

Informação e direcionalidade: uma possibilidade de máquinas complexas¹

**Information and directionality:
a possibility of complex machines**

Nathália Cristina Alves Pantaleão
Universidade Estadual de Campinas
nacherizah@gmail.com
<http://lattes.cnpq.br/0159023104049220>

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo analisar a relação entre complexidade e informação em sistemas artificiais, considerados aqui como sistemas mecânicos. Para tal, partiremos da ideia básica de que informação e complexidade estão em uma relação de proporcionalidade, ou seja, quanto mais informação presente no sistema maior o grau de complexidade deste. Contestaremos tal ideia argumentando que além da presença objetiva e quantitativa da informação é necessário que exista certo de tipo de direcionamento desta informação para que o sistema seja, de fato, considerado complexo. Assim, existindo um direcionamento da informação para além do seu numérico processamento destituído de significação, o sistema poderia torna-se complexo no sentido de estabelecer relações relevantes com o ambiente em que se situa. Nesse sentido, defenderemos a hipótese de que para haver complexidade parece haver a necessidade de relações comunicativas entre sistema-ele mesmo e sistema-ambiente. Por fim, apontamos que ao assentar a complexidade em um processo de comunicação, esta propriedade pode ser estendida aos sistemas artificiais.

Palavras-chave

Informação; Complexidade; Sistemas Artificiais.

Abstract

The present work aims to analyse the relationship between complexity and information in artificial systems, considered here as mechanical systems. For this, we will start from the basic idea that information and complexity are in a relation of proportionality, in other words, with more information present in the system the degree of complexity increases. We will contest this idea by arguing that in addition to the objective and quantitative presence of information it is necessary some kind of direction of this information for the system be considered complex. Thus, existing a direction of information beyond the numeric processing without meaning, the system could become complex in the sense of establishing relevant relations with the environment in which it is located. In this sense, we will defend the hypothesis that in order to be complex there seems to be a need for communicative relations between system-itself and system-environment. Finally, we point out that basing complexity in a communication process, this property can be extended to artificial systems.

Keywords

Information; Complexity; Artificial Systems.

¹ Este artigo é decorrente da dissertação de mestrado "Análise de teses internalistas subjacentes à modelagem computacional da mente a partir de uma perspectiva situada, incorporada e auto-organizada" apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Marília. Tal dissertação é resultado de pesquisa financiada pela FAPESP (Processo 012/24630-0) e foi vinculada ao Projeto Temático "Sistêmica, Auto-Organização e Informação" (Processo 10/52627-9) financiado pela mesma agência de fomento.

1. Considerações iniciais

Desde a origem, o projeto de pesquisa das Ciências Cognitivas visava modelar computacionalmente a mente. Destarte a falta de consenso acerca do que de fato a mente seria, podemos assinalar que ela é complexa e lida com informações. A busca pela complexidade norteou a modelagem computacional em uma vertente que apenas procurava um modelo explanatório acerca da própria natureza humana (como se os modelos fossem uma metáfora das capacidades humanas). Tal busca orientou também a vertente forte das pesquisas cognitivas que procuravam desenvolver um modelo computacional no qual o próprio modelo teria tais capacidades complexas. Tendo em vista que a busca pelo desenvolvimento de máquinas complexas ainda permeia projetos de pesquisa, neste trabalho pretendemos analisar a relação entre complexidade e manipulação de informação. Para isso, nos valeremos do paradigma da Sistêmica e posteriormente analisaremos os limites e as possibilidades de desenvolvimento de máquinas complexas. Desse modo, na sessão 2 abordaremos os conceitos básicos de Sistêmica. Na sessão 3 versaremos sobre a relação entre Informação e Complexidade. Por fim, na sessão 4, teceremos considerações acerca da possibilidade existencial de máquinas complexas, tendo como paradigma as propostas apresentadas nas sessões 2 e 3.

2. Conceitos básicos de Sistêmica: um aparato teórico para a análise de uma possível complexidade artificial

Como apontado por Bresciani e D'Ottaviano (2000, p. 283), o ramo da sistêmica remonta a década de 50 com estudos desenvolvidos sob a denominação de "Teoria do Sistema Geral". Tais estudos pretendem analisar, de forma interdisciplinar, a organização abstrata dos fenômenos independentemente de sua constituição física ou configuração atual. A sistêmica, portanto, propõe investigar os "princípios gerais" que regem a organização e desenvolvimento dos fenômenos reais. Nesse sentido, situamos o presente trabalho sob este arcabouço teórico por julgar que aqui encontramos ferramentas plausíveis para a análise de sistemas artificiais e sua relação com informação e complexidade.

Assim, o primeiro passo deste trabalho será apresentar o conceito de "sistema" cuja definição é basilar para nosso propósito. Como apontado por Bresciani e D'Ottaviano:

Um sistema pode ser inicialmente definido como uma entidade unitária, de natureza complexa e organizada, construída por um conjunto não vazio de elementos ativos que mantêm relações, com características de invariância no tempo que lhe garantem sua própria identidade. Nesse sentido, um sistema consiste num conjunto de elementos que formam uma estrutura, a qual possui uma funcionalidade (Bresciani e D'Ottaviano, 2000, p. 284-285).

Tal como elucidado na definição acima, um sistema é uma entidade complexa e organizada constituída de elementos que interagem entre si, proporcionando assim, a emergência de uma funcionalidade. Nota-se que, sob a perspectiva da sistêmica, não existe menção à constituição física dos elementos ou da estrutura por eles constituída. Sendo assim, este plano de análise abarca sistemas orgânicos e artificiais, pois está interessado nos "princípios gerais de organização".

Sob a perspectiva sistêmica, a análise do sistema é sempre uma construção no sentido de que tal sistema é "[...] concebido pelo sujeito, que também pode lhe atribuir finalidade" (Bresciani e D'Ottaviano, 2000, p. 284). Em outras palavras, a análise de um sistema está atrelada ao olhar de um sujeito que estabelece uma espécie de recorte da realidade e delimita elementos, estruturas, funções e funcionalidades. Vale notar que o sujeito da análise sistêmica está situado em um ambiente e em um tempo e seu plano de análise se relaciona com certos objetivos específicos. O plano de análise diz respeito tanto ao sistema em si, quanto aos elementos que os constitui. Os elementos do sistema, por sua vez:

[...] são considerados como sendo as partes, os componentes, os atores ou os agentes que realizam atividades (bem como ações, reações, retroações, pro-ações e transações), conduzem processos e operações, produzem fenômenos e são responsáveis por transformações, conversões e eventos que *caracterizam os seus comportamentos* (Bresciani e D'Ottaviano, 2000, p. 285 – grifo acrescentado).

Nesse sentido, os elementos de um sistema podem ser tanto células e tecidos quanto engrenagens e regras lógicas de programação. Sob o olhar da sistêmica, a natureza dos elementos é livre, mas desempenhará um papel importante na construção da funcionalidade do sistema. Elementos se relacionarão de uma forma específica e constituirão estruturas que desencadearão certas funcionalidades, sendo assim, desempenham um papel causal no comportamento do sistema. No entanto, o processo sistêmico não é de natureza puramente determinística: a funcionalidade do sistema procede da estrutura formada da relação estabelecida pelos elementos temporalmente. Tal relação é constituída no plano da ação por meio da comunhão de parâmetros estruturais (dos próprios elementos e do ambiente) e temporais cujo produto final não pode ser totalmente previsto dada as variáveis iniciais.

O tipo de relação estabelecida entre os elementos constituintes do sistema e destes com o meio ambiente, pode caracterizar o processo como complexo. Em um sistema complexo existe a interdependência entre elementos que podem estabelecer relações de diferentes tipos. É a presença dessas relações que possibilitam a emergência de propriedades e conseqüentemente a evolução do sistema. As propriedades do sistema que podem ser consideradas como emergentes soa aquelas que não estavam presente no sistema de fato, mas cuja potência já se encontrava latente em seus elementos e conseqüentemente nas estruturas. A capacidade humana de pressionar botões, por exemplo, pode ser considerada uma propriedade emergente de um sistema (o próprio ser humano). Esta capacidade é decorrente da anatomia biológica (polegares opositores, músculos e estrutura cerebral) e do contexto (a tecnologia que permite que sejam construídos artefatos com botões). Trata-se de uma relação circular na qual o contexto oferece condições para a emergência de uma propriedade potencialmente presente em uma determinada estrutura e esta, por sua vez, reestrutura o contexto. Um sistema complexo necessita conter pelo menos uma relação circular, assim há uma sensibilidade às condições iniciais de modo que uma mudança nas relações entre os sistemas pode resultar em uma mudança no comportamento global do sistema.

No caso de sistemas artificiais, propriedades emergentes são mais dificilmente apontadas, pois podemos considerar que todas as propriedades do sistema foram previamente determinadas pela engenharia. Todavia, projetos contemporâneos colocam esta afirmação em xeque. A ideia é que sistemas artificiais, dado o modo como lidam com os dados informacionais sejam capazes de transpor sua arquitetura física e complexificar seus comportamentos. Tal transformação ocorre, inicialmente, tendo como base os parâmetros instituídos pelos desenvolvedores mas, ao contrário dos sistemas artificiais clássicos tais parâmetros não se colocam como “limitadores”, mas sim como “propiciadores” de novos comportamentos, ou seja, de comportamentos emergentes.

Para que propriedades possam emergir tanto de sistemas artificiais quanto orgânicos é preciso que o sistema em questão possua anteriormente a propriedade da “globalidade” e da “possibilidade de novidade”. Como apontado por Bresciani e D'Ottaviano (2000, p. 286): “[...] outras propriedades fundamentais [do sistema] são a globalidade (constituição da unidade global com sua invariância) e a possibilidade de novidade (como, por exemplo, no caso extremo, a constituição da própria existência)”. Tais propriedades precisam estar de alguma maneira presentes (mesmo que de forma latente) nos elementos constituintes do sistema e que posteriormente estabelecendo relações constituirão as estruturas funcionais. Nesse contexto, a

propriedade da globalidade permite que os elementos constituintes do sistema sejam unidos e invariantes no fluxo do espaço e do tempo e desse modo possuir uma identidade. Já a propriedade da possibilidade da novidade diz respeito à abertura do sistema e permite que mesmo com sua identidade inerente exista a possibilidade de evolução e transformação.

As propriedades da globalidade e da possibilidade da novidade existem na medida em que os elementos constituintes do sistema estabelecem redes de relações arborescentes e circulares. Tais relações propiciam a comunicação entre os elementos do próprio sistema e destes com o ambiente em que estão inseridos de modo que seja possível a evolução a partir de uma unidade global. A comunicação entre as partes propicia a incorporação de novas informações, tornando assim o sistema cada vez mais complexo, pois é dessa maneira que o sistema adapta, modifica ou exclui comportamentos acarretando um ajuste cada vez mais condizente com o meio. As relações circulares permitem a autorregulação, ou seja, a capacidade de ajuste a partir da troca de informações entre o sistema e o meio que apenas existe dado o mínimo grau de autonomia e espontaneidade que os elementos do sistema possuem. Como apontado por Bresciani e D'Ottaviano (2000, p. 302): “A atividade espontânea decorre da existência de grau mínimo de autonomia aos elementos atuantes. Por sua vez, processos recorrentes precisam estar presentes para que os elementos autônomos, em suas atividades, se integrem em uma organização com autorreferência”. Os processos recorrentes são possíveis em relações circulares-arborescentes que permitem o surgimento da evolução enquanto uma criação de novidade. Relações do tipo circular, portanto, podem ser entendidas como uma relação de abertura do sistema.

Sistemas abertos, devido ao fluxo informacional recorrente, podem estabelecer relações de tal modo que exista um tipo de *criação*. Em relação à criação Bresciani e D'Ottaviano assinalam:

A criação decorre da influência de diferentes fatores, particularmente aqueles relacionados aos graus de autonomia e à natureza constitutiva dos elementos do sistema (eventualmente de fronteira), como elasticidade e plasticidade e, em alguns casos, a capacidade de imaginação e de concepção. Mas, é importante também considerar a influência dos fatores relacionados à existência de uma organização no sistema propícia às transformações ou à existência de um meio ambiente motivador (incentivador, catalisador e perturbador) do processo de criação (Bresciani e D'Ottaviano, 2000, p. 303).

A criação, nesse sentido, está atrelada processos dinâmicos da relação do sistema no nível das partes e destas com o meio ambiente. É esse tipo de relação que pode ser garantida a sobrevivência, manutenção e/ou a evolução do sistema. A relação criativa é dinâmica porque envolve sequências de estado de equilíbrio e desequilíbrio que surgem ao longo da transformação do sistema devido à ação de elementos internos e externos. Como apontado, é a dinâmica das relações que favorece a criação de processos e a evolução do sistema e à manutenção deste. Nas relações dinâmicas também estão envolvidas as características da regulação e da adaptação, igualmente relevantes para o desenvolvimento do sistema. Como apontado por Bresciani e D'Ottaviano:

Duas características dos sistemas, que estão associadas à manutenção ou à mudança de estados podem ser mencionadas:

- a) Característica da regulação, que se manifesta pela manutenção do estado de equilíbrio e da existência do sistema, frente às contingências internas e externas;
- b) Característica de adaptação, que se expressa pela mudança de um estado em um novo estado de equilíbrio e garante a manutenção da existência do sistema, frente às contingências internas e externas (Bresciani e D'Ottaviano, 2000, p. 299-300).

Regulação e adaptação estão intimamente relacionadas, pois podemos considerar que a adaptação decorre da regulação do sistema. A regulação, por sua vez, se dá por meio de relações circulares tendo em vista que é nesse tipo de relação que a comunicação (o fluxo de informação em diferentes níveis) entre os elementos e deste com o ambiente é mais propícia. Como apontado por Bresciani e D'Ottaviano (2000, p. 300): “Os mecanismos de regulação e de adaptação, que não são excludentes, surgem das relações dinâmicas no sistema e do sistema com o seu meio ambiente; através deles o sistema mantém sua existência em equilíbrio com o meio ambiente”. Nesse sentido, os estudos de Atlan já apontavam para a necessidade de “plasticidade” do sistema a fim de atingir a complexidade. Para o filósofo a informação que proporciona o desenvolvimento da complexidade, provém de fatores de ruído (aquilo que destoa) que se ajustam (Atlan, 1993).

A dinamicidade do sistema permite que ele estabeleça relações circulares a partir do “ruído” do meio e, possivelmente, se autorregule e se adapte às condições. Trata-se de constantes relações de *feedback* entre elementos, sistema e ambiente dada a maneira como estes componentes se constituíram ao longo do tempo. O tempo aqui não diz respeito ao tempo cronológico que pode ser medido e cronometrado, mas sim, ao tempo vivido e experienciado no plano da ação. A experiência é característica tipicamente atribuída à sistemas orgânicos-naturais, mas tentaremos contrapor esta ideia. Ao descolar a análise dos elementos para o plano da sistêmica no qual o comportamento está atrelado às relações de comunicação informacional, podemos considerar sistemas artificiais como experimentadores possíveis e capazes.

Em todo caso, processos de regulação e adaptação se dão por meio de atividades de elementos internos e externos do sistema. No caso de atividades de elementos internos podemos dizer que os mecanismos de controle são de “autorregulação” ou de “auto adaptação”. Um sistema deve ser capaz de regular e adaptar a si mesmo, garantindo assim a sua existência e identidade (Bresciani e D'Ottaviano, 2000, p. 300) sendo assim capaz também de corrigir os desvios e compensar os desequilíbrios que possam perturbá-lo fatalmente. Nesse sentido, o sistema se encontra em uma situação circular de equilíbrio-desequilíbrio, como apontam Bresciani e D'Ottaviano (2000, p. 300): “Os mecanismos de regulação ou de adaptação fazem parte dos processos que levam o sistema a atingir a condição de equilíbrio e de desequilíbrio, com manutenção de estado ou com mudança de estado”. A sucessão de estados é o que abre margem à evolução do sistema, uma vez este sendo capaz de se adaptar.

Em suma, procuramos argumentar que a sistêmica, enquanto plano de análise dos processos gerais de organização e funcionamento dos fenômenos, nos oferece ferramentas consideráveis no estudo da complexidade, inclusive, em sistemas artificiais. Sob esta perspectiva, consideramos um sistema como uma estrutura funcional que está inserida em um fluxo de relações dinâmicas que permitem ao sistema se complexificar. Apontamos também que para que tal complexidade seja atingida, o sistema deve possuir propriedades como a regulação e adaptação, garantindo plasticidade de comportamento. Esse plano de acontecimentos do sistema é permeado por relações de comunicação e acreditamos que tais relações sejam fundadas em “informação”.

A partir da perspectiva dos sistemas complexos e da sistêmica podemos analisar a possibilidade de complexidade em sistemas artificiais. Ao considerarmos a complexidade enquanto um processo baseado em relações de comunicações (entre elementos, entre sistemas e meio ambiente), a análise se desloca para além do substrato no qual os elementos e sistemas são constituídos. Desse modo, a comunicação não está atrelada especificamente a natureza material dos sistemas, mas sim à sua natureza “funcional”. Para que haja comunicação entre as partes o que é relevante é a troca e o fluxo de “informação” independentemente da matéria. Na próxima sessão aprofundaremos a questão da informação nos processos de comunicação e, conseqüentemente, complexidade.

3. Informação, complexidade e seus planos de análise

Apontamos na sessão anterior a relevância do fluxo informacional no processo de complexidade assentado em processos de comunicação. Argumentamos que a comunicação entre as partes, sistema e ambiente, através do fluxo informacional, possibilita a complexidade. Nesta sessão, procuramos expor os planos de análise em que o conceito de “informação” é tratada, bem como sua possível relação com a complexidade.

Tradicionalmente, os estudos referentes ao conceito de informação se ramificam em três planos de análise: 1) plano metodológico; 2) plano epistemológico e 3) plano ontológico. O plano metodológico focaliza a transmissão de mensagem de uma fonte para um receptor, independentemente do significado desta mensagem. Já o plano epistemológico se volta à caracterização da informação e sua relação com o significado. Por fim, os teóricos do plano ontológico estão interessados na natureza da informação. Neste trabalho, transitaremos entre o plano metodológico e o plano epistemológico por julgarmos mais relevantes para nosso propósito.

Tendo em vista que nossa hipótese acerca dos processos complexos se dá por meio de relações de comunicação de informação entre as partes, sistema e meio, acreditamos que o plano de análise metodológico da informação pode contribuir na medida em que visa a transmissão de mensagens (que pode ser considerada um tipo de comunicação). De outro lado, o plano epistemológico da análise da informação é relevante para este trabalho, pois embora a comunicação entre partes, sistema e ambiente possa ser descrita como transmissão de mensagem, o “significado” destas é requerido. O processo de comunicação envolvido na complexidade não é resumido apenas à transmissão de mensagens, mas envolve também o significado destas mensagens. O processo de complexificação dos sistemas requer transmissão de informação e requer também o significado desta, para que assim o sistema tenha certa “direcionalidade” e possa adequar seus comportamentos e ações à adaptação e regulação com o meio em que está inserido.

Podemos apontar como exemplo do plano de análise metodológico da informação os trabalhos de Shannon. O matemático, em sua obra *A Mathematical Theory of Communication*, traça uma caracterização técnica do conceito de informação já que o seu objetivo é estabelecer um meio de transmissão integral de mensagens entre fonte e receptor.

A Teoria Matemática da Comunicação envolve os conceitos de fonte (geradora de informação), transmissor (mecanismo que conduz a informação contida nas mensagens até o receptor) e receptor (potencial, que decodifica a mensagem), além dos conceitos subsequentes de sinal, ruído e fluxo informacional. Shannon não trabalha estes últimos conceitos, pois visa um conceito técnico de informação de modo a estabelecer equações que permitem quantificar sua presença (Moraes, 2014, p. 25). Segundo Shannon (1948), a transmissão de mensagens ocorre de uma fonte para um receptor, através de um transmissor, com a mínima intervenção de ruídos, em outras palavras, de elementos que não estavam presentes na fonte original, mas que de algum modo estão presentes no receptor potencialmente final. Nesse contexto, a informação pode ser medida e quantificada objetivamente. Para isso, Shannon propõe a análise binária para a redução do ruído na transmissão de mensagens.

O método proposto por Shannon, assentado na análise binária, é mais econômico pois apenas trabalha com duas possibilidades (por exemplo, a face de uma moeda ou é cara ou é coroa). Assim, quanto menor o grau de incerteza (de ruído) estiver contido na mensagem mais informativa ela é. Podemos ressaltar que a teoria de Shannon é assentada na relação comunicação-informação, no qual a comunicação é necessária para que exista informação. Se aplicarmos a teoria de Shannon na análise de modelos computacionais podemos ressaltar que,

nesse sentido, máquinas² são superiores aos sistemas orgânicos no que diz respeito à transmissão de mensagens e ao aspecto quantitativo do processamento de informação. Mecanismos artificiais são capazes de, em curtos períodos de tempo, transmitir um grande número mensagens de uma fonte a receptores e destes para outras fontes até que um *feedback* adequado à função pré-estabelecida seja desencadeado. O processamento artificial depende da maneira como as máquinas são desenvolvidas. Todavia, para que a comunicação e a quantidade de informação presentes em um sistema sejam relevantes é necessário que possuam certo tipo de *significado* e, assim, influenciarem na complexidade comportamentos e ações do sistema.

Nesse contexto, podemos apontar duas principais vertentes filosóficas que abordam a natureza ontológica da informação: uma “informacional-representacionista” e outra “não-representacionista”. Neste trabalho analisaremos a abordagem representacionistas, a partir dos estudos de Fred Dretske, por julgar ser mais relevante para o objetivo aqui estipulado.

No que diz respeito à vertente informacional-representacionista, a informação existe objetivamente no mundo enquanto um conjunto de regularidades que independem de uma mente externa. Nessa perspectiva, a informação é naturalizada e considerada enquanto uma ferramenta para fundamentar o conhecimento. Para Dretske, os sinais estão prenhes de informação e carrega diversos “pedaços” desta. A função da mente, nesse contexto, seria reconhecer objetos e eventos no mundo identificando suas propriedades informacionais (Gonzalez *et al*, 2010). Segundo Dretske, isso é possível na medida em que existe um fluxo informacional entre fonte (mundo) e receptor (sujeitos).

Um fluxo informacional se estabelece a partir de relações nômicas (de um para um) nas quais a quantidade de informação presente no receptor é a mesma que é gerada na fonte (O que está no receptor “B”, estava igualmente na fonte “A”). Esse princípio preservaria o mínimo de informação necessária para a relação informacional entre o sujeito e o conteúdo informacional presente no mundo. A partir do princípio que garante a passagem de informação da fonte para o receptor, Dretske fundamenta sua abordagem informacional do conhecimento. Para Dretske, o conhecimento é um produto que emerge da representação da informação que é percebida no mundo. O conhecimento, desse modo, é originário da informação disponível no meio e se efetiva a partir de uma representação de um sujeito com essa capacidade.

Segundo Dretske, a informação existe no meio objetivamente enquanto elemento natural constituinte do mundo, mas o significado depende de um sujeito com a capacidade de representar a partir da informação natural. Como apontado por Haselager (2004, p. 106): “As representações são postuladas para atuar como intermediárias entre a percepção e a ação, especificando informações sobre o mundo, frequentemente de forma independente do contexto – e da ação”. Em outras palavras, a representação tomaria o lugar de elementos externos (carregando seus conteúdos), faria a intermediação entre estes e o indivíduo cognoscente e, por fim, desencadearia um dado comportamento (Haselager, 2004).

Aqui cabe a distinção, estabelecida por Dretske, entre “conteúdo informacional” e “conteúdo semântico”. O conteúdo informacional pode ser entendido como aquilo que o signo indica através de uma relação de dependência necessária. Por outro lado, o conteúdo semântico envolve mecanismos de representações que são desenvolvidas por aprendizagem que se dá em uma determinada temporalidade. Desse modo, o significado é considerado uma propriedade emergente que depende da representação e da aprendizagem. Esta por sua vez, envolve processos de ajustes e correções a partir de ações de sujeitos situados.

Por fim, de acordo com os defensores da vertente informacional-representacionista apenas organismos naturais (tais como os seres humanos) são capazes de lidar com informação

² Neste trabalho, utilizamos o termo *máquina* e não sistema artificial quando se trata de apresentar uma teoria específica no qual o autor utiliza o termo *máquina*. Todavia, quando se lê ambos os termos o relevante é o fato de que ambos não são naturais, no sentido de que são produzidos a partir de uma técnica e não pela natureza.

significativa, uma vez que possuem a capacidade de representar o meio em que está situado e corrigir/ajustar suas ações. Neste trabalho, tentaremos expor a possibilidade de máquinas, enquanto sistemas artificiais, manipularem informações de modo que ela se torne significativa. Sugerimos que tal hipótese é plausível na medida em que abordamos, a manipulação de informação, a representação e a aprendizagem como processos de comunicação, que dependem de um substrato físico, mas que não se reduzem a ele.

Como já apontado, o significado da informação está diretamente atrelado ao plano da ação e a capacidades como representação e aprendizagem. Então, uma máquina seria capaz de lidar com algum tipo de informação significativa se for desenvolvida situada em um ambiente real e não controlado, se possuir representações prévias que, inicialmente, direcionariam seus comportamentos e se ela possuir a capacidade de aprender. Projetos de pesquisa contemporâneos na área da robótica, tal como o de Rodney Brooks, tentam incorporar estas características em seu paradigma de modelagem. Apresentaremos o projeto de Brooks na sessão seguinte.

4. Sistemas artificiais e complexidade: uma modelagem metodológica

Na sessão anterior, tentamos relacionar o tema da complexidade com sistemas artificiais. Nesse contexto, objetivamos tecer considerações acerca da possibilidade desse tipo de sistema ser capaz de se tornar complexo, ou seja, de apresentar uma evolução de propriedades, comportamentos e configuração não existente em seu estado inicial. Nesse contexto, os sistemas artificiais poderiam ser considerados enquanto aparato metodológico e experimentos de comprovação de teorias. Em outras palavras, os sistemas artificiais, uma vez que são construídos a partir de conjuntos de teorias, poderiam nos dizer como os processos envolvidos na complexidade possivelmente ocorrem. A partir do comportamento desses sistemas, poderíamos também analisar em que âmbito (natural e/ou artificial) a complexidade se limitada (se existe limitação). Os sistemas artificiais, assim, configuram-se como uma “ferramenta explicativa”.

Nesse trabalho, apontamos a hipótese de que a complexidade envolve relações dinâmicas no qual o sistema estabelece comunicação entre suas partes e o meio, acarretando plasticidade de comportamento o que propicia a complexidade. Tais relações comunicativas podem desencadear a complexidade no sistema porque nelas estão presentes informações significativas que norteiam a adaptação e a possível evolução (complexidade) do sistema. Apontamos que, segundo a vertente representacional do estudo da informação, esta apenas se torna significativa em sistemas que estão inseridos em um plano de ação e que são capazes de representar. Muitos fatores estão envolvidos em processos complexos e sua modelagem encerra impossibilidades técnicas de engenharia (programação e arquitetura física, por exemplo) e de função (determinar como um sistema deve se comportar para seja considerado complexo). Todavia, existem projetos de pesquisas que visam a construção de máquinas que dentre outras características, são situadas, capazes de aprender e que contam com um aperfeiçoado sistema de comunicação interna e externa. A fim de agregar conteúdo às discussões tratadas neste trabalho apresentaremos as pesquisas de Wiener (1965) e de Rodney Brooks (1991). Desse modo, tentaremos relacionar conceitos da sistêmica com projetos existentes de modelagem computacional.

Nobert Wiener, em *Cybernetics*, apresenta considerações acerca da capacidade das máquinas aprenderem e de se comunicarem. Nesse sentido, Wiener elucida a noção de “aprendizagem” por meio de sistemas artificiais que desempenham a função de “jogar”, no caso o xadrez. Nas palavras de Wiener:

Não é muito difícil de fazer máquinas que jogam xadrez de um tipo. A mera obediência às leis do jogo, de modo que apenas movimentos legais são feitos, é facilmente instanciado

em computadores bastante simples. De fato não é difícil adaptar uma máquina digital para estes fins (Wiener, 1965, p. 171).

A facilidade de modelagem do jogo de xadrez apontada por Wiener se justifica pelo fato de que as variáveis envolvidas no jogo são passíveis de redução a termos numéricos (Wiener, 1965, p. 172). Nesse sentido, a definição das regras e do objetivo do jogo seriam o suficiente para afirmar que a máquina realmente estaria jogando xadrez. Além do mais, a máquina conta com uma memória na qual são armazenadas as partidas já finalizadas, que servirão de base para jogos futuros. A máquina, então, segundo as informações pré-estabelecidas acerca das regras e do objetivo do jogo, analisa as partidas realizadas abstraindo dados relevantes delas, como as possibilidades de movimentos das peças. Desse modo, a máquina desenvolve a sua personalidade enquanto jogador e “aprende” a como jogar. Para Wiener (1965, p. 173), o processo de aprendizagem presente em máquinas que jogam xadrez é possível por meio de programações específicas. Trata-se de uma programação de primeira ordem, que pode ser linear em certos casos, combinada com uma programação de segunda ordem que utiliza um segmento muito mais extenso do para a determinação de como a programação de primeira ordem irá se comportar. Mais especificamente, a informação atual presente no sistema é utilizada para a predição do futuro por meio de uma operação não linear, mas a determinação da operação linear correta é um problema estatístico em que o fluxo de informação passada e o passado de muitas outras informações semelhantes são usados na base estatística. Nesse sentido, a máquina que aprende opera, necessariamente, por *feedback* não lineares, ou seja, operações cujos resultados podem influenciar os estados iniciais em outros momentos.

Desse modo, podemos argumentar que o projeto de máquina de Wiener apresenta propriedades características de sistemas complexos, tal como elucidamos nas sessões anteriores. A máquina de jogar xadrez de Wiener, a partir das informações adquiridas nas partidas, produz uma representação dos movimentos das peças e de possibilidades de jogadas. Dessa maneira, ela aprende como jogar de uma maneira satisfatória a fim de atingir o objetivo do jogo: o xeque-mate. A maneira como Wiener parece utilizar o termo “aprendizagem” se refere ao fato de que a máquina possui como programação as regras do jogo e as inúmeras combinações de jogada, mas existe a possibilidade da máquina, a partir das abstrações dos jogos ocorridos, adquirir novas possibilidades de ação. Trata-se de uma combinação entre as regras pré-estabelecidas e as informações decorrentes da abstração da experiência de jogar. Tal combinação propicia, segundo Wiener, a emergência de novo comportamentos o que pode ser caracterizado como “aprendizagem”. A nosso ver, o projeto de Wiener abarca muitas propriedades importantes para ser caracterizado como um sistema complexo, mas não poderia ser considerada no sentido forte do termo devido ao ambiente em que a máquina está inserida.

As máquinas de jogar xadrez lidam com um número limitado de variáveis em um ambiente controlado. Esse contexto empobrece a possibilidade do sistema tornar-se complexo no sentido forte, pois não está inserido e não é capaz de estabelecer relações com o ambiente em que está inserido. Como apontamos anteriormente, as relações com o ambiente são importantes para que a informação manipulada pelo sistema se torne “significativa”, no sentido de poder alterar o comportamento e as ações do sistema.

Embora Wiener afirme que sua máquina é capaz de aprender, conforme argumentamos, podemos apontar que na verdade a máquina apenas manipula um grande fluxo de informações que podem ser equiparadas a meros símbolos destituídos de significado. Poderia, então, esse tipo de máquina ser considerada complexa? Por um lado, podemos apontar que sim, pois a máquina de jogar xadrez tal como caracteriza Wiener apresenta condições de adaptação, regulação e plasticidade de comportamentos. Todavia, por outro lado, a máquina é destituída de um

critério importante para ser considerada complexa: ela parece não ser capaz de lidar com informação significativa, sendo assim, seus processos de supostas adaptação, regulação e plasticidade se tornam apenas características aparentes e não efetivas.

Argumentamos, assim, que a capacidade de lidar com informação significativa é basilar no processo de complexidade, seja em sistemas naturais ou artificiais. A nova questão que se coloca aqui passa a ser: sistemas artificiais podem lidar com informação significativa? Tal questão será abordada com maior profundidade em trabalhos futuros. Nesse momento nos deteremos em apontar projetos de pesquisa de construção de máquinas que estabelecem relações com o meio em que estão inseridas. Ou seja, tentaremos apresentar projetos que podem dar conta da brecha deixada no trabalho de Weiner.

Nesse contexto, para o roboticista Rodney Brooks: “a ideia [da IA tradicional] era de que, ao representarmos explicitamente apenas os fatos relevantes faríamos com que a semântica de um mundo (muito complexo em sua superfície) fosse reduzida a um sistema fechado mais uma vez” (Brooks, 1991, p. 141). A representação ao ser instanciada em modelos robóticos, a partir de ferramentas computacionais, reduz o conceito de “inteligência” à manipulação abstrata de certas informações consideradas relevantes.

Como ainda apontado por Brooks (1991), a manipulação de informações nos modelos da IA tradicional se dá em um sistema central com módulos perceptuais (que “captam” entradas – *inputs*) e módulos de ação (*outputs*). Nesse contexto, “os módulos perceptuais apresentam uma descrição simbólica do mundo e os módulos de ação pegam uma descrição simbólica de ações desejadas, fazendo com que elas aconteçam no mundo” (Brooks, 1991, p. 153). A representação seria o elemento mediador entre o que o módulo perceptivo apreende e a ação desencadeada por ele. Assim, o modelo computacional desempenharia “funções” de acordo com o código de programação escrito por seu programador. No entanto, segundo Brooks (1991), o paradigma funcional adotado pela IA tradicional é frágil, na medida em que é necessária uma grande cadeia de módulos funcionais para que o modelo fosse capaz de simular algum comportamento. A grande quantidade de módulos requeridos facilita o surgimento de uma falha operacional fatal.

Em contrapartida à abordagem da IA tradicional, Brooks (1991) sugere um paradigma que se pautem em “atividades”. Para Brooks (1991, p. 153), “[...] uma atividade é um padrão de interações com o mundo”, ou seja, o modelo computacional não se reduziria apenas a manipulações simbólicas regidas por representações. Assim, o modelo ao desempenhar uma atividade interage diretamente com o meio em que está inserido.

Para levar a cabo seu projeto de modelagem computacional, Brooks também sugere uma metodologia de engenharia específica para tornar possível a construção de modelos computacionais que interagissem diretamente com o meio. A metodologia de Brooks consiste na construção de modelos computacionais a partir de uma “arquitetura de subjunção”. Segundo esta arquitetura, os modelos seriam construídos em camadas reativas, ou seja, cada camada física constituinte do modelo estaria diretamente relacionada com o meio e decidiriam quando agir. Para Brooks (1991, p. 153), esses tipos de camadas “não se tratam de sub-rotinas que estão dependentes de alguma outra camada e que são evocadas por elas”. As camadas são reativas por si mesmas, dada a maneira específica que foram construídas e também à amplitude e flexibilidade da linguagem de programação utilizada no desenvolvimento do código-fonte do modelo.

Segundo a abordagem de Brooks, cada camada é uma Máquina de Estado Finito Ampliada (MEFA). O funcionamento desta máquina se baseia na entrada de dados (*input*) e a saída de outros dados (*output*) a partir de uma função de transição. Nesse contexto, um *output* pode se tornar um *input* de outra máquina ou de si mesma. Este *output*, por sua vez, pode

acionar ou inibir a realização da função determinada. Assim, um conjunto de máquinas de estado finito ampliada constitui uma função comportamental como andar, erguer a perna, pegar objetos. O modelo assim construído e tendo como referência o próprio ambiente em que está inserido irá decidir quando ativar ou inibir determinada camada que carrega em si determinada função comportamental. O modelo seria autônomo para esta decisão em certo sentido.

Desse modo, a abordagem sugerida por Brooks possibilitaria uma modelagem incremental, ou seja, uma modelagem que teoricamente pode construir desde sistemas simples até sistemas inteligentes autônomos (Brooks, 1991). Para Brooks (1991), o mundo é o próprio paradigma de ação do modelo computacional que, além do mais, deveria perceber constantemente o ambiente e assim, possivelmente, ter algum tipo de comportamento inteligente. Nesse sentido, as máquinas construídas neste modelo seriam capazes de manipular informações significativas? Parece que sim. A proposta de Brooks, teoricamente, consiste em construir modelos computacionais autônomos, ou seja, modelos capazes de selecionar o comportamento mais adequado a partir de sua troca de informações com o meio em que está situado. Isso se torna teoricamente possível graças à forma como são construídos em termos de engenharia (arquitetura de subjunção) e de programação (algoritmos amplos o suficiente para darem margem a comportamentos não programados).

Nesse contexto, as máquinas de Brooks lidariam com informação significativa na medida em que, a partir de trocas de informações com o meio, ajustam seus comportamentos. Por fim, podemos dizer que há representação (no sentido de Dretske) de informações presentes no meio, tornando-as assim “significativa” de modo que passam a figurar como objeto de aprendizagem e de ajuste de ações. Mas será que as máquinas de Brooks, uma vez que lidam com informação significativa, podem ser consideradas sistemas artificiais complexos? Teoricamente sim, pois os modelos de Brooks seriam capazes de estabelecer relações dinâmicas com o meio (pois estão inseridas nele), as quais são mediadas por relações de comunicação (troca de *feedbacks* constantes entre a máquina e o meio). Desse modo, os modelos de Brooks seriam capazes de se adaptarem e se regularem, apresentando assim uma evolução de seus comportamentos. A problemática que colocamos aqui é referente à instanciação dos pressupostos teóricos de Brooks, pois os modelos efetivamente construídos segundo estes pressupostos não apresentaram performances tal como caracterizadas na teoria.

5. Considerações finais provisórias

Neste trabalho procuramos problematizar a possível relação entre sistemas artificiais e complexidade. Para isso, nos pautamos na questão: Será possível existir máquinas complexas? A partir de conceitos da sistêmica, sugerimos que a complexidade envolve adaptação, regulação e plasticidade do sistema. Sugerimos que tais propriedades emergem de processos de comunicação no sistema. Ou seja, de relações dinâmicas estabelecidas entre as partes do sistema, o sistema e o meio. Por meio da comunicação, *feedbacks* ocorrem e a informação é transmitida. Esse processo permite que o sistema evolua, ou seja, complexifique suas ações e comportamentos visando uma performance satisfatória. Problematicamos se sistemas artificiais poderiam estabelecer relações significativas de comunicação envolvendo adaptação, regulação e plasticidade. Apontamos que, em hipótese, é possível conceber sistemas artificiais complexos, pois quando assentamos a complexidade nos pressupostos anteriormente citados não a condicionamos a estruturas físicas (orgânica ou não). Por fim, o presente trabalho figura como uma contribuição de reflexão argumentativa, pois como apontamos na sessão anterior parece que nenhum sistema artificial se mostrou complexo, de fato.

Referências

- ATLAN, H. *Entre o cristal e a fumaça*. Rio de Janeiro: Ed. Zahar, 1993.
- BRESCIANI, E; D’OTTAVIANO, I. M. L. Conceitos básicos de sistêmica. In: D’OTTAVIANO, I. M. L.; GONZALEZ, M. E. Q. (Orgs.) *Auto-organização: estudos interdisciplinares*. Campinas: Unicamp, 2000. p. 283-306.
- BROOKS, R. New approaches to robotics. *Science*, v. 253, n. 5025, p. 1227-1232, 1991.
- GONZALEZ, M. E. Q; BROENS, M. C.; MORAES, J. A. A virada informacional na filosofia: alguma novidade no estudo da mente? *Revista Aurora*, v. 22, n. 30, p. 137-151, 2010.
- HASELAGER, W. F. G. O mal-estar do representacionismo: as sete dores de cabeça da Ciência Cognitiva. In: FERREIRA, A.; GONZALEZ, M. E. Q.; COELHO, J. G. (Orgs.) *Encontro com as Ciências Cognitivas*, v. 4. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2004. p. 105-120.
- MORAES, J. A. *Implicações éticas da “virada informacional na filosofia”*. Uberlândia: EDUFU, 2014.
- SHANNON, C. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical*, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948.
- WIENER, N. *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge: MIT Press, 1965.