente à *informação* : (Hofkirchner, & Günther, 2005)

1. *Vida Normal*: os micro-organismos se comportam normalmente, vivendo isolados uns dos outros em sua busca por alimento. Os micro-organismos tem metabolismo normal, se reproduzindo e transmitindo informações por meio de moléculas (polímeros) durante a divisão celular.
2. *Ambiente em Mutação*: quando as fontes de alimento do ambiente se tornam escassas (fome), os micro-organismos mudam seu metabolismo interno. Essa mudança de atividade intracelular constitui um tipo de *cognição* celular, ou seja, o micro-organismo detecta e responde a um evento no seu meio externo.
3. *Reação às Mudanças*: como resultado dessa cognição, um micro-organismo produz e libera moléculas sinalizadoras (*cAMP*) no seu meio externo. Essas moléculas liberadas serão reconhecidas por outros indivíduos, causando a produção e liberação de *cAMP* pelos mesmos. Essa reação se espalha pelos indivíduos, abrangendo uma grande área. Esse evento pode ser visto como uma forma de *cooperação* direcionada por *comunicação*.
4. *Agregação*: como resultado da troca de informação entre milhares de indivíduos, um organismo multicelular (uma lesma) é formado. Isto constitui um *comportamento* celular que emerge da cooperação dirigida pelos processos de comunicação molecular.
5. *Esporulação*: caso as condições ambientais se tornem extremas, o organismo anteriormente formado (lesma) sofre uma nova diferenciação, transformando-se num corpo frutífero. Essa estrutura permitirá a sobrevivência

da espécie, quando as condições ambientais se tornarem novamente favoráveis. Esse comportamento coletivo também é direcionado pela troca de informações entre os indivíduos que formam a colônia.

A troca de informação, ou seja, a troca de signos realizada pelos indivíduos dessa espécie de micro-organismo constitui um exemplo de semiose. Semiose esta que deve ter surgido nos primórdios da evolução das espécies. Do ponto de vista da Biosemiótica, esse micro-organismo apresenta noções de cognição, comunicação e cooperação. Essas *noções* possivelmente foram as bases para o surgimento das habilidades cognitivas e os processos semióticos exibidos por seres vivos mais complexos – tais como o ser humano. (Hofkirchner, & Günther, 2005)

## VI. DISCUSSÃO

Entender os processos semióticos que ocorrem nos seres vivos – ou seja, a *análise semiótica* – é fundamental, na engenharia, para fazer a *síntese semiótica* – a criação de criaturas artificiais capazes de demonstrar comportamentos *mediados* por intencionalidade (comportamento inteligente). A *Cybersemiótica* é a área da semiótica que estuda a criação de sistemas semióticos artificiais – efetuando a síntese semiótica a partir da análise semiótica dos seres vivos.

A célula é um sistema vivo que processa informação. Reproduzir os processos semióticos que ocorrem numa célula implica criar um *modelo computacional* que contenha os componentes necessários ao funcionamento dos processos celulares, e também, que descreva os diversos relacionamentos entre tais componentes. Compreender a semiose celular pode auxiliar a criar modelos melhores para descrever os processos semióticos que ocorrem em micro-organismos e nos seres vivos de ordem superior. (Paton, 1993)

Diversas abordagens podem ser usadas para se chegar a um modelo semiótico celular. Essas abordagens, necessariamente, devem considerar os diferentes tipos de *máquinas computacionais*. Basicamente, quatro tipos de computação: sequencial, paralela, distribuída e emergente. (Paton, 1993)

*Sequencial*: uma máquina de Turing implementada numa arquitetura de von Neuman. Compreende um único “lugar” de processamento de informações – um processador central – que usa uma memória global para executar instruções de modo serial. *Paralela*: consiste de vários processadores agrupados muito próximos uns dos outros. Diferentes tarefas são alocadas a diferentes processadores que as executam (serialmente) ao mesmo tempo. *Distribuída*: consiste de vários processadores que podem estar muito distantes uns dos outros. *Emergente*: característica de sistemas cooperativos auto-organizáveis. Nesses sistemas, um comportamento global emerge das diversas interações locais entre seus componentes. (Paton, 1993)

O processamento serial lembra o modo de operação das reações químicas – um composto reage com outro composto, gerando um produto (novo composto). Esse processamento também lembra o modo de operar de uma “máquina molecular” celular – que manipula somente um componente molecular por vez. O processamento paralelo lembra a própria estrutura da célula: um compartimento fechado, onde várias máquinas moleculares (muito próximas entre si) executam diversas funções. O processamento distribuído lembra os relacionamentos exibidos pelos seres vivos: (por exemplo) um micro-organismo que gera um signo, no seu meio externo, que será captado por outro micro-organismo que pode estar, relativamente, muito distante daquele.

A emergência – ou processamento emergente – é desejável num sistema semiótico artificial. A própria célula pode ser vista como uma rede de *agentes* que realiza diversas computações de modo paralelo e distribuído, exibindo propriedades emergentes. Conseguir chegar a esse modelo adequado que explique os processos semióticos que ocorrem numa célula é uma tarefa que demanda (ainda) muito estudo dos processos físico-químicos celulares. Deve-se, contudo, também considerar as noções de Peirce sobre *primeiridade*, *secundidade e terceiridade* que serão muito úteis para explicar os diversos relacionamentos encerrados numa célula viva.

## VII. CONCLUSÃO

O filósofo, norte-americano, Charles Sanders Peirce criou uma teoria semiótica que pode esclarecer muitos dos fenômenos que ocorrem na natureza – dentre eles, o fenômeno da vida. Embora seja criticada, devido à dificuldade de se entendê-la, a semiótica de Peirce fornece ferramentas poderosas para se trabalhar com signos. O próprio Universo seria composto por signos – segundo a visão de Peirce.

A engenharia pode beneficiar-se da análise dos sistemas vivos efetuada seguindo-se a óptica de Peirce. Da análise desses sistemas, podem-se tirar conclusões úteis na criação de criaturas artificiais dotadas de algum entendimento sobre o ambiente no qual elas habitam.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, L. E. (2008). From a Dynamical to a Semiotic Account of Emergence. *Cybernetics and Human Knowing*, Vol. 15, nos. 3-4.

Brier, S. (2003). Information Seen as Part of the Development of Living Intelligence: The Five Leveled Cybersemiotic Framework for FIS. *Entropy*, 5, 88-99.

El-Hani, C. N., Queiroz, J. & Emmeche, C. (2004). A Semiotic Analysis of the Genetic Information System. *Gatherings in Biosemiotics 4, July 1-5, Prague*.

Fernández, E. (2011). Energy, Semiosis and Emergence – the place of biosemiotics in an evolutionary conception of nature. *Eleventh Annual International Gatherings in Biosemiotics Dactyl Foundation, New York City, USA, June 21 - 26, 2011*.

Hofkirchner, W. & Günther, E. (2005). Cognition, communication, and co-operation in living systems. Biosemiosis in the context of self-organization. *TripleC*, 3 (2), 75-85.

Maynard Smith, J. (2000). The concept of information in biology. *Philosophy of Science 67: 177-194*.

Paton, R. (1993). Some computational models at the cellular level. *BioSystems*, 29:63-75.

Ruiz-Mirazo, K., Peretó, J. & Moreno, A. (2004). A universal definition of life: Autonomy and opened evolution. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 34, 323-346.

Wood, S. (2005). The Comprehensive Categories of Life.