

Semiose, Inteligência e Inferência Ativa¹

Semiosis, Intelligence, and Active Inference

VINÍCIUS ROMANINI - ORCID 0000-0001-6558-0550

(pág 61 - pag 72)

RESUMEN. Este artículo investiga la conexión entre la semiosis de Charles Peirce y la inferencia activa propuesta por el neurocientífico Karl Friston. Se argumenta que la semiosis inteligente, como proceso de optimización, busca reducir la sorpresa y estabilizar los hábitos mentales de una manera análoga al Principio de Energía Libre de Friston (FEP). El texto explora metáforas y metonimias como elementos centrales para el equilibrio entre vaguedad y precisión en la construcción de significados creativos y pragmáticamente efectivos. La articulación entre PEL y la lógica triádica de la semiosis proporciona un marco interdisciplinario para comprender cómo los organismos y los sistemas artificiales navegan en entornos dinámicos. Se concluye que esta integración abre nuevas perspectivas para la comprensión de la cognición, permitiendo la creación de modelos adaptativos que conectan la semiótica con la ciencia cognitiva y la inteligencia artificial.

Palabras clave: semiosis, inteligencia, inferencia activa, Peirce, principio de energía libre.

RESUMO. Este artigo investiga a conexão entre a semiose de Charles Peirce e a inferência ativa proposta pelo neurocientista Karl Friston. Argumenta-se que a semiose inteligente, enquanto processo de otimização, busca reduzir a surpresa e estabilizar hábitos mentais de maneira análoga ao Princípio da Energia Livre (PEL) de Friston. O texto explora metáforas e metonímias como elementos centrais para o equilíbrio entre vagueza e precisão na construção de significados criativos e pragmaticamente eficazes. A articulação entre o PEL e a lógica triádica da semiose fornece uma estrutura interdisciplinar para compreender como organismos e sistemas artificiais navegam por ambientes dinâmicos. Conclui-se que essa integração abre novas perspectivas para o entendimento da cognição, permitindo a criação de modelos adaptativos que conectam a semiótica à ciência cognitiva e à inteligência artificial.

Palavras-chave: semiose, inteligência, inferência ativa, Peirce, princípio da energia livre.

ABSTRACT. This article investigates the connection between Charles Peirce's semiosis and the active inference proposed by neuroscientist Karl Friston. It argues that intelligent semiosis, as an optimization process, seeks to reduce surprise and stabilize mental habits analogously to Friston's Free Energy Principle (FEP). The text explores metaphors and metonyms as central elements for balancing vagueness and precision in constructing meanings that are both creative and pragmatically effective. The articulation between the FEP and the triadic logic of semiosis provides an interdisciplinary framework for understanding how organisms and artificial systems navigate dynamic environments. It

concludes that this integration opens new perspectives on cognition, enabling the creation of adaptive models that connect semiotics with cognitive science and artificial intelligence

Keywords: semiosis, intelligence, active inference, Peirce, free energy principle.

VINÍCIUS ROMANINI (Universidade de São Paulo, Brasil), é editor científico de **Semeiosis** e coordenador do grupo de pesquisa **SemioData**. Foi presidente da Sociedade Brasileira de Ciências Cognitivas (SBCC) e é editor do livro *“Peirce and Biosemiotics: a Guess at the Riddle of Life”* (Springer). E-mail de contato <vinicius.romanini@usp.br>

FECHA DE RECEPCIÓN: 18/02/2025 **FECHA DE APROBACIÓN:** 07/04/2025

1. SEMIOSE E MENTE AMPLIADA

A semiose, segundo Peirce, é a ação do signo baseada na relação triádica indecomponível que envolve o signo em si mesmo (ou representamen), o objeto que o signo professa representar (chamado de objeto real ou dinâmico) e seu interpretante, este último concebido como o efeito ou consequência da representação. Ao se posicionar como mediador entre o objeto dinâmico e o interpretante, o signo seleciona os atributos que servirão de fundamento para o processo de representação, ao que Peirce chama de objeto imediato. Sempre interno ao signo, o objeto imediato é análogo a um modelo provisório e em contínua transformação do objeto dinâmico. Efeitos imediatos que acompanham o crescimento interno do signo, efeitos mediatos que se expressam em signos possivelmente mais desenvolvidos, e efeitos finais que direcionam a semiose, são chamados, respectivamente, de interpretantes imediato, dinâmico e final.

Essa relação triádica analisável em diferentes aspectos que participam do dinamismo da semiose é central para a concepção peirceana de significação, diferindo das abordagens diádicas que separam sujeito e objeto ou significante e significado (Short: 2007). Em Peirce, a semiose é um processo contínuo e potencialmente infinito, em que o significado não é fixo, mas constantemente gerado, confrontado e refinado na experiência. O signo, nessa perspectiva, não é um mero veículo de representação passiva; ele funciona como um mediador ativo que conecta o objeto dinâmico – por exemplo, a realidade percebida por um ser vivo – ao interpretante, entendido como o efeito cognitivo numa mente ou mesmo numa quasi-mente (MS 318)². Neste caso, a verdade de uma representação geral (i.e simbólica) estaria na eliminação da discrepância entre as qualidades intrínsecas do objeto dinâmico e aquelas representadas no objeto imediato. Assim, mentes e quase-mentes capazes de permanecer e se desenvolver por meio da experiência estão continuamente internalizando informação para reduzir a diferença entre seus estados internos imediatos e a realidade externa e dinâmica.

Por quase-mente, Peirce descreve formas rudimentares de ação mental em sistemas não humanos ou mesmo não biológicos. Para ele, até mesmo processos físico-químicos, como o crescimento de cristais, podem apresentar elementos de semiose. Essa ideia amplia a definição de inteligência para além do domínio humano, conectando a mente a fenômenos como o crescimento de organismos, a organização de ecossistemas e o funcionamento de sistemas de inteligência artificial (Santaella: 2020). Assim, Peirce sugere que onde houver aprendizagem, crescimento ou adaptação, há uma forma de mente, ainda que seja elementar. Como bem lembra Santaella, essa visão ampliada da mente é especialmente pertinente para as discussões atuais sobre inteligência artificial e biologia sintética, pois dissolve fronteiras rígidas entre organismos naturais e sistemas artificiais.

2. SÍMBOLO, CRENÇA E INFORMAÇÃO

No caso de sistemas dotados de algum nível de cognição abstrata, a estrutura relacional e processual da semiose tende a operar predominantemente no âmbito simbólico. Para Peirce, os símbolos são signos gerais (legisignos) que representam objetos também gerais por meio de convenções (como é o caso da maior parte das palavras) ou hábitos

interpretativos que emergem naturalmente, como ocorre nas representações instintivas ou mesmo na ação teleonômica observada, por exemplo, no sistema imunológico dos seres vivos (MS 797). Mais recentemente, o advento das redes neurais capazes de aprendizado profundo tem revelado que sistemas maquínicos podem emular certas propriedades dos símbolos, principalmente a capacidade de produzir hábitos de ação meio da extração de padrões probabilísticos a partir de grandes volumes de dados disponibilizados para seu treinamento (Romanini: 2023).

Na taxonomia das classes de signos elaborada por Peirce, o símbolo se destaca como o único tipo de signo com a complexidade e atividade necessárias para crescer e se desenvolver por meio da experiência. Isso ocorre porque o símbolo, sendo um signo de terciridade, incorpora tanto elementos icônicos (primeiridade) quanto indiciais (secundidade). Essa complexidade intrínseca permite ao símbolo funcionar como um modelo representacional dinâmico dos atributos gerais de seu objeto, combinando ao padrão geral que é sua essência necessária tanto a vagueza dos caracteres icônicos selecionados do objeto que professa representar quanto uma conexão concreta, de natureza indicial, a este mesmo objeto (Short: 2007).

Esse equilíbrio entre as categorias fenomenológicas dota o símbolo de uma estrutura proposicional essencial para sua adaptação em contextos dinâmicos, como é o caso dos processos comunicacionais baseados em linguagens e códigos com sintaxes variadas e muitas vezes hibridizadas (Santaella: 2001), em que agentes biológicos e artificiais estão cada vez mais misturados em uma multiplicidade de incorporações, situações e contextualizações. De fato, proposições, asserções, crenças, desejos e inferências lógicas são todos símbolos que possuem valor de verdade e, por isso, dependem de uma avaliação crítica que só pode ser realizada por meio do compartilhamento de informações no seio de uma comunidade de intérpretes, seja ela composta por mentes, quase-mentes ou uma combinação entre diversas possibilidades de mentalidade distribuídas oferecidas pelo avanço das tecnologias cognitivas.

O conceito de crença merece destaque, ainda que breve. Para Peirce, uma crença pode ser entendida como um símbolo que foi adotado por uma mente capaz de cognição complexa, e cuja adoção implica em padrões de conduta a ela associados (CP 5.417)⁶. O significado de uma crença, como definida pela máxima pragmática, corresponde à totalidade dos tipos de efeitos concebíveis que a crença poderia produzir em termos de ação futura. Em outras palavras, o significado de uma crença não está em sua estrutura representacional nem em efeitos particulares, mas na maneira como ela orienta potenciais condutas, mesmo que jamais se realizem concretamente. Essas condutas, sempre vagas e abertas ao contexto *in futuro*, representam a materialização pragmática do significado do símbolo na vida do indivíduo ou na prática de uma comunidade (Misak 2013; Hookway 2000).

A informação simbólica, resultante da síntese entre compreensão icônica e extensão indicial, demonstra como os símbolos crescem e se desenvolvem por meio da experiência com a realidade, de forma análoga à evolução adaptativa das espécies pela seleção natural. Nöth (2012) explora essa ideia ao discutir a teoria da informação de Peirce, destacando que os símbolos se expandem ao incorporar aspectos icônicos e indiciais, permitindo uma evolução contínua do significado. Portanto, ao nos referirmos à semiose, estaremos focando nas formas de ação simbólica, que são fundamentalmente proposicionais e comunicacionais.

Nossa principal contribuição aqui será a de oferecer uma releitura do conceito de informação semiótica. Em vez de designar o predicado da proposição como símbolos

icônicos e o sujeito como símbolos indiciais como propõe Hilpinen (1992), denominamos a parte icônica do símbolo como metáfora e sua parte indicial como metonímia. Assim, a informação simbólica seria incorporada pelas metáforas que conota e expressa pelas metonímias que denota.

Argumentamos aqui que o equilíbrio desejado entre vagueza e precisão na comunicação da informação durante a semiose depende de uma seleção pragmática dos aspectos ou qualidades a serem incorporados pelo símbolo, orientada por propósitos futuros. Essa perspectiva alinha-se à teoria pragmática da informação, que enfatiza a relevância contextual e os efeitos práticos dos signos no processo comunicativo. Dessa forma, a eficácia da semiose simbólica está intrinsecamente ligada à capacidade de selecionar e articular elementos metafóricos e metonímicos de maneira pragmática, visando uma comunicação significativa e adaptativa. A inteligência seria uma função dessa capacidade, que só pode ser realizada - como veremos - por meio da lógica da retrodução, que articula abduções, induções e deduções num processo dinâmico e recursivo que permite o acúmulo contínuo de informações na busca pela representação verdadeira do real. Para que possa haver uma relação produtiva entre semiose simbólica e inferência ativa, o requisito principal é que a informação internalizada pelo símbolo durante o processo reprodutivo seja de natureza **probabilística**.

3. MINIMIZAÇÃO DA ENERGIA LIVRE E INFERÊNCIA ATIVA

O Princípio da Energia Livre (PEL a partir de agora), conforme formulado por Friston (2010), propõe que sistemas vivos operam com o objetivo de minimizar a incerteza sobre o mundo ao seu redor, assegurando sua adaptação e sobrevivência em ambientes em constante transformação. Nesse contexto, a incerteza é conceituada como surpresa, definida por ele como a discrepância entre os modelos internos, que os sistemas utilizam para prever o ambiente, e os dados sensoriais efetivamente recebidos. A energia livre emerge da diferença entre as expectativas geradas por esses modelos e as evidências sensoriais percebidas, funcionando como uma medida de desajuste interpretativo que os sistemas buscam continuamente reduzir. A minimização da energia livre implica em minimização da surpresa e, portanto, um ajuste adaptativo dos modelos internos no sentido de representar melhor o ambiente onde vivem.

Esses modelos generativos internos expressam as relações entre os estímulos sensoriais e suas possíveis causas, sendo representados como distribuições de probabilidades (Friston: 2010). Friston denomina essas distribuições de crenças, no sentido bayesiano do termo, ou seja, como um conjunto de probabilidades que representam diferentes hipóteses sobre o estado do mundo. Esses modelos são constantemente ajustados por meio de ciclos iterativos de ação e percepção, nos quais a ação do sistema busca alterar o mundo externo para alinhar os perceptos às suas expectativas, enquanto a inferência perceptiva ajusta as crenças internas para refletir melhor os padrões dos perceptos efetivamente encontrados (Friston 2010; Friston et al. 2017).

Essa interação dinâmica entre ação e percepção constitui o que Friston chama de Inferência Ativa, um processo pelo qual os sistemas não apenas respondem passivamente às condições externas, mas ativamente moldam seu ambiente e ajustam suas crenças para minimizar a energia livre. Esse ciclo contínuo permite que os sistemas mantenham sua

homeostase e adaptação em ambientes incertos e mutáveis. Assim, a Inferência Ativa oferece uma explicação quantitativa e biológica para o comportamento adaptativo e cognitivo, posicionando os organismos como sistemas inferenciais que gerenciam a relação entre previsibilidade e surpresa:

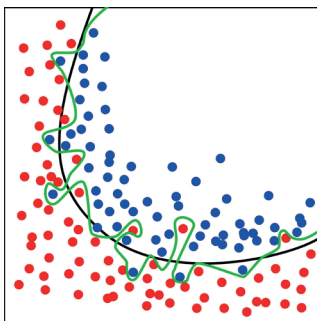
Na Inferência Ativa, percepção e ação são duas formas complementares de cumprir o mesmo imperativo: a minimização da energia livre. A percepção minimiza a energia livre (e a surpresa) por meio da atualização de crenças (Bayesiana), ou seja, *mudando sua mente*, tornando suas crenças compatíveis com as observações sensoriais. Por outro lado, a ação minimiza a energia livre (e a surpresa) ao *alterar o mundo*, tornando-o mais compatível com suas crenças e objetivos. (Parr et al. 2022, p. 9, grifos dos autores).

2.1 EQUILÍBRIO MATEMÁTICO ENTRE VAGUEZA E PRECISÃO

O PEL fornece uma estrutura matemática para compreender como sistemas inteligentes (vivos e artificiais) equilibram vagueza e precisão em suas representações internas. Um conceito matemático-probabilístico fundamental para isso é o de entropia relativa (também conhecida como entropia, definido como a medida da discrepância entre as expectativas de um sistema (baseadas em seus modelos internos, ou crenças) e as observações provenientes do ambiente. Minimizar essa discrepância implica em reduzir a incerteza e, ao mesmo tempo, evitar um excesso de especificidade que poderia limitar a adaptabilidade do sistema. Esse equilíbrio é essencial para que os sistemas sejam eficazes na interpretação de dados sensoriais e na formulação de respostas práticas em contextos complexos e dinâmicos.

Esse processo de minimização da entropia relativa reflete a necessidade de sistemas interpretativos evitarem dois extremos: o *overfitting* e o *underfitting*. No caso do *overfitting*, um sistema torna suas representações internas excessivamente detalhadas e específicas (ou seja, desnecessariamente complexas), prejudicando sua capacidade de generalizar em situações novas ou ligeiramente diferentes que possam surgir no futuro. Por outro lado, o *underfitting* ocorre quando as representações são muito vagas e carecem de precisão para orientar ações eficazes. Na Fig.1 abaixo, a linha verde mostra como o *overfitting* pode ser representado em uma rede neural que funciona como um classificador: ao se moldar excessivamente aos dados usados para o aprendizado, a rede internaliza complexidade desnecessária que produzirá erros frequentes em dados futuros. A linha preta, menos complexa, representa a solução mais eficiente para minimizar a energia livre (surpresa) esperada em classificações futuras. A falibilidade do classificador não é jamais totalmente eliminada, mas a linha preta mostra a melhor relação entre custo (risco de erro na previsão) e benefício pelos acertos gerados.

Figura 1. A linha verde representa o overfitting para um classificador. A linha preta representa a solução que equilibra precisão e redução da complexidade.



O PEL oferece uma métrica quantitativa para que sistemas ajustem suas representações de forma otimizada, navegando entre esses extremos para maximizar tanto a eficiência quanto a adaptabilidade. Esse equilíbrio é particularmente relevante em ambientes imprevisíveis, onde tanto a flexibilidade quanto a estabilidade são cruciais. Por fim, o PEL também ilumina como sistemas artificiais podem emular processos adaptativos observados em organismos vivos. Ao aplicar a métrica da entropia relativa em contextos de inteligência artificial, é possível projetar sistemas que ajustem automaticamente suas representações internas para equilibrar inovação e eficiência interpretativa

3. APROXIMAÇÕES ENTRE SEMIOSE E O PEL

Embora oriundas de tradições distintas, a semiose e o PEL apresentam pontos de convergência significativos que enriquecem o objetivo deste trabalho. Ambas teorias oferecem explicações para a dinâmica entre previsibilidade e adaptação em sistemas complexos que operam distantes do equilíbrio termodinâmico, mantendo-se em estados menos prováveis por meio de processos que integram homeostase e alostase.

No PEL, essa capacidade é alcançada por meio de modelos generativos que permitem aos sistemas prever estados futuros e ajustar suas crenças ou ações para minimizar a energia livre (Friston: 2010). Na semiótica de Peirce, essa adaptação é representada pela formação de crenças e pela construção de hábitos interpretativos, que estabilizam as relações entre símbolos e objetos enquanto permanecem abertas a revisões fundamentadas pela experiência.

Peirce descreve o surgimento de novas crenças como um processo dinâmico impulsionado pela “irritação da dúvida”, um estado de desajuste interpretativo que força o sistema cognitivo a buscar soluções para reduzir a irritação cognitiva (CP 8.270). A dúvida peirceana é análoga à surpresa no arcabouço do PEL, definida como a discrepância entre as previsões de um modelo interno e os dados sensoriais efetivamente recebidos. Assim como o PEL afirma que sistemas dinâmicos inteligentes têm a capacidade de planejar suas condutas futuras a partir de certas expectativas oferecidas pelo modelo vigente da realidade, Peirce afirma que “[...] não raciocino por causa do meu prazer em raciocinar, mas unicamente para evitar decepção e surpresa. Consequentemente, devo planejar meu raciocínio de forma que evidentemente evite essas surpresas.” (CP 2.173).

Esse raciocínio, que está na base do método científico, é um processo composto de três formas interdependentes de inferência: abdução, dedução e indução que, associadas, podemos chamar de retrodução (Chiasson: 2001). Enquanto a abdução sugere hipóteses com base em fatos surpreendentes, a dedução formaliza e extrai as consequências dessas hipóteses, e a indução avalia sua confiabilidade por meio da correção de erros baseada na experiência. A retrodução é a base da inteligência, pois descreve como sistemas cognitivos são capazes de formular hipóteses explicativas (crenças provisórias) diante de percepções surpreendentes, de extrair dedutivamente dessas hipóteses as suas consequências necessárias (os eventuais tipos de perceptos que adviriam da adoção dessa crença) e depois testar ativamente na realidade, empiricamente, se os tipos de perceptos esperados realmente se realizaram ou se houve alguma surpresa frustrante revelando que a hipótese precisa ser ajustada. Pergunta Peirce:

Qual, então, é o objetivo de uma hipótese explicativa? Seu objetivo é, por meio da submissão ao teste experimental, levar à eliminação de toda surpresa e ao estabelecimento de um hábito de expectativa positiva que não será frustrado. (CP 5.197)

Se houver desacordo entre a expectativa criada pela hipótese e os fatos efetivamente experimentados, cabe à mente (ou quase-mente) inteligente reformular a hipótese e recomençar o processo de forma recursiva e perseverante. Por ser baseada na informação simbólica, a retrodução também evidencia a natureza colaborativa da cognição. O avanço do conhecimento não é um evento vinculado a um sistema particular, mas depende da capacidade das comunidades de integrar diferentes perspectivas e experiências em um processo compartilhado de construção das crenças. Isso não apenas fortalece a validade das crenças coletivas, mas também cria um ambiente onde a inovação e a descoberta são incentivadas. A retrodução, ao promover a interação entre hipóteses individuais e consensos coletivos, exemplifica como sistemas cognitivos complexos utilizam os princípios da semiose para navegar na incerteza, construir significado e expandir continuamente os limites do conhecimento.

Beni e Pietarinen (2021a e 2021b) foram os primeiros a propor uma articulação entre o método semiótico-pragmatista de Peirce e as ideias de Friston. Eles examinam a conexão entre o PEL e a economia da pesquisa. Segundo Peirce, a investigação científica é orientada não apenas pela busca pela verdade, mas também pela eficiência em termos de tempo, esforço e recursos (CP 5.602), o que pode ser traduzido como uma forma de minimização da energia livre envolvida na atividade de pesquisa. Para os autores, esse processo triádico, que incorpora elementos internos e externos por meio de um mediador, tem uma “forma irredutivelmente peirceana” (Pietarinen; Beni 2021b: 509).

Em seguida, Beni e Pietarinen equacionam abdução e inferência ativa, defendendo que esses processos compartilham fundamentos comuns: “A justificação da inferência ativa é também a justificação da abdução, porque a mente de um organismo é uma fábrica semiótica de signos, evoluída em afinidade com seu ambiente, o que justifica a confiança nessa forma de inferência” (Pietarinen; Beni 2021b: 505). Os autores explicam que a relação entre abdução e inferência ativa é particularmente evidente na maneira como os organismos constroem e ajustam modelos generativos para representar o ambiente. Além disso, Beni e Pietarinen destacam que tanto a abdução quanto a inferência ativa estão enraizadas na busca de evidências para sustentar crenças sobre o mundo, alinhando-se à ideia de Peirce de que hipóteses são “aceitas em caráter provisório” com base no que as mudanças externas podem revelar no futuro (CP 6.525).

No conjunto das duas contribuições, Beni e Pietarinen oferecem uma abordagem que evita as falácias objetivistas e subjetivistas frequentemente presentes nas teorias de representação. Eles sugerem que a resolução dessas tensões encontra-se na visão evolutiva de Peirce, segundo a qual a mente, ao longo da história evolutiva e cosmológica do universo, desenvolveu-se em sintonia com as regularidades da natureza, tornando possível a descoberta das leis que governam a realidade. Os autores concluem que “a integração entre a inferência ativa e a lógica da ciência de Peirce, especialmente sua economia da pesquisa, fornece um modelo unificado para compreender a adaptação e a evolução cognitiva em sistemas vivos e artificiais” (Beni; Pietarinen 2021: 509).

3.1 FRISTON INTERPRETA A SEMIÓTICA DE PEIRCE

Mais recentemente, o próprio Friston, juntamente com alguns de seus colaboradores semioticamente informados (2023) articulam uma relação entre a semiótica de Peirce e a inferência ativa por meio de analogias conceituais que conectam os princípios triádicos da semiose à lógica probabilística de modelos generativos. Eles propõem que o interpretante peirceano pode ser formalizado como um modelo generativo no contexto da inferência ativa. De acordo com os autores, “modelos generativos são distribuições de probabilidade sobre estados sensoriais e as causas que os geram, incluindo ações do próprio organismo” (Milette-Gagnon *et al.* 2023: 56). Assim, a relação entre signos, objetos e interpretantes é reinterpretada em termos de processos inferenciais hierárquicos.

Essa correspondência se torna particularmente clara ao considerar a noção de abdução, descrita pelos autores como o mecanismo central na geração de hipóteses explicativas tanto na semiótica quanto na inferência ativa. Os autores afirmam que “minimizar a energia livre equivale a maximizar a evidência para o modelo generativo” (Milette-Gagnon *et al.* 2023: 52), um processo que eles interpretam como análogo à abdução. Esse mecanismo permite que sistemas inferenciais, sejam eles biológicos ou artificiais, ajustem suas crenças a partir de dados sensoriais, em um ciclo contínuo de previsão e correção de erros.

Além disso, Friston e sua equipe ampliam a análise ao sugerir que a tipologia de signos na relação com seu objeto – ícones, índices e símbolos – pode ser mapeada para as estruturas hierárquicas dos modelos generativos. Ícones correspondem a mapeamentos de similaridade direta em matrizes de verossimilhança, enquanto índices refletem transições causais entre estados representados por matrizes de transição (Milette-Gagnon *et al.* 2023: 57). Esse mapeamento não apenas conecta formalmente a teoria da inferência ativa à semiótica de Peirce, mas também demonstra como ambas abordam questões fundamentais sobre significado e adaptação em sistemas complexos.

4. METÁFORAS, METONÍMIAS E A DINÂMICA DA SIGNIFICAÇÃO SIMBÓLICA

Propomos aqui que as metáforas e as metonímias são tipos de signos essenciais para entender como os sistemas interpretativos equilibram complexidade (que deve ser reduzida, mas não ao ponto de se tornar trivial) e precisão (que deve ser ampliada, mas não ao ponto de se tornar incapaz de oferecer *insights* produtivos). Os modelos generativos descritos pela PEL teriam, portanto, a capacidade de articular metáforas e metonímias para produzir abduções que procuram reduzir a diferença entre os aspectos selecionados pelo objeto imediato, sempre interno ao símbolo, e objeto dinâmico que o símbolo professa representar (Romanini: 2023).

As metáforas abrem novos caminhos interpretativos ao estabelecer conexões inesperadas entre domínios aparentemente distintos, promovendo uma expansão do horizonte de significação. Elas operam pela analogia, criando uma ponte conceitual que transcende associações óbvias e proporciona novas formas de compreender o mundo. Essa característica faz das metáforas um instrumento poderoso em contextos de incerteza, onde soluções criativas e abordagens inovadoras são necessárias. Por outro lado, as metonímias oferecem ancoragem interpretativa ao estabelecer relações baseadas na contiguidade ou proximidade entre elementos. Diferentemente das metáforas, que exploram relações

analogicas, as metonímias conectam signos a objetos específicos ou a relações pragmáticas, garantindo precisão e clareza interpretativa. Essa função é crucial em contextos onde ações rápidas e eficazes dependem de associações diretas.

A metáfora carrega implicitamente uma inferência que se baseia em uma conexão não necessária entre os predicados das premissas maior e menor de um “falso” silogismo, também conhecido como falácia. Por exemplo, se digo “Todo peixe nada” (premissa maior), “Sócrates nada” (premissa menor), “Logo, Sócrates é peixe”, a conclusão é metafórica porque não há uma relação de implicação necessária entre nadar e ser um peixe (“tudo que nada é peixe”). Essa inferência opera, portanto, no domínio da vagueza interpretativa, permitindo associações que transcendem os limites das conexões causais ou lógicas estritas (c.f Bateson 1999: 205). A metáfora, nesse sentido, abre espaço para a criatividade e a inovação ao conectar conceitos de forma inesperada, explorando semelhanças latentes entre domínios distintos.

Por outro lado, a metonímia baseia-se em uma relação necessária entre as partes de um silogismo, como no caso do exemplo “Todo homem é mortal” (premissa maior), “Sócrates é homem” (premissa menor), “Logo, Sócrates é mortal”. Aqui, a conclusão decorre de uma conexão lógica e necessária entre as premissas, porque a mortalidade de Sócrates está contida na mortalidade de todos os homens (“nota notae”). São predicados cuja compreensão está implicada materialmente. Esse tipo de inferência opera, portanto, no domínio da precisão representativa, ancorando significados em relações causais ou de contiguidade, como a parte e o todo ou o efeito e a causa. A metonímia, assim, enfatiza a clareza e a objetividade, reduzindo a ambiguidade, como é o caso da dedução silogística.

A interação entre metáforas e metonímias reflete uma dinâmica complementar na construção do significado. As metáforas introduzem flexibilidade interpretativa, permitindo que sistemas semióticos respondam a novos estímulos e reconfigurem suas interpretações. As metonímias, por sua vez, estabilizam essas interpretações ao conectá-las a referências concretas e contextuais, oferecendo um ponto de ancoragem para o entendimento e a ação. Esse equilíbrio é especialmente relevante em ambientes dinâmicos, onde a adaptabilidade depende tanto da capacidade de explorar novas possibilidades quanto da necessidade de consolidar padrões interpretativos eficazes. Essa relação evidencia como os sistemas semióticos mantêm sua funcionalidade em meio à complexidade do mundo real.

Além disso, a complementaridade entre metáforas e metonímias revela o caráter adaptativo da semiose. Enquanto as metáforas geram inovações interpretativas ao introduzir conexões inéditas, as metonímias asseguram que essas inovações sejam integradas a contextos práticos, tornando-as aplicáveis e funcionais. Essa dinâmica reflete a essência do processo semiótico: a capacidade de equilibrar abertura interpretativa e precisão representativa para responder de forma eficaz às demandas do ambiente. Em última análise, a relação entre metáforas e metonímias exemplifica como os sistemas vivos e artificiais podem construir significado de maneira adaptativa, promovendo tanto a inovação quanto a estabilidade na significação.

5. CONCLUSÕES

Acreditamos que PEL oferece uma oportunidade de integrar insights matemáticos e semióticos em um modelo interdisciplinar que conecta a lógica triádica de Peirce com ferramentas probabilísticas contemporâneas. Essa abordagem não apenas amplia a

compreensão teórica sobre o equilíbrio entre vagueza e precisão, mas também oferece aplicações práticas para o design de sistemas cognitivos robustos e adaptativos, capazes de navegar pela complexidade e pela incerteza dos ambientes dinâmicos.

A conexão entre semiose e PEL fornece uma base interdisciplinar promissora para explorar a inteligência como um processo adaptativo e dinâmico. A inteligência, neste contexto, é compreendida como a capacidade de sistemas – sejam eles biológicos ou artificiais – de criar e ajustar representações internas que orientem suas ações e decisões em resposta a condições ambientais variáveis. Essa articulação permite transcender divisões entre as ciências humanas e naturais, oferecendo um paradigma integrado que abrange desde a filosofia da linguagem e semiótica até a neurociência e a ciência cognitiva.

Com essa perspectiva, a semiose não é apenas um processo de significação, mas também uma estratégia adaptativa que permite aos sistemas navegarem em ambientes complexos e dinâmicos. Da mesma forma, o PEL não se limita à modelagem de sistemas biológicos, mas se apresenta como uma ferramenta para compreender como organismos e máquinas podem minimizar a incerteza enquanto exploram novas possibilidades. Essa interação sugere que a inteligência pode ser entendida como um processo semiótico-quantitativo, no qual a geração de significado e a adaptação probabilística convergem para formar crenças, hábitos e ações que sustentam a funcionalidade e a sobrevivência.

A eficiência da semiose inteligente está diretamente ligada à sua capacidade de alinhar modelos internos com as condições externas. Esses modelos funcionam como representações probabilísticas do ambiente, projetando possíveis estados futuros com base em dados anteriores. Quando esses modelos são precisos, eles permitem que os sistemas reduzam significativamente a surpresa e otimizem suas interações com o ambiente. No entanto, o processo não é estático; os modelos são continuamente ajustados à medida que novos signos e interpretações são incorporados. Isso reflete a economia da pesquisa peirceana, que valoriza a minimização do esforço interpretativo ao mesmo tempo em que maximiza a utilidade prática das crenças geradas.

Além de fornecer uma base teórica robusta, esse paradigma estabelece caminhos para aplicações práticas em áreas como biosemiótica, inteligência artificial e modelagem de sistemas complexos. Na biosemiótica, por exemplo, a integração com o PEL permite explorar como organismos vivos equilibram vagueza e precisão na construção de significados, minimizando a surpresa e ajustando suas interações com o ambiente. Em inteligência artificial, a lógica triádica de Peirce e os princípios de inferência ativa oferecem ferramentas para projetar sistemas mais adaptativos, capazes de interpretar sinais em tempo real e responder de maneira eficiente a condições inesperadas. Esses insights também têm implicações para o design de sistemas complexos, permitindo modelar interações dinâmicas entre componentes internos e externos.

Por fim, essa integração aponta para um futuro em que as barreiras entre as disciplinas sejam cada vez menos relevantes, permitindo abordagens verdadeiramente holísticas para os desafios contemporâneos. Ao reunir insights de campos diversos e propor uma base teórica comum, a articulação entre semiose, inferência ativa e PEL estabelece não apenas um paradigma interdisciplinar, mas também uma plataforma para investigações futuras. Essa visão não apenas amplia nosso entendimento da inteligência e da adaptação, mas também oferece um conjunto de ferramentas conceituais e práticas para enfrentar questões fundamentais em ciência, tecnologia e filosofia. Em última análise, ela redefine a inteligência como um processo dinâmico e multifacetado, enraizado tanto na semiótica quanto na ciência cognitiva.

NOTAS

¹ Esta pesquisa integra o projeto de pesquisa “Tecnologias digitais de Persuasão e Criatividade: uma análise filosófico-interdisciplinar”, financiado pelo CNPq.

² Os manuscritos (MS) de Peirce são citados com um número de referência atribuído por Richard Robin.

3. Os Collected Papers de Charles S. Peirce são citados como CP seguido pelo número do volume e número do parágrafo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATESON, G. (1999). *Steps to an ecology of mind*. The University of Chicago Press.
- BENI, M. D., & PIETARINEN, A.-V. (2021a). Aligning the free-energy principle with Peirce's logic of science and economy of research. *European Journal for Philosophy of Science*, 11(3), 1–21.
- (2021b). Active inference and abduction. *Biosemiotics*, 14(2), 499–517.
- CHIASSON, P. (2001). Abduction as an aspect of retroduction. *The Commens Encyclopedia: The Digital Encyclopedia of Peirce Studies*.
- FRISTON, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 127–138.
- FRISTON, K., PARR, T., ZEIDLER, H., ET AL. (2017). Active inference: A process theory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 112, 28–38.
- HILPINEN, R. (1992). On C. S. Peirce's theory of the proposition: Peirce as a pioneer of game-theoretical semantics. *The Monist*, 75(2), 167–187.
- MISAK, C. (2013). *The American pragmatists*. Oxford University Press.
- MILLETTE-CAGNON, A., VEISSIÈRE, S. P. L., FRISTON, K., & RAMSTEAD, M. J. D. (2022). An active inference approach to semiotics: A variational theory of signs. In A. M. García & A. Ibáñez (Eds.), *The Routledge handbook of semiosis and the brain* (pp. 51–67). Routledge.
- NÖTH, W. (2012). Charles S. Peirce's theory of information: A theory of the growth of symbols and of knowledge. *Cybernetics and Human Knowing*, 19(1–2), 137–161.
- PARR, T., PEZZUOLO, G., & FRISTON, K. (2022). *Active inference: The free energy principle in mind, brain, and behavior*. MIT Press.
- PEIRCE, C. S. (1931–1958). *Collected papers of Charles Sanders Peirce* (Vols. 1–6, C. Hartshorne & P. Weiss, Eds.; Vols. 7–8, A. W. Burks, Ed.). Harvard University Press.
- ROMANINI, V. (2021). How information gets its meaning. In E. Pagni & R. T. Simanke (Eds.), *Biosemiotics and evolution* (pp. 175–192). Springer.
- (2023). From perceptron to semiotron: A biosemiotic approach to artificial intelligence. In A. Biglari (Ed.), *Open Semiotics – Volume 4 – Life and its extensions* (pp. 513–528). L'Harmattan.
- SANTAELLA, L. (2001). *Matrizes da linguagem e pensamento: Sonora, visual, verbal*. Iluminuras.
- (2020). A concepção ampliada da mente segundo C. S. Peirce. *Cognitio: Revista de Filosofia*, 21(1), 15–29. <https://www.pucsp.br/revistacognitio>
- SHORT, T. L. (2007). *Peirce's theory of signs*. Cambridge University Press.

