



OS TEMAS DA AUTO-ORGANIZAÇÃO E INFORMAÇÃO BIOLÓGICAS NA SEGUNDA METADE DO SÉCULO XX

Alfredo Pereira Jr.

Doutorado em Lógica e Filosofia da Ciência pela UNICAMP

Professor do Instituto de Biociências da UNESP

alfredo.pereira@unesp.br

Resumo

Na segunda metade do Séc. XX, os conceitos de Auto-Organização e Informação passaram a ser utilizados na explicação de fenômenos biológicos complexos, a partir de duas abordagens: na Físico-Química, com Ilya Prigogine e associados, e no contexto interdisciplinar formado pela Teoria da Informação, Teoria de Sistemas (proposta pelo biólogo Ludwig Bertalanffy), e pela “Cibernética de Segunda Ordem” (enfocando sistemas autônomos como as redes neurais artificiais), que por sua vez inspiraram a teoria da *Autopoiesis*, de Humberto Maturana e Francisco Varela, a abordagem da complexidade biológica e da emergência do novo, de Henri Atlan, e vertentes naturalistas da Ciência Cognitiva contemporânea. No Brasil, uma síntese destas abordagens e desenvolvimentos adicionais foi realizada pelo grupo de pesquisa do Centro de Lógica e Epistemologia da UNICAMP, liderado por Michel Debrun, Ítala D'Ottaviano, Ettore Bresciani Filho e Maria Eunice Quilici Gonzalez, desde a última década do século, em uma série de trabalhos que foram - mais recentemente - republicados em livro internacional (PEREIRA JR., PICKERING & GUDWIN, 2018).

Palavras-chave: Auto-Organização. Informação. Complexidade. Autonomia. Termodinâmica do Não Equilíbrio.

Abstract

In the second half of the 20th century, the concepts of Self-Organization and Information came to be used in the explanation of complex biological phenomena, from two approaches: in Physical Chemistry, with Ilya Prigogine and associates, and in the interdisciplinary context formed by Information Theory, Systems Theory (proposed by biologist Ludwig Bertalanffy), and “Second Order Cybernetics” (focusing on autonomous systems such as artificial neural networks), which in turn inspired the theory of *Autopoiesis*, by Humberto Maturana and Francisco Varela, the approach of biological complexity and the emergence of the new, by Henri Atlan, and naturalistic aspects of contemporary Cognitive Science. In Brazil, a synthesis of these approaches and additional developments was carried out by the research group of the Center for Logic and Epistemology at UNICAMP, led by Michel Debrun, Ítala D'Ottaviano, Ettore Bresciani Filho and Maria Eunice Quilici Gonzalez, since the last decade of the century, in a series of works that have been - more recently - republished in an international book (PEREIRA JR., PICKERING & GUDWIN, 2018).

Keywords: Self-Organization. Information. Complexity. Autonomy. Irreversible Nonequilibrium Thermodynamics.

Introdução

A constituição e funcionamento da célula foram sendo progressivamente conhecidos, ao longo do desenvolvimento da Biologia no Século XX. Duas de suas características foram de grande interesse para o estudo dos sistemas, pois não eram estudadas nos sistemas físicos até então: em primeiro lugar, a auto-regulação, ou seja, o fato da célula, enquanto sistema aberto, ser capaz de regular seus níveis de atividade e o intercâmbio de materiais com seu exterior, mantendo sua organização e funcionalidade; em segundo lugar, a capacidade de auto-replicação, seja na mitose, em que as células engendram processos de divisão, ou na meiose, em que geram gametas que se unem para formar um novo organismo.

Com os desdobramentos da teoria da evolução darwiniana, os biólogos começaram a se interessar por sistemas de alto grau de complexidade, como os ecossistemas constituídos por diversas populações de seres vivos (cada qual, por si só, constitui um sistema de sistemas celulares) em interação recíproca, e com o meio físico. Ecossistemas abrangem grande número de componentes, e admitem vários tipos de relações entre estes componentes; porém, ao invés de apresentarem um comportamento totalmente caótico, surpreendentemente seguem padrões de evolução bem definidos, que constituem o processo de *sucessão ecológica*.

Em todos estes casos, o conceito de Auto-Organização passa a desempenhar um papel central para a explicação do processo pelo qual as interações

entre elementos relativamente simples de um sistema aberto geram uma organização global, que é relativamente mais complexa, e dotada de uma funcionalidade interna e na relação com o ambiente que não é encontrada nos componentes tomados isoladamente. Esse tipo de explicação possibilitou, no Séc. XX, superar uma tensão entre a Física e a Biologia, que se formara a partir da discussão da Segunda Lei da Termodinâmica.

A Primeira Lei da Termodinâmica se refere à *conservação da energia* ao longo dos processos físicos, enquanto a Segunda Lei da Termodinâmica, em sua reconstrução na Mecânica Estatística ao final do Séc. XIX, se refere ao modo como a quantidade de energia de um sistema se distribui por seus elementos no espaço e no tempo, conforme a *função de distribuição* formulada por Boltzmann. Nesta abordagem, a Segunda Lei expressa, a partir de observações empíricas e experimentos com máquinas térmicas, o fato de que em sistemas isolados (ou suficientemente fechados) a distribuição da energia evolui temporalmente para o estado de equilíbrio, no qual apresenta forma gaussiana, desaparecendo as diferenças que pudessem ser utilizadas, no plano macroscópico, para a realização de trabalho (para uma discussão em detalhes, vide PEREIRA JR., 1997). Tal tipo de evolução temporal aparentemente contradiz o processo biológico, no qual os sistemas evoluem para formas organizacionais funcionais e se mantêm nesta classe de estados enquanto permanecem vivos.

Tal tensão se resolveu no contexto da Termodinâmica dos Processos Irreversíveis, no Séc. XX, como veremos na próxima seção. Em olhar retrospectivo, Stengers (1985), uma protagonista desta virada epistemológica, dedicou-se a

uma genealogia do conceito de Auto-Organização, se perguntando a razão do uso de “auto” neste contexto; porque não tratar simplesmente da “organização” físico-química-biológica? Ela se refere ao embriologista Paul Alfred Weiss (que trabalhou na Universidade de Chicago de 1933 a 1954) como formulador do conceito de Auto-Organização no contexto biológico. Para Weiss (1939), o comportamento de uma população de elementos seria menos variável, em um intervalo de tempo, do que as atividades destes mesmos elementos considerados isoladamente. Tal abordagem remetia ao conceito de *Organicismo* na Teoria Geral de Sistemas (BERTALANFFY, 1973), desenvolvida pelo também biólogo Ludwig Bertalanffy.

O Organicismo proposto por Bertalanffy se distinguiria de concepções de cunho idealista, como o Vitalismo, ao se ater somente a problemas empíricos bem definidos, evitando a especulação sobre princípios metafísicos explicativos da atividade do ser vivo. O Vitalismo, por sua vez, havia sido formulado na Embriologia por Hans Driesch em 1899, propondo um “sistema equipotencial harmonioso”, a partir de seus experimentos com o ouriço do mar (WERKMEISTER, 1974). Após o trabalho experimental, Driesch se dedicou à filosofia especulativa, retomando a noção aristotélica de *enteléquia* como “fator elementar *sui generis*” que age teleologicamente, guiando o desenvolvimento dos sistemas vivos no plano ontogenético. Um século depois das pesquisas de Driesch, o conceito de Auto-Organização surge como oposto ao Vitalismo, afirmando que a organização global e funcionalidade de um sistema biológico decore das interações entre seus elementos, sem haver a necessidade de se postular um princípio me-

tafísico que atuasse no sistema para conduzi-lo a estados de maior estruturação e funcionalidade.

A TGS é uma área de estudos interdisciplinar em que se supõe que existam princípios gerais para o entendimento da constituição e operação de diversos tipos de sistemas, nas diversas áreas do conhecimento. Ela foi originalmente formulada na década de 50, e tem sido usada na Engenharia e Administração de Empresas, na Física e Matemática (Sistemas Dinâmicos), na Cibernética (Teoria Geral da Regulação de Mecanismos) e na Teoria de Informação. Na Cibernética, o conceito de Auto-Organização surge como oposição ao conceito de sistemas mecânicos que executam funções monotonamente, para denotar a possibilidade – discutida com maior foco a partir dos anos 1960 – de sistemas autônomos capazes de aprender com a interação com o ambiente e alterar suas regras de funcionamento, propiciando comportamento adaptativo semelhante ao dos sistemas vivos.

Em 1921, foi formulada a teoria do “centro organizador” do processo embriológico, por Spemann (vide STENGERS, 1985). Esta cientista teria mostrado que a cada etapa do desenvolvimento embriológico, certas regiões do embrião assumem o papel organizativo central, induzindo a respectiva fase de diferenciação celular. Entretanto, a hipótese de Spemann logo se viu enfraquecida, pois comprovou-se que uma série de produtos orgânicos e mesmo inorgânicos seriam capazes de desempenhar o papel de induzir a diferenciação celular. Em 1957, Waddington (vide PRIGOGINE & STENGERS, 1979) concluía que muitas vezes o “organizador” não impõe uma ordem sobre o sistema, mas apenas cria

condições nas quais os componentes do sistema expressam suas próprias potencialidades.

Deste debate surgiu a teoria do *Campo Morfogenético*, entendido como um domínio de interação dos componentes de um sistema. Em 1955, Bertalanffy distingue as regulações primárias e secundárias; as primeiras geram os primeiros estágios do desenvolvimento do sistema, enquanto as secundárias, de tipo “*feedback*”, lhes são superpostas. Weiss, por sua vez, estendeu o conceito de campo morfogenético para toda Biologia, entendendo por Auto-Organização uma “dinâmica de campo global” que determina a funcionalidade dos sistemas, e criticando a teoria neurobiológica de tipo entrada-saída, em que os sinais de entrada determinariam os sinais de saída; ao contrário disso, os sinais de entrada apenas alimentam o campo interativo, que seria o determinante dos sinais de saída.

1 Auto-Organização na Termodinâmica dos Processos Irreversíveis

Em uma conferência em 1969, relata Stengers (1985), Prigogine dá um novo passo no entendimento da Auto-Organização, no âmbito da Termodinâmica de sistemas abertos, ao propor a noção de *Estruturas Dissipativas*.

As estruturas dissipativas estudadas por Prigogine e colaboradores se formam em sistemas abertos como os biológicos, que consomem energia útil do ambiente para gerar padrões de organização e funcionalidade próprios, sem

contradizer a Segunda Lei, que expressa o aumento da entropia (e, consequentemente, da desorganização e disfuncionalidade) em sistemas *fechados*. As Estruturas Dissipativas seriam justamente o produto da auto-organização de sistemas físico-químicos, o que poderia contribuir para explicar a organização biológica.

No livro *What is Life?*, Schrödinger (1944) havia proposto que os seres vivos se alimentam de “entropia negativa” para manterem-se em estados ordenados. O pressuposto deste autor era que a ordem biológica se alimentaria da ordem física, obtida do ambiente na forma de alimento, ou se degradaria pela desordem dos fenômenos relacionados à dissipação do calor. Não haveria a possibilidade de se converter tal desordem em ordem. Prigogine acolhe parcialmente o raciocínio de Schroedinger, porém discorda do que chamou de “princípio de ordem”, ou seja, que a ordem biológica só poderia se derivar da ordem física. Alternativamente, Prigogine propôs que a ordem biológica poderia se derivar de uma fase desordenada ou caótica da evolução temporal de sistemas físico-químicos; para isso, ele desenvolveu a Termodinâmica dos Processos Irreversíveis.

Na evolução temporal para o equilíbrio termodinâmico, a termodinâmica clássica e a mecânica estatística desenvolvida a partir de Boltzmann possibilitam o cálculo da trajetória do sistema. Prigogine desde 1945 desenvolveu uma teoria que pudesse calcular os estados estáveis (chamados de “estados atratores”) que se formam à distância do equilíbrio. Este desenvolvimento teórico, em que o dinamismo de sistemas abertos à distância do equilíbrio termodinâmico

resulta na formação de estruturas dissipativas foi, ao lado de comprovações experimentais, um feito relevante para o Nobel recebido por Prigogine em 1977.

Enquanto a observação da complexidade estrutural e funcional dos sistemas vivos nos revela processos de diferenciação e complexificação progressivas, a formulação da Segunda Lei da Termodinâmica no contexto da Mecânica Estatística de sistemas fechados ou isolados previa apenas uma evolução temporal para estados de inércia e homogeneidade. Entretanto, Prigogine mostrou que na distância do equilíbrio podem ocorrer quebras espontâneas de simetria espaço-temporal (em relação ao sistema de equações que descrevem a trajetória do sistema), que possibilitam aos sistemas atingir estados estáveis distantes do equilíbrio termodinâmico.

Deste modo, a noção de Auto-Organização veio a significar, para Prigogine, a retomada do problema posto pela embriologia: como é que um sistema vivo atinge estabilidade global através da instabilidade (ou seja, da “flutuação”) de seus processos elementares, sem que haja algo como um “centro organizador” que permitisse uma explicação determinística para tal processo?

A Termodinâmica se originara, no Séc. XIX, do estudo das máquinas térmicas, que apresentavam uma diferença relevante frente aos modelos mecanicistas simples da física clássica. Enquanto um engenho mecânico idealizado devolveria na forma de trabalho toda a sua energia potencial, as máquinas térmicas passam por mudanças de estados que afetam suas propriedades, não se restringindo à transmissão do movimento. Estas mudanças de estado do sistema foram tratadas por meio da Segunda Lei, se referindo ao modo como seus com-

ponentes se distribuem e, conseqüentemente, se organizam ou desorganizam no espaço e no tempo, gerando ou não funcionalidades. A evolução temporal da entropia termodinâmica, na reconstrução teórica da Teoria Cinética dos Gases elaborada por Boltzmann, se referia às mudanças na distribuição espacial (posição), direção de velocidade e momento (energia cinética) das moléculas de um gás perfeito isolado em um recipiente. Entretanto, neste tipo de modelo, haveria uma evolução temporal irreversível para o estado de equilíbrio, que é aquele em que as mudanças microscópicas que continuam a ocorrer se compensam estatisticamente, de modo que o estado macroscópico estável atingido não mais se altera espontaneamente. Como comentam Prigogine e Stengers (1984, p. 124-5, tradução minha):

este estado coloca um fim no processo de evolução irreversível do sistema... as partículas continuarão se movendo de um lado para outro, mas na média, em um dado instante, haverá tantas se movendo para um lado como para o outro. Como resultado, seus movimentos causarão apenas flutuações pequenas e breves em torno do estado de equilíbrio.

Entretanto, Prigogine verificou experimentalmente que nem todos os sistemas efetivamente atingem o estado de equilíbrio; em sistemas abertos, submetidos a um fluxo de energia útil oriunda de seu exterior, observam-se novos fenômenos. O “tempo termodinâmico” seria variado, no sentido de que uma ampla classe de sistemas atinge estados estacionários na proximidade ou à distância do equilíbrio. Os sistemas biológicos seriam aqueles que atingem estados estáveis à distância do equilíbrio termodinâmico, às custas de consumo de energia útil do ambiente – a qual, no sistema solar, tem como origem a radiação

emitida por esta estrela. Deste modo, há uma aproximação entre a Física e a Biologia.

A Biologia envolve não só a Termodinâmica, mas também a Bioquímica, pois há um papel central para os catalisadores no processo de redução da entropia interna, às custas de um aumento da entropia do ambiente, que ocorre nos seres vivos. Os processos de “auto-catálise” e “catálise cruzada” foram ressaltados como centrais neste tipo de dinâmica sistêmica. O primeiro diz respeito a processos de *feedback* positivo, em que um tipo de metabolito é utilizado para sua própria síntese, de modo que a taxa de variação da concentração deste é proporcional ao quadrado da concentração. O segundo diz respeito a processos em que dois metabolitos promovem reciprocamente suas respectivas sínteses.

A existência de tais ‘loops’ com efeitos não-lineares possibilitou a Nicolis e Prigogine a formulação de um processo de *amplificação de flutuações* intitulado “Ordem por Flutuações” (PRIGOGINE & STENGERS, 1984, p. 177-209). Na distância do equilíbrio, determinadas flutuações podem ser amplificadas, tomando conta de todo o sistema e promovendo uma nova organização funcional; nos sistemas vivos, estas estruturas emergentes foram chamadas de “Estruturas Dissipativas”. Sua manutenção requer a manutenção dos fluxos de energia útil externa a partir dos quais são geradas. Esta energia é continuamente absorvida, alimentando os catalisadores e sendo parcialmente dissipada, o que torna o processo vital intrinsecamente irreversível.

A evolução temporal de um sistema distante do equilíbrio no qual opera o mecanismo de Ordem por Flutuações, conduzindo à formação das Estruturas

Dissipativas, é descrito por meio dos *Gráficos de Bifurcações*. Uma bifurcação é uma “quebra de simetria” relativamente à evolução linear do sistema previsível a partir de uma descrição suficientemente detalhada de seu estado inicial. Segundo Prigogine e Stengers, em experimentos como os chamados relógios químicos, “o sistema determina seu próprio tamanho intrínseco, ou seja, ele determina a região que é espacialmente estruturada ou atravessada por ondas de concentração periódicas” (PRIGOGINE & STENGERS, 1984, p. 151, tradução minha). Flutuações locais podem reordenar globalmente o sistema, desde que atinjam tamanho crítico, em determinada fase instável de sua evolução temporal.

A imagem da natureza oferecida por Prigogine e colaboradores é de uma evolução indefinida, na qual as estruturas são geradas e destruídas. Os componentes de um sistema vivo conteriam um reservatório de formas latentes, que subsistem a cada momento como flutuações de pequeno porte que podem se amplificar em situações de instabilidade, e contribuir para a formação de uma nova organização funcional do sistema.

2 Cibernética Biológica e *Autopoiesis*

Segundo Livet (1985), palavra “cibernética” foi originalmente usada por Norman Wiener em 1943, para se referir a mecanismos capazes de guiar suas ações por uma meta. A noção de *feedback* foi apresentada como o mecanismo que possibilita a manutenção da estabilidade do sistema frente às perturbações

do ambiente. Ao responder a tais perturbações, o sistema automaticamente se guia em direção à sua meta. Juntamente com estas noções, foi adotada uma abordagem lógico-matemática das funções executadas pelo sistema, por meio da Teoria da Informação. A proposta equivalência entre informação (“entropia informacional”) e entropia termodinâmica negativa possibilitava ainda uma aproximação entre a teoria físico-química da Auto-Organização e a Teoria Sistêmica enriquecida pela Cibernética e Teoria da Informação.

A síntese interdisciplinar resumida no parágrafo acima possibilitou a formação do Biological Computer Laboratory (BCL), dirigido por Heinz von Foerster, na década de 1960, que editou os primeiros volumes sistemáticos sobre o tema Auto-Organização (VON FOERSTER & ZOPF, 1962). Para este autor, o termo Auto-Organização definia o objetivo de seu laboratório, e traduzia-se, na prática, na construção de máquinas cuja organização estrutural e funcional conferiria propriedades semelhantes às dos sistemas vivos. No BCL se concebia o sistema vivo não como pura máquina de cálculo lógico, mas como sistema adaptativo cuja principal meta seria sobreviver em um meio-ambiente que lhe apresenta fatores adversos. Assim, foram desenvolvidos os conceitos de causalidade circular, memória como alteração operacional e máquinas não-triviais, compondo a área de estudos chamada de “cibernética de segunda ordem”.

No terceiro simpósio do BCL, em 1962, von Foerster e Gordon Pask propuseram um modelo para os sistemas auto-organizados, utilizando os recursos da Teoria dos Jogos. O sistema que se auto-organiza é concebido como uma “assembléia de jogadores” que competem e colaboram entre si, formando coali-

zões. A relação deste sistema com o ambiente possibilitava a formulação do mecanismo de “ordem pelo ruído”, o que significa que é o próprio sistema que define o que seria, para si, “ordem” e “desordem”, de modo que o ruído ambiental pode ser uma fonte de ordem sistêmica (STENGERS, 1985, p. 41-5).

Também compunha o modelo de von Foerster um tipo de arquitetura computacional na qual as saídas não estariam apenas em função das entradas no sistema, mas também do “estado interno” da máquina. Deste modo, as então chamadas “máquinas não-triviais” possuiriam uma memória operacional, mesmo que não tivessem meios de estocar informação. O passo seguinte foi acoplar duas máquinas não-triviais, de modo que uma se tornasse o “ambiente” da outra.

Ao promover o “fechamento operacional” de um sistema composto de duas máquinas não-triviais interconectadas, von Foerster despertou a crítica de Ashby (1967), que argumentou que os processos de regulação que aí ocorrem poderiam se reduzir ao conceito de *homeostase*, já bem conhecido na área de Fisiologia, desde que se considerasse a possibilidade de uma pluralidade de estados estacionários, o que seria ainda compatível com a teoria de Prigogine. A proposta de Ashby implicava na substituição da temática da Auto-Organização pela temática da *Co-Evolução* de dois sistemas para um estado de equilíbrio.

Quando o biólogo Humberto Maturana se juntou ao BCL, a proposta de Ashby havia ganhado força (LIVET, 1986), mas não apresentava grande interesse para a explicação do sistema vivo, pois a homeostase, em suas formas mais simples, pode ser realizada por sistemas não-vivos, como no caso clássico do

termostato, que possui dois mecanismos de *feedback* negativo, acoplados a um aquecedor e a um refrigerador de ambiente, que possibilitam manter a temperatura de um recinto dentro de uma faixa de variação. Maturana formula então um novo conceito, *Autopoiesis*, que possibilitaria distinguir os sistemas vivos dos não-vivos: o sistema vivo “produz a si mesmo”, enquanto os não-vivos dependem de fatores externos para produzir os componentes necessários para seu funcionamento (MATURANA & VARELA, 1980). O exemplo mais simples de *Autopoiesis* é a célula individual, na qual os genes determinam a estrutura das proteínas, as quais desempenham funções que, por sua vez, determinam as expressões gênicas, formando um sistema causal circular.

A *Autopoiesis* apontava no sentido de operações recorrentes no interior do sistema vivo, gerando a “homeostase da homeostase”, ou seja, a auto-regulação dos parâmetros de controle da atividade do sistema, o que inclui, naturalmente, a reposição de componentes. Francisco Varela, discípulo de Maturana que se tornou seu principal colaborador, generalizou o conceito de *Autopoiesis* para uma classe de sistemas formais dotados de “operadores reflexivos” geradores de “ciclos limite” de atividade, deste modo participando ativamente na *construção de si mesmos*, o que não ocorre com as máquinas limitadas à execução de funções pré-determinadas (LIVET, 1986, p. 3).

O BCL ainda propiciou a formação de uma corrente epistemológica conhecida como “neo-conexionismo”, que se dedicou à implementação experimental dos princípios da Auto-Organização. Henri Atlan herdou de Ashby a ideia de se estudar redes de autômatos acoplados ao acaso (STENGERS, 1985).

Neste tipo de modelo, “Auto-Organização” se refere à evolução destes sistemas, que não poderia ser explicada por uma regra extrínseca, a não ser que o observador externo tivesse conhecimento (quase) completo a respeito do estado inicial – porém, como este é escolhido ao acaso, haveria uma ignorância impenetrável em relação ao estado inicial, que conferiria um componente de *novidade* ao resultado do processo auto-organizativo.

3 Informação e Autonomia

A Teoria da Informação teve importante papel na discussão epistemológica sobre a Auto-Organização na década de 1960, que se fez principalmente nos trabalhos de Francisco Varela e Henri Atlan. A partir do questionamento de Ashby, houve uma controvérsia sobre o caráter epistemológico ou ontológico do conceito de Auto-Organização.

Encontramos no trabalho de Varela (1978) uma rica reflexão a respeito das relações entre os conceitos de *Informação* e *Autonomia* – este último termo, tomado como substituto do termo *Auto-Organização*, mas com significado semelhante. A noção de autonomia serve a Varela para criticar a “cibernética de primeira ordem”, na qual as noções-chave são *informação* (no sentido da representação feita pelo *sistema receptor* sobre os estados obtidos no *sistema fonte* da informação) e *controle*. Diz Varela (1978, página XIV):

[A] informação [...] torna-se inequivocamente o que é representado, e o que é representado é uma correspondência entre unidades simbólicas em uma estrutura e unidades simbólicas em outra estrutura. A representação é fundamentalmente uma imagem dos entornos relevantes de um sistema, embora não seja necessariamente uma cópia carbono.

Varela distingue dois significados de informação. Para o paradigma do controle, informação é instrução e representação; para o paradigma da autonomia, a inter-relação entre o sistema observador e o sistema observado (no caso deste ser um sistema autônomo) é inseparável da performance (para os seres vivos, performance cognitiva) do sistema observado; assim, a informação endógena ao sistema observado não necessariamente corresponde à informação enquanto representação pelo observador. A situação originária do conhecimento seria a inter-relação entre 'sujeito' e 'objeto'; os sinais oriundos do objeto devem ser interpretados como expressões de sua autonomia, supondo-se que ele opera no espaço físico. A autonomia não é inferível das 'informações' recebidas, pois os 'sinais' emitidos por um objeto podem ser interpretados tanto por uma hipótese que pressupõe sua autonomia quanto por uma hipótese que não a supõe. O núcleo lógico da autonomia não se manifesta na observação, pois os processos pelos quais se constrói a identidade do observador e do observado são distintos:

[E]xplorar a maneira pela qual um sistema especifica sua própria identidade é também explorar o que suas ações informacionais podem gerar [...]. Assim, discutindo a autonomia, somos levados a um reexame da própria noção: ao invés de instrução, trata-se da maneira como as informações são construídas; longe da representação, da maneira pela qual o comportamento direto reflete a viabilidade no funcionamento dos sistemas, em vez de uma correspondência com um dado estado de coisas. (VARELA, 1978, p. XII).

Portanto, para Varela a informação seria uma construção interna do sistema autônomo, distinta da representação que o observador externo faz sobre tal sistema. Essa é uma definição negativa, que não diz o que é a informação endógena, nem como esta informação poderia ser tratada pela Teoria Matemática da Informação. Henri Atlan, por sua vez, avançou na discussão sobre Informação e Auto-Organização, tentando entender como o conceito de informação da teoria matemática de Shannon e Weaver poderia ser usado para descrever o papel da informação endógena no processo da vida. Atlan entende a Auto-Organização como um processo em que, devido a acontecimentos externos em relação ao sistema observado – e que se apresentam, para o observador, como aleatórios ou como “ruído” em relação à dinâmica interna do sistema observado – ocorre no sistema uma *diminuição da redundância* e consequente *aumento da complexidade*, sob o ponto de vista deste observador. Atlan não adota um conceito ontológico da informação endógena, preferindo se limitar a considerações epistemológicas nas quais ressalta a possibilidade do processo de Auto-Organização se limitar à relação entre o observador e o sistema observado, como discutido na próxima seção.

Atlan (1983; 1979) se baseia na comparação entre redundância e aleatoriedade, para se entender como a informação contribui para a organização biológica. A plasticidade e funcionalidade de um sistema como o biológico dependem da existência de algum grau de redundância, de modo que diversos componentes do sistema possam desempenhar as suas funções essenciais. Um sistema totalmente redundante, como o cristal, teria pequena capacidade de proces-

samento da informação, pois haveria um alto grau de repetição das mesmas mensagens; por outro lado, um sistema totalmente caótico, como a fumaça, não teria a funcionalidade garantida pela redundância, requerendo uma quantidade gigantesca de informação para a descrição de seus estados, o que também inviabilizaria o uso da informação na construção da organização biológica e sua descrição. Portanto, a organização biológica complexa estaria “Entre o Cristal e a Fumaça” (ATLAN, 1979). Ele explica: “Redundância, em seu sentido mais geral, é a existência de restrições entre os elementos, de modo que a informação sobre um deles fornece automaticamente algum conhecimento sobre o outro” (ATLAN, 1984, p. 111); quanto maior a quantidade de informação disponível, maior “o número de símbolos necessários para descrevê-la em linguagem binária (ou outra)... Essa é uma maneira de medir a complexidade” (ATLAN, 1979, p. 46). A complexidade diz respeito não só à quantidade de informação necessária para descrever um sistema como o biológico, mas também a um grau mínimo de redundância que garanta sua plasticidade e funcionalidade, pois se for um sistema completamente caótico apenas um arranjo específico daria suporte a uma determinada função, e a quantidade de informação necessária para descrevê-lo tenderia ao infinito.

4 Auto-Organização, Informação e Novidade

O papel do observador ganhou mais nitidez no trabalho de Atlan a partir de seus estudos, juntamente com Fougelman e Weisbuch (1981) e Milgram

(1983), a respeito de *redes de autômatos booleanos*, atualmente conhecidas como “redes neurais”. Segundo Atlan, “A vantagem dessas redes sobre os sistemas naturais como organismos ou sistemas sociais obviamente reside em que tudo nos é conhecido sobre eles e, portanto, podemos tentar seguir passo a passo a transição do local para o global e emergência das propriedades globais da auto-organização com base nas propriedades individuais de elementos” (ATLAN, 1983, p. 115). Em relação a um sistema natural complexo, do qual o observador não tem um conhecimento (quase) completo de cada nível de atividade, pode-se então dizer, para as redes neurais artificiais sobre as quais temos conhecimento (quase) completo, que as passagens do local para o global, e vice-versa, podem gerar uma *inovação*: “um sistema determinístico suficientemente complexo para que seu comportamento não possa ser previsto sem usar uma simulação de computador pode produzir novidade” (ATLAN, 1983, p. 117) *em relação ao conhecimento prévio do observador*. Talvez devamos nos perguntar se não se trataria apenas de um efeito psicológico, decorrente do fato de que o observador levaria muito tempo para calcular manualmente o estado final, ao passo que o computador o faz em um tempo muito curto. Neste caso, a resposta de Atlan poderia ser que a Auto-Organização é um efeito psicológico; como não temos acesso à onisciência (tanto no caso dos sistemas naturais quanto no caso de sistemas artificiais complexos), o “efeito psicológico” torna-se uma limitação que não pode ser ultrapassada, assim como no caso clássico da análise de David Hume (1999) sobre a causalidade.

Encontramos, alternativamente, na abordagem de Edgar Morin, o endereçamento de questões ontológicas evitadas pelos autores que se colocavam na tradição do BCL. Morin (1977) fala de “emergência”, ao invés de “inovação”, denotando um processo que ocorre no sistema observado, independentemente do grau de conhecimento ou ignorância do observador a seu respeito. Entende Morin que as propriedades das *partes interagentes* no seio de um dado sistema podem ser mais ricas que quando essas partes se encontram isoladas ou submetidas a relações organizacionais restritivas. Neste último caso, suas potencialidades são reprimidas e/ou virtualizadas, ou seja, nesta condição as partes não podem adotar todos os seus estados possíveis. Assim, quando um determinado subsistema é incorporado a um macrossistema, pode ocorrer tanto a emergência de novas propriedades neste subsistema, quanto a repressão de outras propriedades que poderiam se realizar em outras condições:

[S]e as partes devem ser concebidas em função do todo, devem igualmente ser concebidas isoladamente; uma parte tem a sua própria irreduzibilidade em relação ao sistema. É ainda preciso conhecer as qualidades ou propriedades das partes que estado inibidas, virtualizadas, e, portanto, invisíveis no seio do sistema, não só para conhecer corretamente as partes, mas também para conhecer melhor as imposições, inibições e transformações operadas pela organização do todo...Os elementos têm pois que ser definidos ao mesmo tempo nos e pelos seus caracteres originais, nas e com as inter-relações nas quais participam, ...na e com a perspectiva do todo onde se integram. Inversamente, a organização deve se definir em relação aos elementos, às inter-relações, ao todo, e assim por diante. O circuito é poli-relacional (MORIN, 1977, p. 121; para um desdobramento desta ideia, vide LUNGARZO & PEREIRA JR., 2007).

Neste quadro, Morin concebe a organização, na tradição hegeliana, como sistema de diferenças e antagonismos. A unidade organizacional tem “identidade complexa” (múltipla e una ao mesmo tempo). As partes têm “dupla identidade”: sua própria identidade, e a identidade do todo. A organização “estabelece relações complementares entre as partes diferentes e diversas, bem como entre as partes e o todo”; mas a manutenção das relações complementares “supõe igualmente a existência de forças de exclusão, de repulsão, de dissociação, sem as quais tudo se confundiria e nenhum sistema seria concebível” (MORIN, 1977, p. 115). Segundo Morin (1977, p. 115),

[T]odo sistema apresenta uma face diurna emersa, que é associativa, funcional, e uma face de sombra, imersa, virtual, que é o negativo da outra. A todo aumento de complexidade na organização correspondem novas potencialidades de desorganização. A organização viva [...] funda a sua complexidade própria na união ao mesmo tempo complementar, concorrente e antagônica, de uma desorganização e reorganização ininterruptas. Suscita a degradação e desorganização (desordens que despertam os antagonismos, antagonismos que chamam as desordens), mas essas são inseparáveis de suas atividades reorganizadoras; integra-as, sem, todavia, perderem o seu caráter desintegrador.

Constata-se, assim, que noção de ‘Organização’ é mais rica que a de ‘Ordem’; “a organização produz a ordem, que mantém a organização que a produziu, isto é, co-produz a organização, mas a desordem não é repelida pela organização: é transformada e permanece virtualizada nela, pode atualizar-se nela” (MORIN, 1977, p. 115-7).

5 A Teoria da Auto-Organização de Michel Debrun e Colaboradores

O filósofo francês Michel Debrun se radicou no Brasil, vindo a desenvolver, a partir da década de 1980, uma síntese original da Teoria da Auto-Organização (DEBRUN, 1996a; 1996b). Visando superar as críticas de Ashby (1962) à ideia paradoxal de uma *auto-organização absoluta*, na qual um sistema seria ao mesmo tempo causa e efeito de si mesmo, Debrun distinguiu dois tipos de Auto-Organização (AO), ambos em um sentido relativo:

- a) *AO Primária*: Ocorre quando um novo sistema se forma a partir do encontro casual de elementos que pertenciam a outros sistemas. Mesmo que a dinâmica destes elementos nos sistemas aos quais pertenciam fosse determinista, a partir do encontro casual (correspondendo ao conceito de *acaso* de Cournot; vide LUNGARZO E PEREIRA JR., 2009) se estabelece uma nova *dinâmica de interações*, que resulta em um padrão de organização estável, com funcionalidade interna e externa (ou seja, com capacidade adaptativa). Neste tipo de processo, há a convergência de linhas causais determinantes dos elementos que se encontram, resultando na formação de um novo sistema, no qual se forma uma dinâmica global que não seria pré-determinada, pois se supõe que não haveria uma coordenação prévia e conjunta das linhas causais. Em outras palavras, as trajetórias dos elementos que compõem o novo sistema, tomadas separadamente, seriam perfeitamente determinísticas; porém, ao interagirem entre si eles geram uma nova dinâmica que não se reduz à resultante das trajetórias

dos elementos. Um exemplo de AO primária é a origem da vida celular, em que diversas macromoléculas, submetidas a diferentes condições iniciais, se encontram e passam a interagir entre si; destas interações, emerge uma totalidade funcional estável, um novo sistema, que se adapta ao ambiente e se reproduz;

- b) *AO Secundária*: Ocorre em um sistema já constituído, quando um novo padrão de organização se forma a partir das interações entre os componentes e com o ambiente. Não se trata de *auto-causação*, pois nas interações dos componentes entre si e com o ambiente se atualizam potencialidades do próprio sistema, que anteriormente permenciam latentes. Portanto, é um processo no qual o sistema mantém sua estrutura, alterando o padrão de organização e respectiva funcionalidade a partir da livre interação de seus componentes, respondendo autonomamente aos estímulos que se apresentam nas interações com o ambiente. Um exemplo frequentemente citado por Debrun é o jogo de futebol, que acontece em um sistema cuja estrutura é formada por 22 jogadores, um campo, uma bola, um juiz e um conjunto de regras pré-determinadas. Esta estrutura propicia diversas modalidades de interação dos componentes, gerando padrões dinâmicos estáveis, que se cristalizam no resultado (o placar final; para uma abordagem do papel da informação na AO secundária, vide Pereira Jr e Gonzalez (2008; 2018).

Os conceitos centrais da teoria da auto-organização em Debrun (1996a; 1996b), desenvolvidos em Bresciani Filho e D'Ottaviano (2000; 2018), são:

- a) Da interação entre as partes se gera uma *forma global* nova no sistema, a qual pode ser identificada por meio da funcionalidade que propicia. Há aqui um efeito da totalidade sobre as partes (efeito “holista”), mas este efeito é entendido como resultante das interações dos componentes, e não da ação de alguma entidade transcendente ao sistema (o que implicaria em processo de Hetero-Organização - HO);
- b) Ao longo do processo ocorrem *ajustes* entre os componentes; para isso, é necessário que as interações entre eles sejam livres, no sentido da independência estatística – por isso, é questionável a possibilidade de AO em um sistema totalmente determinístico, ou totalmente programado, uma vez que nestes casos se impossibilitaria a livre interação entre os componentes e, conseqüentemente, se impediria a manifestação de potencialidades que encontravam em estado recessivo;
- c) Se a AO não é absoluta; ela sempre coexiste com algum grau de HO, que pode, inclusive, se efetivar mediante controle hierárquico por um agente interno ao sistema. Por exemplo, no caso de uma organização política ditatorial, o ditador está no interior do sistema, porém não permite a livre interação entre os cidadãos, que seria necessária para a caracterização de um processo de AO social; sua ação, portanto, seria caracterizada como hetero-organizativa. Um exemplo da *coexistência* de AO com HO seria quando uma pessoa recorre a um profissional de Medicina para realizar procedimento clínico ou cirúrgico; a ação do medicamento receitado, ou da intervenção cirúrgica realizada, consiste em processo de HO, enquan-

to a reação posterior da pessoa a tal intervenção, ou seja, seu processo de recuperação, tem característica de AO;

- d) Os sistemas AO desenvolvem uma “hierarquia acavalada”, em que os níveis “inferiores” não só são controlados pelos “superiores”, mas também os controlam. Antes de sua vinda ao Brasil, Michel Debrun havia estudado, na Filosofia Política, o filósofo italiano Antonio Gramsci e seu conceito de *hegemonia*, que bem ilustra o conceito não-linear de hierarquia. As relações sociais que se estabelecem na produção das condições de vida induzem a formação de classes sociais, correspondendo às posições ocupadas pelos cidadãos naquelas relações. Tais classes procuram utilizar o aparelho de Estado para realizar seus interesses, estabelecendo a dominação hierárquica de uma determinada classe. Entretanto, no regime democrático republicano a hierarquia de poder não é linear, pois a classe que ocupa posição inferior pode se mobilizar para expressar seus interesses na sociedade, conquistando posições favoráveis em várias esferas da vida cultural e política (ou seja, na “superestrutura” social) e respectivas instituições, inclusive as que compõem a estrutura do estado, o que lhe possibilitaria influenciar o modo de produção das condições de vida (a “infraestrutura” social), caracterizando uma situação de hegemonia.

Comentários Finais

A ciência contemporânea tem se interessado pelo estudo dos objetos complexos, como os sistemas vivos. Neste contexto, os termos 'Auto-Organização' e 'Autonomia', têm sido frequentemente empregados, para caracterizá-los; encontros interdisciplinares têm sido realizados para fomentar abordagens mais integradoras. Em um destes encontros, um dos organizadores perguntou, ao final:

Não é estranho que tenhamos passado em silêncio sobre tudo o que a filosofia, desde os estoicos pelo menos, tem dito sobre autonomia? [...] É surpreendente ou, pelo contrário, é desnecessário dizer que a filosofia, frequentemente solicitada durante esses debates interdisciplinares, nunca foi considerada uma área específica do conhecimento? (DUMOUCHEL, 1983, p. 539).

Kant já havia indicado que temos duas alternativas para explicar o comportamento de um sistema qualquer (inclusive os seres "livres"): ou através da causalidade mecânica, onde este sistema aparece como determinado por uma outra coisa que não ele mesmo, ou através da "liberdade" intrínseca ao sistema. Contudo, a organização de sistemas complexos, dos quais os seres vivos são um modelo, requer um tipo de explicação que não se enquadraria em nenhuma das duas alternativas kantianas.

Uma terceira alternativa seria entender que estes sistemas poderiam ter o processo formador de sua organização explicado por meio de outro tipo de causalidade, que não a mecânica linear. A "causalidade circular" mencionada pelos "ciberneticistas de segunda ordem" do BCL, a "causalidade estatística" mencio-

nada por Prigogine, a “causalidade de acoplamento” mencionada por Stengers (1985, p. 99), ou mesmo a *Causa Formal* de Aristóteles poderiam ser lembradas, como típicas de sistemas complexos que se auto-organizam e processam a informação de modo autônomo. A *Causa Formal* pode ainda ser interpretada como a regulação das funções sistêmicas pela informação endógena (vide PEREIRA JR., 2015), compondo um processo de *Auto-Organização Secundária* (PEREIRA JR. & GONZALEZ, 2008).

Livet (1985) considerou *Auto-Organização* um “conceito polimorfo”, que abarca projetos diferentes e até opostos, como os de Prigogine e Ashby: para o primeiro, o conceito diz respeito a um processo de evolução de um sistema para estados estacionários distantes do equilíbrio termodinâmico, ao passo que para o segundo trata-se da evolução de um sistema para o estado de equilíbrio. Entretanto, há algo de comum entre os usuários dos termos ‘Auto-Organização’ e ‘Autonomia’: a pretensão de explicar fatos experimentais ligados aos sistemas complexos, especialmente aos seres vivos, oferecendo uma alternativa ao ‘reducionismo’ mecanicista e ao ‘holismo’ vitalista, como já mostrara Stengers. Hoje este grupo de pesquisadores dispõe de um arsenal de recursos inédito: informática, teorias com alta ordinalidade, matemática não-linear etc., além dos recursos propriamente técnicos de laboratório, podendo-se esperar que as ‘descobertas’ na área continuarão a ocorrer.

Dentre as divergências entre os autores, a mais persistente parece ser entre os que concebem tais conceitos como tendo densidade ontológica, e os que procuram reduzi-los a ferramentas de cunho epistemológico como conceito “re-

lacional". Parece-me que os segundos jogam fora o bebê junto com a água do banho, pois um novo conceito de causalidade não será esclarecido se considerarmos que a Auto-Organização seja puramente relacional; ou seja, um novo modelo de causalidade só tem sentido se julgamos que Auto-Organização diz respeito a uma objetividade dada ou construída.

Agradecimentos: À FAPESP, por auxílios concedidos a esta pesquisa; ao Dr. Célio Garcia (UFMG, em memória), por ter me acolhido como orientando de mestrado em 1983 e propiciado acesso, àquela época, à bibliografia deste trabalho; aos colegas do grupo de pesquisa sobre Auto-Organização, do Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência da UNICAMP, em especial à Profa. Dra. Ítala Maria D'Ottaviano, por 35 anos de colaborações produtivas.

Referências

ASHBY, W. R. Principles of the self-organizing system. *In*: VON FOERSTER, H.; ZOPF JR., G. W. *Principles of Self-Organization*: Transactions of the University of Illinois Symposium. Londres: Pergamon Press, p. 255-278, 1962. Disponível em: <http://csis.pace.edu/~marchese/CS396x/Computing/Ashby.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

ATLAN, H. *Entre le Cristal e la Fumée*; Paris: Ed. Seuil, 1979.

ATLAN, H. L'Émergence du Nouveau et du Sens. In: DUPUY, J.-P.; DUMOCHÉL, P. (Orgs.). *L'auto-organisation, de la physique à la politique*. Paris: Ed. Seuil, 1983.

ATLAN, H. Disorder, Complexity and Meaning. In: LIVINGSTON, P. (Org.). *Disorder and Order – Proceedings of the Stanford International Symposium*. Saratoga (CA): Anma, 1984.

ATLAN, H.; FOGELMAN-SOULIÉ, F.; WEISBUCH, G. Random Boolean Networks. *Cybernetics and Systems*, v. 12, p. 103-21, 1981.

ATLAN, H.; MILGRAM, M. Probabilistic Automata as a Model for the Epigenesis of Cellular Networks. *Journal of Theoretical Biology*, v. 103, p. 523-47, 1983.

BERTALANFFY, L. *Teoria Geral dos Sistemas*. Petrópolis: Ed. Vozes, 1973.

BRESCIANI FILHO, E.; D'OTTAVIANO, I. M. L. Conceitos básicos de sistêmica. In: D'OTTAVIANO, I. M. L.; GONZALES, M. E. Q. (Orgs.). *Auto-Organização: Estudos Interdisciplinares*. Campinas: CLE/UNICAMP, 2000, p. 283-306 (Coleção CLE, v. 30).

BRESCIANI FILHO, E.; D'OTTAVIANO, I. M. L. Basic Concepts of Systemics. In: PEREIRA JR. A., PICKERING, W.; GUDWIN, R. *Systems, Information and Self-Organization: Interdisciplinary Perspectives*. Londres: Routledge, 2018, p. 47-63.

BROENS, M. C.; MORAES, J. A.; SOUZA, E. A. (Eds.). *Informação, Auto-Organização e Complexidade: Estudos Interdisciplinares*. Campinas: CLE-UNICAMP, 2015 (Coleção CLE).

CREA – Centre de recherche epistemologique et autonomie. *Genealogies de l'Auto Organisation*. Paris: École Polytechnique, 1985.

DEBRUN, M. A Idéia de Auto-Organização. *In*: DEBRUN, M., GONZALES, M. E. Q.; PESSOA JR., O. (Orgs.) *Auto-Organização: Estudos Interdisciplinares*. Campinas: CLE/UNICAMP, 1996a, p. 3-23 (Coleção CLE. v. 18).

DEBRUN, M. A Dinâmica da Auto-Organização Primária. *In*: DEBRUN, M., GONZALES, M. E. Q.; PESSOA JR., O. (Orgs.) *Auto-Organização: Estudos Interdisciplinares*. Campinas: CLE/UNICAMP, 1996b, p. 25-59 (Coleção CLE. v. 18).

D'OTTAVIANO, I. M. L.; GONZALES, M. E. Q. (Orgs.). *Auto-Organização: Estudos Interdisciplinares*. Campinas: CLE/UNICAMP, 2000 (Coleção CLE, v. 30).

DUMOUCHEL, P. Conclusion. *In*: DUPUY, J.-P.; DUMOUCHEL, P. (Orgs.). *L'auto-organisation, de la physique à la politique*. Paris: Ed. Seuil, 1983.

DUPUY, J.-P.; DUMOUCHEL, P. (Orgs.). *L'auto-organisation, de la physique à la politique*. Paris: Ed. Seuil, 1983.

GONZALES, M. E. Q. (Orgs.). *Auto-Organização: Estudos Interdisciplinares*. Campinas: CLE/UNICAMP, 2000 (Coleção CLE, v. 30).

HUME, D. *An Enquiry Concerning Human Understanding*. Ed. Tom L. Beauchamp. Oxford: Oxford University Press, 1999.

LIVET, P. Cybernétique, Auto-Organisation et Néo-Connectionisme. *In*: CREA – Centre de recherche epistemologique et autonomie. *Genealogies de l'Auto Organisation*. Paris: École Polytechnique, 1985.

LIVET, P. *L'Auto-Organisation à l'Age Adulte*, 1986 (Texto datilografado, disponibilizado por ocasião de visita do Prof. Dr. Célio Garcia ao CREA).

LIVINGSTON, P. (Org.). *Disorder and Order – Proceedings of the Stanford International Symposium*. Saratoga (CA): Anma, 1984.

LUNGARZO, C. & PEREIRA JR., A. Cournotian Approach to the Emergence of Relational Collectives. *TECCOGS: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas*, v. 1, p. 1-17, 2009.

MATURANA, H.; VARELA, F. *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*. Boston: D. Reidel, 1980.

MORIN, E. *O Método (Vol. 1): A Natureza da Natureza*. Publicações Europa América, 1977.

PEREIRA JR., A. *Irreversibilidade Física e Ordem Temporal na Tradição Boltzmanniana*. São Paulo: Ed. UNESP-FAPESP, 1997.

PEREIRA JR., A. & GONZALEZ, M. E. Q. O Papel das Relações Informacionais na Auto-Organização Secundária. In: D'OTTAVIANO, I. M. L.; GONZALES, M. E. Q. (Orgs.). *Auto-Organização: Estudos Interdisciplinares*. Campinas: CLE-UNICAMP, Coleção CLE, 2008.

PEREIRA JR., A. Afinal, o que é Informação? In: BROENS, M. C.; MORAES, J. A.; SOUZA, E. A. (Eds.). *Informação, Auto-Organização e Complexidade: Estudos Interdisciplinares* Campinas: CLE-UNICAMP, 2015 (Coleção CLE).

PEREIRA JR. A., PICKERING, W. & GUDWIN, R. *Systems, Information and Self-Organization: Interdisciplinary Perspectives*. Londres: Routledge, 2018.

PEREIRA JR., A. & GONZALEZ, M. E. Q. The Role of Information in Self-Organization. In: PEREIRA JR., A.; PICKERING, W.; GUDWIN, R. *Systems, Information and Self-Organization: Interdisciplinary Perspectives*. Londres: Routledge, 2018, p. 64-75.

PRIGOGINE, I. ; STENGERS, I. *La Nouvelle Alliance: Metamorphose de la Science*. Paris: Gallimard, 1979.

PRIGOGINE, I. ; STENGERS, I. *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. Nova Iorque: Bantam Books, 1984. Edição ampliada de *La Nouvelle Alliance*.

SCHROEDINGER, E. *What is life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Lectures delivered in the Dublin Institute for Advanced Studies at Trinity College,

Dublin. Disponível em: <http://www.whatislife.ie/downloads/What-is-Life.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

STENGERS, I. Les Généalogies de l'Auto-Organisation. In: CREA – Centre de recherche epistemologique et autonomie. *Genealogies de l'Auto-Organisation*. Paris: École Polytechnique, 1985.

VARELA, F. *Principles of Biological Autonomy*. Nova Iorque: North Holland, 1978.

VON FOERSTER, H.; ZOPF JR., G. W. *Principles of Self-Organization*: Transactions of the University of Illinois Symposium. Londres: Pergamon Press, p. 255-78, 1962. Disponível em: <http://csis.pace.edu/~marchese/CS396x/Computing/Ashby.pdf>

WEISS, P.A. *Principles of Development*. Nova Iorque: Henry Holt and Company, 1939.

WERKMEISTER, W. Hans Driesch. In: *The Encyclopedia of Philosophy*. McMillan and Co., 1974.



Esta obra está licenciada sob a licença [Creative Commons Atribuição – Não Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).