

PROCESSAMENTO PREDITIVO: UMA INTRODUÇÃO À PROPOSTA DE UNIFICAÇÃO DA COGNIÇÃO HUMANA

PREDICTIVE PROCESSING: AN INTRODUCTION TO THE UNIFYING PROPOSAL OF HUMAN COGNITION

MARIA LUIZA IENNACO

Universidade de São Paulo, BRASIL
marialuiza_vasconcelos@usp.br

THALES MAIA

Universidade de São Paulo, BRASIL
thalesmms@usp.br

PAULO SAYEG

Universidade de São Paulo, BRASIL
pa-sayeg@usp.br

Abstract. This article aims to provide a critical, comprehensive, and previously unprecedented, Portuguese presentation of Predictive Processing (PP) – a theoretical framework for comprehending cognition that proposes an inversion of our standard understanding of action, perception, sensation, and their relation. Here, our primary objective is to introduce the main concepts and ideas behind PP, treating it as a moderately embodied model of cognition and analysing its credentials as a unifying theoretical proposal. In order to do so, we will start from a historical contextualization of some currents of thought that might have fostered its initial development, then we will offer a non-mathematical description of the Free Energy Principle, which underlies and substantiates the activity of its specificities, and finally clarify the role that, according to PP, Bayesian inference, prediction error minimization and the so-called Active Inference have in the homeostatic maintenance of our predictive brains and bodies. As a conclusion, we will provide a synthesis of some of the consequences PP could bring to our current understanding of the human brain and behaviour, alleging that, although its description of cognition as a single and continuous predictive process has the potential to eventually unify different explanatory paradigms and levels of analysis, for now, perhaps it is better to think of it in more modest terms, as a tool or heuristic to help us rethink many of those topics that are central to the scientific and philosophical study of the mind.

Keywords: Predictive processing • free energy principle • active inference • perception • action • philosophy of cognitive science

RECEIVED: 09/09/2022

REVISED: 29/05/2023

ACCEPTED: 03/07/2023

1. Introdução

O Processamento Preditivo (PP) consiste em um esquema teórico para o entendimento da cognição, originário da neurociência computacional, que busca descrever



os processos e mecanismos gerais envolvidos na totalidade da atividade neural de um organismo. Grosso modo, ele ilustra o cérebro como uma máquina corporificada que confecciona hipóteses sobre as causas dos estímulos recebidos pelo aparato sensorial, atualizando-as conforme o necessário ou procurando pistas no ambiente que possam corroborá-las — com as melhores dentre essas hipóteses resultando na percepção. Segundo esse entendimento, só é possível coletar informações do ambiente para aprimorar ou confirmar tais hipóteses se o corpo agir, de alguma forma, sobre o mundo. Logo, ao tratarmos o PP lidamos com um modelo de cognição moderadamente corporificado¹ que coloca em evidência a recursividade do ciclo ação-percepção.

O objetivo do presente texto é introduzir os conceitos e ideias centrais do PP, analisando sua qualificação como uma proposta teórica unificadora para o entendimento da cognição humana. Para tanto, partiremos de uma contextualização histórica de algumas correntes teóricas clássicas que parecem ter fomentado seu desenvolvimento inicial para, depois, descrevermos o recém-estabelecido Princípio da Energia Livre (PEL) que, supostamente, fundamenta e subentende a atuação das especificidades do PP que serão elucidadas ao longo de nossa exposição. Posteriormente, iremos evidenciar o papel da inferência bayesiana para esse entendimento particular do funcionamento neural, seguido de uma apresentação do processo de Minimização de Erro de Predição (MEP), o qual se encontra no cerne desse esquema de cognição. Nesse ínterim, consideraremos a função crucial que, internamente ao ciclo ação-percepção, a chamada Inferência Ativa exerceria na manutenção homeostática de nossos cérebros e corpos preditivos. Finalmente, mencionaremos brevemente algumas consequências daquilo que o PP poderia trazer à compreensão da mente humana, visto que ele propõe dissolver as divisas estabelecidas pela maioria das caracterizações tradicionais da cognição em um processo único e contínuo que, embora em um primeiro momento aparenta ser contraintuitivo e demasiadamente custoso, é biologicamente plausível e computacionalmente eficiente.

Digno de nota, a principal motivação de uma introdução ao PP em língua portuguesa² se dá por sua crescente popularidade internacional nas ciências comportamentais e do cérebro, além de seu aparente potencial de, eventualmente, se tornar uma poderosa ferramenta (ou “tradição de pesquisa”, cf. Piekarski 2021), capaz de elucidar muitos dos tópicos centrais ao estudo científico e filosófico da mente. Além disso, o PP promete unificar paradigmas explicativos e níveis de análise³ distintos, não apenas aproximando os métodos de diferentes subdisciplinas científico-cognitivas, mas também suas descrições teóricas e resultados experimentais, ao defender a necessidade de um único processo coordenando a totalidade da cognição e comportamento. Por último, o PP pretende ser um esquema teórico compreensivo, não se limitando, portanto, às (mais habituais) formalidades de modelos matemáticos e simulações computacionais, mas se estendendo a um grande número de previsões distintas, desde expectativas basilares sobre a liberação de neuromoduladores

até hipóteses experimentais e heurísticas descritivas sobre a racionalidade, subjetividade e o comportamento observável dos indivíduos e populações (Sprevak 2021, p.1). Assim, entendemos que seria relevante trazer, em maiores detalhes, tal temática para o nosso país, principalmente de maneira a contribuir para o crescimento e atualização dos debates internos ao campo da filosofia das ciências cognitivas no Brasil.

2. Algumas fomentações históricas

Mesmo que o atual poder explicativo do Processamento Preditivo se refira predominantemente ao nível subpessoal da cognição e comportamento, as inspirações históricas de alguns de seus desdobramentos mais importantes se referem a considerações voltadas, também, ao nível pessoal ou à transição entre ambos. Além disso, grande parte das ideias comumente elencadas como as raízes intelectuais de suas alegações centrais são historicamente recorrentes, podendo ser encontradas em campos e teorizações que, pelo menos em seu contexto inicial de desenvolvimento, teriam pouco ou nenhum relacionamento com aquilo que o PP veio a se tornar. Tomando isso em consideração, talvez um bom ponto de partida para aquilo que se convém tratar como a narrativa padrão da construção teórica do PP seja o argumento kantiano de que a informação sensorial não seria simplesmente dada à percepção humana, mas sim, ao menos parcialmente, constituída e estabelecida pelo próprio ato perceptivo (Engel; Fries; Singer 2001, p.704).⁴

Posteriormente, o trabalho do físico e fisiólogo Hermann von Helmholtz (1821–1894) teria desenvolvido essa linha de raciocínio kantiana na noção de que a percepção seria uma espécie de processo de inferência subpessoal (Cf. Helmholtz 1867). Para Helmholtz, o trabalho do cérebro humano seria semelhante ao de um cientista que, partindo de suas observações, busca inferir os estados objetivos ocultos do mundo. De acordo com a metáfora, essas observações seriam como os padrões de estimulação proximal recebidos pelo cérebro, com ele se baseando em tais evidências e no próprio conhecimento subpessoal, previamente adquirido pelo indivíduo, para inferir com segurança as causas mais prováveis desses estímulos — ou seja, os estados e estruturas ocultos do mundo, responsáveis por gerar tais padrões (Hohwy 2013, p.5–8). Logo, ao invés de serem pura e simplesmente absorvidos, os efeitos da realidade sensorial só seriam percebidos graças à atuação configuradora da “mente humana”.⁵

Em meados do século XX, o psicólogo e filósofo Kenneth Craik (1914–1945) foi o primeiro a, mais especificamente, propor uma visão da mente humana como um mecanismo de modelagem preditiva — pelo menos conforme o comumente apresentado pelos proponentes do PP (Williams 2018, p.7). Para Craik, “uma das propriedades fundamentais dos processos de pensamento [seria] seu poder de previsão dos

eventos” ao nosso redor, o que lhes conferiria uma “imensa capacidade adaptativa e construtiva”, possibilitada pelo fato dos organismos “possuírem, dentro de suas cabeças, [algo como] um ‘modelo em pequena escala’ de sua realidade externa e suas próprias ações possíveis nela” — modelo esse que possuiria “uma estrutura relacional semelhante àquela dos processos que representa” (Craik 1943, p.50–1; p.61). Trata-se de um posicionamento que, nas décadas seguintes, recebeu um investimento filosófico essencial com os estudos do físico Donald MacKay (1922–1987) e dos psicólogos Ulrich Neisser (1928–2012) e Richard Gregory (1923–2010), trabalhando sob um paradigma da psicologia chamado “análise por síntese”, segundo o qual, na realização da percepção, o cérebro criaria primeiro modelos do mundo para depois compará-los com as informações recebidas do ambiente e, então, escolher aqueles que forem compatíveis com tais informações para compor o conteúdo perceptivo (Piekarski 2021, p.4; Cf. Mackay 1956; Neisser 1967; Gregory 1980).

Para concluir a narrativa padrão de sua construção teórica, na virada do século XXI, a convergência entre variações deste esquema geral de entendimento da cognição e algoritmos computacionais de codificação preditiva⁶ teria fomentado o surgimento e desenvolvimento dos primeiros modelos de PP (em um sentido estrito) — especialmente através da pesquisa seminal do neurocientista Karl Friston (2003; 2005; 2009; 2010) — cuja proliferação pela filosofia da mente e das ciências cognitivas se deu, principalmente, por meio da obra dos filósofos Andy Clark (2013; 2016) e Jakob Hohwy (2013; 2014), além dos ensaios neurofilosóficos de Anil Seth (2020; 2021).

Isto posto, dado que o amadurecimento do PP, conforme um entendimento específico da cognição humana, é recente, ainda não parece haver consenso entre seus proponentes sobre qual seria a melhor forma de entendê-lo, aplicá-lo e avaliar a extensão de suas implicações. Portanto, é possível encontrar, na literatura especializada, variações intensas e brandas de argumentação, vindas de autores com posicionamentos radicais ou conservadores acerca dos potenciais do PP, além de grande ambiguidade a respeito da história e uso de noções-chave tais quais as de “Minimização de Erro de Predição” (Cf. Hohwy 2013; 2020), “Codificação Preditiva Hierárquica” — mais utilizada por neurocientistas (Cf. Rao e Ballard 1999; Spratling 2016) — e “Inferência Ativa” — empregue, principalmente, por teóricos da física e biologia (Cf. Friston et al. 2017; Ramstead; Kirchoff; Friston 2019) — para designar aquilo que aqui entendemos como o processo e objetivo principais do Processamento Preditivo (Piekarski 2021, p.3). Com isso em mente, embora seja imprescindível reconhecer a pluralidade e complexidade dos debates contidos nesse atual contexto de discussões, não os trabalharemos aqui, com as afirmações e argumentações expostas ao longo do presente texto sendo, por questões de objetivo e espaço, conscientemente limitadas, inspiradas ou se referenciando predominantemente àquilo exposto pelos estudos de Jakob Hohwy e Andy Clark.⁷

3. O Princípio da Energia livre

O Princípio da Energia Livre é uma afirmação matematicamente formalizável, abrangente e, dependendo da forma como for interpretada, bastante ambiciosa, desenvolvida para dar conta de uma vasta gama de fenômenos cognitivos, tanto na biologia, neurociências e fisiologia quanto no campo da computação e aprendizado de máquina. Em seu cerne está a observação de que a manutenção dos estados internos de um organismo é crucial para a sua subsistência, e que a homeostase⁸ deve ser considerada como sua principal preocupação, pois tal estabilidade é o que lhe proporciona acessibilidades/possibilidades de interação (*affordances*)⁹ em diferentes ambientes — enquanto instabilidades internas o levariam a baixas taxas de sobrevivência, mesmo nos contextos mais previsíveis e simples (Seth 2014, p.270—1; 2015, p.9). Resumidamente, o principal objetivo do PEL é descrever matematicamente a capacidade de organismos vivos se manterem em estados homeostaticamente favoráveis e a necessidade de minimizarem as chances de, eventualmente, se encontrarem em estados desfavoráveis. Isso seria possível porque o organismo seria capaz de “antecipar/prever” a probabilidade de se encontrar em tais estados e realizar as modificações necessárias para se adaptar ou localizar um estado previsto que seja favorável para sua sobrevivência/manutenção homeostática.

A suposição fundamental do PEL é que os organismos vivos, ao manterem sua integridade estrutural e funcional, aparentam violar temporariamente a Segunda Lei da Termodinâmica — evitando, aproximadamente, o equilíbrio termodinâmico global, enquanto buscam manter seu equilíbrio termodinâmico local.¹⁰ Para conseguir fazer isso, os organismos parecem revisitar, ao longo do tempo, uma gama relativamente bem limitada de estados homeostaticamente adequados, mesmo diante da contínua e aleatória influência de flutuações ambientais — um fato que, termodinamicamente, garante que eles permaneçam distintos de seu meio e, portanto, tende a assegurar sua própria existência (Cf. Friston 2005; 2010). Em outras palavras, todo organismo vivo possui, de acordo com seu fenótipo, um espaço de estados (*state space*) que ele pode (e procura) habitar/ser¹¹ para otimizar suas chances de sobrevivência em um ambiente ao longo do tempo (por exemplo, devido ao seu fenótipo, um peixe terá mais chances de sobreviver dentro da água do que fora dela). Quanto mais estruturalmente complexo¹² for um organismo, mais limitado será o seu espaço de estados (por exemplo, uma bactéria tem muito mais chances de sobreviver em ambientes radicalmente distintos do que um ser humano) e, mesmo assim, como a probabilidade desse organismo sobreviver em um ambiente homeostaticamente favorável será maior do que em um ambiente desfavorável, sua sobrevivência implica a minimização das chances dele, eventualmente, violar esse espaço ao habitar/ser um estado indesejado.

Esse conjunto de estados atratores que um organismo tende a frequentar ao longo

de sua existência pode ser entendido como um modelo de seu nicho (isto é, daquela parcela do ambiente físico que lhe é acessível) e de seu comportamento nele (Sims 2021, p.XXXI). Para qualquer ser vivo, deixar de revisitar esses estados ao longo do tempo significa deixar de se permanecer distinto de seu ambiente e, portanto, sua eventual dissipação termodinâmica — ou seja, um eventual equilíbrio global e, com isso, a morte. A valer, aqui, modelos devem ser compreendidos (pelo filósofo ou cientista) como nada mais do que expressões estatísticas implícitas da morfologia, fenótipo e tendências dos estados internos de determinados organismos. E porque tais modelos estabelecem algo como um mapeamento probabilístico, ao longo do tempo, da interação indireta entre os estados internos e externos de um ser vivo, eles podem ser interpretados (também pelo cientista ou filósofo) como estimativas subpessoais dos organismos — ou inferências aproximadamente realizadas por eles — acerca das causas ambientais de seus estados intermediários/sensoriais (Cf. Corcoran; Pezzulo; Hohwy 2020). Nesse sentido, a continuidade da existência de um certo organismo parece implicar na incorporação de um modelo implícito de seu ambiente, e qualquer comportamento que acabe contribuindo para tal existência é equivalente ao acúmulo de novas evidências para o modelo incorporado por esse organismo — ou seja, uma atualização de sua rede de estimativas subpessoais.

Em outras palavras, embora contraintuitiva e relativamente obscura graças ao seu complexo formalismo matemático, a lógica que impulsiona o PEL é, uma vez pormenorizada, simples e direta (Ramstead; Badcock; Friston 2018, p.2–3): (1) de maneira a manter sua integridade como um sistema termodinamicamente delimitável, qualquer ser vivo deve, a longo prazo, limitar a entropia¹³ de seus próprios estados constituintes; (2) visto que a existência de um organismo pode ser definida como a probabilidade dele, ao longo do tempo, se manter em seu conjunto relativamente estreito de possíveis estados constituintes, limitar sua entropia necessariamente corresponde à maximização dessa probabilidade — que, em termos teórico-informacionais, equivale à minimização de sua *surprisal*¹⁴ estatística (ou seja, da probabilidade dele se encontrar em um estado indesejado); (3) por extensão, qualquer ser vivo (ao permanecer vivo) acaba por, ao longo do tempo, minimizar sua *surprisal*, algo que pode ser alcançado, tanto diretamente — com o organismo atuando sobre seu contexto mais próximo, de maneira a aproximá-lo daquilo antecipado/previsto por seu modelo — quanto indiretamente — através do ajuste das estimativas subpessoais contidas em seu modelo, o que limita a ocorrência de estados indesejados ao reduzir divergências significativas entre tal modelo e o mundo que ele pretende antecipar/prever;¹⁵ (4) finalmente, essa sobrevivência pela minimização da *surprisal* pode ser concebida como um processo de otimização de modelos implícitos, estimulando sua adaptação através da incorporação, ao longo do tempo, das relações causais de seus ambientes (Cf. Friston 2010; Hohwy 2013).

Dentro dessa lógica, o construto denominado “energia livre” (que dá nome ao

princípio) consiste em uma grandeza teórico-informacional que (como um *proxy* da *surprisal*) pode ser, de alguma das duas formas supramencionadas, minimizada pelo organismo, indicando, então, a divergência entre qualquer modelo implícito e o mundo — uma diferença que, no longo prazo, deve ser reduzida para que o ser vivo em questão possa garantir sua sobrevivência (Waade 2020, p.7–8; p.10–1). Dito isso, em sua interpretação mais radical, o PEL propõe estabelecer as bases para uma nova compreensão da manutenção e subsistência dos organismos, estendendo-se a toda sua organização composicional: da totalidade da estrutura morfológica dos seres vivos a uma gama de processos específicos, internos e externos a eles (Clark 2013, p.187). Contudo, acreditamos ser sensato entendê-lo de forma mais modesta, não como um princípio excessivamente redutor, mas como uma hipótese abstrata de trabalho, substancialmente funcional e formalmente elegante, e/ou um instrumento epistêmico para cientistas e/ou filósofos naturalistas (Cf. Colombo e Wright 2018). Aqui, sua função seria, meramente, fornecer uma narrativa básica e coerente para o desenvolvimento de esquemas teóricos (tais como o PP) que explorem o fato de que os organismos podem ser satisfatoriamente descritos como utilizando (ou sendo eles mesmos) modelos antecipatórios/preditivos implícitos e autogerados para se adequar aos seus nichos e, assim, antecipar/prevenir aqueles estados que implicariam sua própria desestabilização (Linson et al. 2018, p.4–6).

4. A inferência bayesiana

Conquanto o Princípio da Energia Livre nos ajuda a chegar em uma noção de cognição mínima partindo de uma narrativa bastante básica e generalizante sobre o que é ser um sistema cognitivo, o esquema teórico do Processamento Preditivo pressupõe as conclusões desse relato para poder partir de uma série de hipóteses mais complexas e particulares sobre a suposta natureza dos processos cognitivos em seres como os humanos. Com isso em mente, caso o relato estabelecido pelo PP esteja correto, o processo perceptivo é uma inversão do modelo cognitivo tradicional — que concebe a percepção como uma recepção passiva de informações ambientais — em um modelo bayesiano¹⁶ de probabilidade posterior. Mais especificamente, ao captar informações do ambiente, nossos cérebros corporificados¹⁷ processariam primeiro um conjunto de hipóteses para, somente então, delegar possíveis causas a um determinado estímulo, realizando, portanto, o mapeamento desde as sensações perceptivas para as causas (em vez de mapear as causas primeiro e as sensações depois — como no modelo tradicional) (Friston 2010 p.129). Dada essa inversão, o sistema nervoso seria, então, uma “máquina de inferências” que realiza predições, ativa e constantemente, a fim de tentar explicar (*explain away*) as causas dos estímulos por ele recebidos. Aqui, é importante ressaltar que essas “predições” não se referem necessariamente a uma forma

de cálculo voltado para o futuro, mas sim uma estimativa das informações ainda não obtidas por um sistema. Nesse sentido, uma predição pode dizer respeito tanto às informações futuras quanto às informações passadas não observadas (Sprevak 2021, p.9).

Para uma melhor compreensão, façamos uma ilustração: no meio da noite, você escuta um barulho. Antes de mais nada, você formula algumas hipóteses acerca das possíveis causas desse barulho. Como ainda não se levantou para ir ao local do evento, você não tem certeza sobre qual hipótese concebida é a mais adequada, atribuindo níveis de probabilidade — isto é, verossimilhança — para a relação de cada uma delas com o que, de fato, você escutou. No entanto, apenas com essa atribuição não é possível, ainda, definir qual hipótese é a mais adequada. Tal tarefa depende da existência de *priors*, os quais refletem sua “experiência” e auxiliam no ajuste da verossimilhança à realidade (por exemplo, dado o caráter dúbio dos históricos de contatos com seres extraterrestres, há uma maior probabilidade de seu gato ser o autor do barulho do que o autor ser um alienígena). Efetivamente, esses níveis de probabilidade correspondem a intensidades de crença¹⁸ em um resultado específico, com a conclusão desse processo — qualquer que ela seja — conduzindo o agente a um grau crescente de certezas acerca de como perceber e agir no mundo. Em outras palavras, a forma através da qual reagimos a um evento seria determinada por aquilo que o sistema nervoso, de maneira preditiva, “julga”¹⁹ possuir mais probabilidade de ter ocorrido (sem se levantar, você provavelmente não vai ligar para a polícia falando que há um alienígena em sua cozinha, mas apenas chamará a atenção do seu gato, avisando que ainda não é hora dele comer).

Para isso, nossos cérebros corporificados valer-se-iam de um mapeamento probabilístico que parte das causas para as consequências/informações observadas. Em termos bayesianos, esse mapeamento também é conhecido como “modelo gerativo”²⁰ — o qual agrega a probabilidade do organismo obter uma certa informação, dadas as suas causas (algo que pode ser entendido como compondo os parâmetros de tal modelo) e *priors* sobre tais parâmetros (Friston 2009, p.293). Aqui, *priors* correspondem, mais especificamente, aos diversos dados estatísticos anteriormente disponíveis ao agente, enquanto a probabilidade atribuída refere-se à relação entre *priors* e novas informações advindas do ambiente. De maneira geral, então, a probabilidade de uma determinada situação ocorrer após novas informações serem incorporadas em uma hipótese poderia ser utilizada na redução de incertezas perceptivas, conforme o sistema nervoso atualiza seu modelo gerativo com estimativas probabilísticas mais precisas, acerca das possíveis causas dos eventos ocorrendo ao seu redor. Aqui, a ideia é simplesmente entender a percepção conforme uma aplicação do próprio Teorema de Bayes, inserindo informações na equação (da forma mais constante possível) na tentativa de predizer o grau de certeza com o qual os resultados de um conjunto específico de eventos ou ações poderia ocorrer.²¹

Seguindo o raciocínio, isso permitiria que o cérebro corporificado utilizasse informações que ele já possui e pistas do ambiente (interno e/ou externo) de forma preditiva para tentar adivinhar as causas dos eventos no mundo. Mas, visto que os dados obtidos desde os estímulos sensoriais seriam inferidos a partir dessas previsões, acabaríamos por nos defrontar com uma versão do “problema da indução”, de David Hume (1711–1776) — isto é, com a impossibilidade²² de nossas inferências causais estarem plenamente corretas (Cf. Hume 1748).²³ O PP, então, se limita a implicar que nossos sistemas nervosos são limitados à execução de inferências bayesianas de maneira aproximada e, portanto, a percepção humana não seria uma descrição acurada de seu ambiente, com os resultados de nossas ações só podendo ser inferidos indiretamente, com acurácia apenas o suficiente para a realização de interações bem-sucedidas com nosso meio (Metzinger 2004, p.52; Clark 2013, p.183). Analogamente, tal configuração contorna outra questão que tende a afligir o entendimento da cognição em termos bayesianos: o “problema inverso” — o qual questiona como seria possível realizar inferências preditivas sobre as causas ocultas dos eventos no mundo, considerando a infinidade de possíveis causas para os sinais caóticos que são capturados por nossos sentidos (Harkness e Keshava 2017, p.3; Wiese e Metzinger 2017, p.5).

Em termos gerais, todos esses problemas, que acabam por convergir sobre a questão da acurácia na percepção bayesiana, podem ser diluídos graças a algumas especificidades do PP. Por exemplo, se levarmos em consideração que nossa *Umwelt*²⁴ não pode extrapolar os tipos de nicho habitados por nossa espécie, faz sentido que possuamos aparelhos sensoriais limitados que não seriam capazes de captar todos os dados disponíveis no ambiente e, portanto, “absorvem” apenas aqueles dados que são relevantes para a nossa sobrevivência (e, por conseguinte, percepção). Além disso, caso nossas inferências fossem sempre estritamente acuradas (ou tratadas como se fossem), não seria necessário coletar informação alguma vinda do ambiente para atualizarmos nossos modelos gerativos e, assim, interagirmos com o mundo. Logo, isso resultaria em uma (homeostaticamente) perigosa desconexão com nosso meio mais imediato (tal como ocorre com pessoas com esquizofrenia e demais transtornos psiquiátricos acompanhados de psicoses e alucinações). Finalmente — e mais especificamente — o problema inverso tende a ser dissolvido²⁵ se levarmos em consideração o fato de que, dados os *priors* disponíveis para um determinado contexto, modelos gerativos podem atribuir verossimilhanças específicas para cada uma de suas hipóteses — ou seja, para a ocorrência de cada uma das possíveis causas levadas em consideração durante o processo perceptivo (Cf. Burr 2017).

Em suma, a inferência bayesiana realizada por nossos cérebros preditivos corporificados não estaria, de fato, comprometida com questões de precisão, mas com a viabilização de nossa sobrevivência no mundo. Tal processo pode ser concebido como um “mapeamento probabilístico inverso”, através do qual uma miríade de possíveis

causas ocultas é mapeada sobre os efeitos sensoriais de um determinado estímulo, com as mais prováveis dentre essas, uma vez “filtradas” por nossos *priors* e configurações fenotípicas, sendo inferidas a partir de tal mapeamento. Conforme veremos, isso só seria possível graças a uma arquitetura funcional hierárquica bastante específica, a qual o PP alega que nosso sistema nervoso central possuiria (Wiese e Metzinger 2017, p.6).

5. Processamento bidirecional hierárquico

De acordo com o Processamento Preditivo, o sistema nervoso central seria algoritmicamente²⁶ organizável em camadas hierárquicas, estruturadas de acordo com níveis crescentes de complexidade e possuindo um modo bidirecional de comunicação — conforme o ilustrado na Figura 1 (C). Dentro dessa hierarquia, as camadas superiores são primeiramente responsáveis pela confecção e envio de predições de forma descendente (*top-down*), enquanto as camadas inferiores são primeiramente responsáveis pelo processamento e encaminhamento das informações vindas de nossos sistemas sensoriais de forma ascendente (*bottom-up*), conforme o ilustrado na Figura 1 (B). No entanto, em cada uma dessas camadas, há tanto unidades de erros, lidando (conforme será desenvolvido na próxima seção) com a propagação dos erros nas predições da camada imediatamente superior, quanto unidades representacionais, as quais lidam com a elucidação de tais erros (ou seja, a constituição e atualização das predições de cada camada), conforme (A), na Figura 1. No que diz respeito à implementação neurofisiológica desse esquema, acredita-se que as células piramidais²⁷ superficiais transmitiriam informações ascendentemente pela hierarquia, enquanto as células piramidais profundas seriam responsáveis pela transmissão descendente. Consequentemente, existiriam dois fluxos de informação altamente especializados, os quais fomentam um ao outro nos vários nódulos/núcleos de processamento hierárquico dos nossos sistemas nervosos, como em (D), na Figura 1 (Cf. Friston 2005; 2010).

Os vários nódulos/núcleos de processamento hierárquico, tanto isolados como em comunicação, seriam o que permite a instanciação neural de modelos gerativos — os quais, no Princípio da Energia Livre, se viam corporificados e manifestados estatisticamente pelo organismo como um todo: em sua morfologia, seu fenótipo e nas tendências de seus estados internos. Esses modelos possuem um caráter predominantemente descendente pois sua função é utilizar as camadas superiores para buscar prever os dados sensoriais iminentes, propagados pelas camadas inferiores, através de cascatas multiníveis de processamento neural, delineando, assim, as causas interativas mais prováveis para os sinais vindos de nosso contexto (Clark 2013, p.182; 2016, p.37). Entretanto, conforme mencionamos, devido às nossas configurações fenotípicas (e a grande quantidade de “ruído”, possivelmente contida nas informações

captadas) as previsões geradas por tais modelos não são totalmente acuradas. Logo, quaisquer informações recebidas do ambiente que venham a divergir daquilo propagado descendentemente pelas camadas do modelo gerativo precisam, ainda, ser computadas como erros de previsão e transmitidas para as camadas superiores, a fim de que essa nova informação seja, eventualmente, agregada às previsões das camadas imediatamente superiores, atualizando o modelo em questão.²⁸ Disso resulta que é possível reinterpretar a principal tarefa do sistema nervoso (isto é, a manutenção homeostática de nossos corpos) como sendo a realização de previsões aproximadas de informações sensoriais ascendentes, vindas dos sentidos — minimizando, ao longo do tempo, quaisquer divergências significativas²⁹ entre previsão e informação sensorial (Muckli 2010, p.137; Rauss; Schwartz; Pourtois 2011, p.1249).³⁰

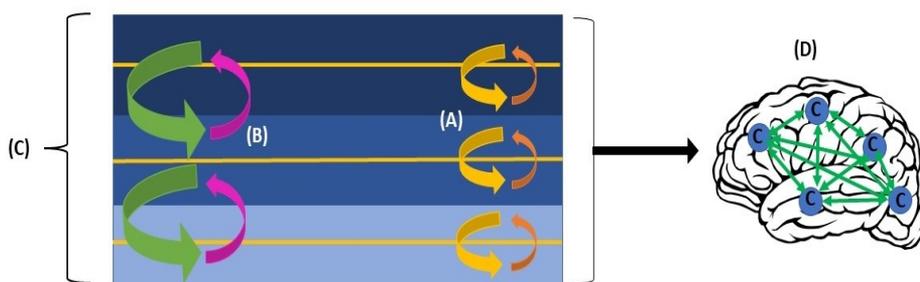


Figura 1: Processamento Bidirecional Hierárquico, onde (A) representa o fluxo de informação entre as unidades de erro e representação de cada camada; (B) representa o fluxo de informação entre camadas; (C) representa o sistema hierárquico de camadas; e (D) representa a comunicação entre os vários núcleos de processamento hierárquico localizados no (e dentro do) córtex. Aqui, a maior grossura das setas descendentes indica a predominância do fluxo *top-down* na percepção.

6. Minimização de Erro de Previsão, Atenção e Ação

Dito isso, em nossos cérebros corporificados, o processo responsável por realizar o ajuste entre modelos gerativos e as informações vindas dos sentidos é a Minimização de Erro de Previsão. Trata-se de um análogo neuronal da minimização da energia livre (que, no Princípio da Energia Livre, era realizada fenotipicamente) e que, no Processamento Preditivo, pode ocorrer de duas formas: (1) a seleção de uma amostragem do ambiente para que as previsões possam ser atualizadas com base nas entradas sensoriais; ou (2) a manipulação do ambiente, de forma que o agente minimize o nível de ruído/erro entre aquilo que é previsto e o que é absorvido por seu aparato sensorial e, com isso, traga seu contexto para mais próximo do seu modelo gerativo (Hohwy 2013, p.42–3).

No PE, se um modelo (ou uma de suas hipóteses) possui um bom ajuste e, portanto, qualidade explicativa para os dados sensoriais recebidos, ele possui aquilo que é conhecido como “acurácia”. Predições de alta acurácia tendem a gerar menos erros preditivos e são melhores para representar a estrutura causal do mundo, utilizando uma menor quantidade de recursos cognitivos (visto que não necessitam ser atualizadas). Quando, em um determinado contexto, uma de nossas predições possui baixa acurácia, a MEP pressupõe uma estimativa de seu grau de precisão. Essa ponderação da precisão consiste em um processo no qual o modelo (ou uma de suas hipóteses) aumenta sua estimativa de ganho com a “absorção” dos erros de predição, visto que, em determinados casos, esses erros preditivos forneceriam informações sensoriais mais confiáveis do que as predições produzidas em camadas superiores. Em termos cognitivos, ao nível pessoal, tal processo pode ser interpretado como a atuação da atenção (Cf. Friston 2009; Clark 2016, p.59–60).

Dado que, em nossos nichos, os níveis de ruído/erro com os quais nos deparamos tendem a ser padronizados, esses podem ser aprendidos e nossos modelos preditivos (com eles) atualizados. Logo, com o aprendizado de novos padrões, nossos modelos podem utilizá-los para prever futuros níveis de ruído/erro e, assim, orientar como serão definidos os subsequentes ganhos com erros de predição vindos do mesmo contexto — ou contextos semelhantes (Hohwy 2014, p.194). Portanto, a todo momento, um modelo neural, que gera predições sensoriais, precisa representar as precisões esperadas para os eventuais erros de predição oriundos do contexto no qual o organismo se encontra. Assim, com a ponderação da precisão, fica possível determinar se as informações que tais erros estão transmitindo seriam confiáveis (ou não) para o sistema (Piekarski 2021, p.8).

Em outras palavras, quando o cérebro corporificado está processando cascatas descendentes de hipóteses e capta um erro de predição, ele vai verificar se, dadas as circunstâncias, esse erro é relevante para o organismo ou não — ou seja, a precisão do erro será ponderada e, se ela acabar por demonstrar que o erro é relevante, o sistema nervoso irá se “focar” na sua captação e processamento, de maneira a obter novas e mais confiáveis informações sensoriais contextualizadas e, assim, atualizar suas hipóteses (ou seja, ele se “atenta” ao ambiente para atualizar sua amostragem). Aqui, a forma através da qual a MEP lida com os erros é, então, ponderando aquilo que pode ser descartado e o que deve ser assimilado em nossas predições, de acordo com a acurácia das hipóteses em questão, dadas as evidências, em um processo de aprendizagem e regulação que, em uma descrição ao nível do agente, ocorre por conta do direcionamento da atenção.

Já a outra forma de realizar a MEP consiste em agir/atuar no mundo. Essa ação não precisa ser necessariamente um deslocamento corpóreo complexo, podendo se limitar, por exemplo, aos movimentos sacádicos dos olhos, micromovimentações musculares, ou mesmo alterações nas dinâmicas de nossos órgãos internos (Cf. Friston

2005; 2010; Friston; Mattout; Kilner 2011). Por meio dessas alterações, o organismo conseguiria, ao manipular seu ambiente, captar uma amostra de estímulos que melhor correspondesse com as previsões criadas (em seu modelo) pelas camadas superiores de processamento. Logo, no PP, o envolvimento da ação implica que previsões comportamentais não apenas precedem a sensação e a percepção, mas na verdade as determinam (Clark 2013, p.186).

Internamente ao PP, esses processos (ideomotores)³¹ de ajuste e seleção corporificados de amostragens, ativamente executados para maximizar as evidências de nossos modelos preditivos de mundo, consistem naquilo que é chamado de Inferência Ativa (Cf. Friston et al. 2010). Grosso modo, a Inferência Ativa seria a responsável por delinear o controle motor e explicar a seleção de ações como estratégias para a minimização de divergências, em nossa percepção proprioceptiva³², entre os dados sensoriais previstos e os captados (ou seja, coordenando a MEP pela enação). Por conseguinte, na ação, em vez de diretamente selecionar um comando motor explícito, nossos cérebros preditivos infeririam o que deveríamos estar fazendo, sob a pressuposição de que, quaisquer que sejam essas ações, elas deverão minimizar o erro de previsão (Hipólito et al. 2021, p.4471). Aqui, se uma inferência ativa específica não consegue cumprir uma previsão em questão, o resultado é uma cascata descendente de hipóteses proprioceptivas que perdura até que tal previsão seja finalmente alinhada (de maneira bayesiana) com a realidade do indivíduo — através da realização de inferências ativas adicionais (Friston 2010, p.134).

A valer, é somente se não for possível continuar a realizar inferências ativas que o modelo do ambiente precisa ser adaptado (isto é, atualizado por meio de informações/erros ascendentes) para melhor se ajustar ao contexto em questão. Ou seja, na Inferência Ativa, os sistemas normalmente envolvidos com o processamento de erros preditivos relativos aos nossos comandos motores se autossuprimem através da execução de movimentos corporais, capazes de reposicionar nossos sensores para buscar e (como resultado) criar, ativamente, os estímulos sensoriais que já eram esperados por nossos modelos gerativos (Friston 2003, p.1349). Logo, vemos que, no PP, percepção, cognição e ação trabalham juntas para minimizar os erros de previsão através da amostragem seletiva e modelagem ativa das possíveis causas da estimulação sensorial — por meio da movimentação e da intervenção, no mundo (Clark 2016, p.74). Vale a pena notar, porém, que tudo isso não implica que a execução da MEP recorre explicitamente às consequências que conscientemente desejarmos, mas sim à aprendizagem fornecida por nossos *priors* e a dedução (bayesiana) subpessoal, realizada por nossos cérebros corporificados, de acordo com o contexto no qual nos encontramos (Friston; Samothrakis; Montague 2012, p.524).

Os modelos gerativos, então, envolvem funções tanto sensoriais quanto motoras, desempenhando um papel duplo: eles inferem as causas sensoriais ocultas no ambiente e motivam as ações orgânicas que, possivelmente, configuram tais causas

(Friston; Mattout; Kilner 2011, p.138). Com isso em mente, notamos que a ação e a percepção são, na verdade, dois aspectos de um mesmo (e contínuo) processo de realização da MEP e, após sua efetivação, uma vez que nossos modelos gerativos se encontrarem devidamente atualizados, eles passarão a incorporar uma probabilidade posterior, cuja finalidade é ser transmitida para o processamento global e, assim, gerar a experiência perceptiva.

Podemos dizer, então, que os modelos preditivos são os responsáveis pela maior parte do que consideramos ação e percepção conscientes, enquanto as informações ascendentes, vindas do ambiente, forneceriam apenas *feedbacks* corretivos recorrentes para a cascata descendente de predições — o que, por sua vez, permitiria tanto uma economia de recursos cognitivos quanto um maior alinhamento da cognição com seu ambiente. Assim, o PP estabelece um tipo de interação recíproca entre percepção e aprendizado (Fletcher e Frith 2009, p.53). Aqui, o conteúdo consciente seria o resultado da hipótese preditiva de maior probabilidade posterior — ou seja, aquela que se sustentou mais satisfatoriamente ao processo da MEP. Curiosamente, isso significa que, ao navegarmos por nossos nichos, a essência geral do contexto é descrita primeiro (por hipóteses e *priors* acerca das regularidades do mundo), para apenas depois possibilitar a descrição de seus detalhes (desde o fluxo ascendente de informações/erros preditivos, ao direcionarmos nossa atenção para o ambiente) — numa espécie de percepção “floresta primeiro, árvores depois” (Friston 2005, p.825).

Em outras palavras, nossos cérebros podem até ser concebidos como construtores de nossa percepção do ambiente, mas essa capacidade só nos é disponível através de uma contínua e ativa sintonia corporificada com as informações sensoriais vindas do meio. Esse vínculo, tanto com as propriedades e estados externos quanto com as propriedades e estados internos de nosso ambiente, descreve a inter-relação entre o cérebro, o corpo e seu contexto sob uma perspectiva que tende a se alinhar com uma visão integrada da cognição, ofuscando a linha divisória entre a percepção e a ação. Nisso, os modelos preditivos podem ser descritos como fundamentalmente orientados para a ação, de maneira que o cérebro corporificado procura estabelecer um controle preditivo dinâmico dos estímulos ao seu redor, permitindo que o organismo percorra seu ambiente com sucesso (Clark 2013, p.185; Wiese e Metzinger 2017, p.4). Dito (ainda) de uma outra forma, para o PP, o mundo dos seres vivos é essencialmente constituído de acessibilidades/possibilidades de interação (*affordances*) e os erros de predição podem ser entendidos como codificando informações sensoriais que ainda não foram utilizadas para o controle de uma interação relevante para o agente em seu mundo (Clark 2016, p.74).

7. Uma teoria unificadora da cognição humana?

Caso o Processamento Preditivo esteja correto, muitas de nossas dificuldades, naquilo que diz respeito à compreensão do funcionamento, configuração e delineamento internos da cognição humana, acabariam por se dissipar, pois ele propõe a existência de um único processo geral, responsável pela totalidade da estruturação e realização de nossas funções neurais e comportamentais, desde as mais basilares até as mais complexas/abstratas. Sob esse ponto de vista, subentende-se que: erros de predição poderiam ser entendidos como um estratagema neurocognitivo corporificado para informar, ao organismo, a demanda pela minimização de energia livre; a entropia (que, como vimos, deve ser limitada/minimizada, a longo prazo) poderia ser descrita como “a média a longo prazo da *surprisal*” estatística dos seres vivos; e que, portanto, qualquer redução de erros de predição no modelo gerativo de um organismo resultaria na minimização da energia livre e, com isso, uma melhoria de tal modelo — o que, conseqüentemente, lhe forneceria uma melhor “interpretação” de (e a capacidade de satisfatoriamente interagir com) seu mundo (Friston 2010, p.133). Em outras palavras, esses conceitos podem ser tratados como se referindo, essencialmente, a um mesmo processo, ocorrendo em escalas distintas de análise.³³ Aqui, escolhemos enfatizar uma narrativa que descreve tal processo desde o referencial neurocomputacional do Processamento Preditivo, mas estudá-lo a partir de uma descrição da cognição que ressalta as particularidades da Inferência Ativa³⁴ ou se limitando ao Princípio da Energia Livre possibilitar-nos-ia uma profunda análise do tema por ainda outros ângulos.

A valer, partindo de pressupostos moderadamente pragmáticos, uma leitura do PP orientada à ação nos possibilita o entendimento da percepção e da ação como, também, consistindo em um mesmo processo, evocando um papel duplo para a arquitetura neural subjacente, em nossos cérebros e corpos preditivos. Sob essa mesma chave de leitura, também é possível destacar a função central do ciclo ação-percepção em nossas vidas: pois, no ímpeto pela antecipação dos contextos que possibilitariam nossa manutenção homeostática (ou seja, a *alostase*) agimos para predizer/perceber e predizemos/percebemos para agir. Ressaltar esse ponto é importante porque ele pode atuar como uma resposta relativamente adequada às críticas de que o PP seria excessivamente intelectualista, exclusivamente cerebralista e que a busca incessante da MEP haveria por destinar os organismos preditivos à persistência, até sua morte, em ambientes isolados, escuros ou sensorialmente monótonos — por serem mais fáceis de “prever” (Cf. Sun e Firestone 2020).³⁵ Mas tais críticas se baseiam em uma interpretação incompleta, por justamente não considerarem a inevitabilidade de alterações em nossas dinâmicas internas, as quais nos impelem às predições proprioceptivas e, com isso, à ação. A minimização de estados inesperados é, de fato, fundamental para nossa sobrevivência nos nichos que habitamos, mas — em sistemas

tais quais o formado por um organismo e seu ambiente — a existência da *surprisal* e dos erros de predição acabam sendo indispensáveis para o alcance (próximo) de um equilíbrio termodinâmico, a regulação de modelos gerativos e, portanto, a percepção do (e no) mundo.³⁶ Como diria Clark, “não somos vegetais cognitivos, esperando a próxima entrada sensorial, mas preditores proativos — somos máquinas de adivinhação da natureza, sempre tentando ficar um passo à frente, ativamente surfando nas ondas de estímulos sensoriais, conforme eles chegam” (Clark 2016, p.38).

Adicionalmente, o PP aparenta ser uma ferramenta extremamente versátil, pois, para além de sua proposta de unificação da cognição, sua narrativa geral pode ser satisfatoriamente interpretada e utilizada partindo de pressupostos filosóficos e científico-cognitivos distintos. Um exemplo disso é a questão da possibilidade de interpretações representacionais ou antirrepresentacionais para o papel dos modelos gerativos e das inferências, na ação e percepção. Aqui, alguns autores, com perspectivas mais moderadas acerca do PP, valem-se de interpretações nas quais modelos neuralmente instanciados e representações mentais seriam concepções permutáveis, com inferências representacionais ocupando um papel central na elucidação da cognição. Entretanto, autores com posicionamentos mais radicais tendem a defender o descarte de qualquer tipo de noção representacional para o PP, alegando que sua descrição da cognição humana, particularmente ao enfatizar o papel corporificado das inferências ativas nos ciclos ação-percepção, poderia ser plenamente tratada por meio de sistemas dinâmicos. Esses autores geralmente se alinham com abordagens científico-cognitivas enativas³⁷ (Cf. Di Paolo et al. 2017; Newen et al. 2018; Ramsstead; Kirchoff; Friston 2019; Gallagher 2020), embora também existam aqueles que intentam acomodar uma leitura antirrepresentacional do PP internamente a uma defesa de outros posicionamentos radicalmente corporificados, tais como a Psicologia Ecológica — principalmente através de uma compreensão instrumentalista e não computacional do PEL e da inferência ativa, conforme ferramentas (científicas e/ou filosóficas) que meramente fornecem uma ilustração heurística daquelas dinâmicas reais que seriam, essas sim, instanciadas pelos seres vivos (Cf. Kelso 2012; Bruineberg e Rietveld 2014; Bruineberg; Kiverstein; Rietveld 2018).

Esse é, inclusive, o ponto central de um argumento recentemente desenvolvido pelo filósofo Giovanni Rolla, contra a necessidade de uma interpretação representacionista para o PP — ou seja, não parece haver ganhos explicativos ou motivações inerentes ao esquema teórico para a sua compreensão em termos representacionais (Rolla 2019, p.89–91). Pelo contrário, isso poderia, inclusive, incorrer em um pernicioso caso da chamada “falácia do psicólogo”, na qual um observador externo (no caso, um filósofo ou cientista) assume precipitadamente que sua própria experiência subjetiva reflete a verdadeira natureza do fenômeno por ele estudado (no caso, de que os dados coletados desde o processamento neural representariam, em um sentido explícito, as regularidades e estruturas causais do mundo) (Rolla 2019, p.92).

Contudo, embora Rolla pareça estar correto em alegar que o PP não se compromete explicitamente com qualquer noção clássica de representação (conforme uma reapresentação do ambiente) vimos que ainda não está claro como, uma vez presupostas as conclusões do relato fornecido pelo PEL, ele poderia assegurar aos organismos um acesso perceptivo imediato de seus nichos — conforme aquilo também ensejado pelo antirrepresentacionalismo dos posicionamentos radicalmente corporificados. Afinal, apesar de recomendarmos o entendimento do PEL como uma hipótese abstrata de trabalho e/ou um instrumento epistêmico, é notável o crescimento do apelo por uma leitura realista do princípio (Cf. Ramstead; Badcock; Friston 2018; Ramstead et al. 2023). Nisso, garante-se que os modelos gerativos dos seres vivos não sejam simplesmente mímicas de seus ambientes externos (pois, como vimos, isso faria com que se iguallassem às próprias dinâmicas do meio e, portanto, se dissipassem nele). Entretanto, também se implica que esses sejam o resultado de uma interação indireta entre as dinâmicas de seus estados internos e externos — e, com isso, que seja possível formalizar que as primeiras realizem, manifestamente, uma forma de inferência bayesiana (aproximada) sobre as últimas (uma característica que o argumento de Rolla busca contestar).³⁸ Logo, é possível que, no PP, o papel dos modelos gerativos e das inferências se demonstre, em última instância, não menos intrigante e desafiador para o ramo representacionalista da filosofia das ciências cognitivas do que para sua vertente antirrepresentacionalista.

Paralelamente, existem ainda propostas que buscam circundar tais questões e se focar em levar os potenciais do PP para a escala sociocultural de análise, alegando que, a fim de minimizar a energia livre a um nível populacional, os seres humanos se esforçam ativamente para construir nichos em seu ambiente, o que os possibilitaria, por extensão, limitar coletivamente a ocorrência de erros de predição em modelos gerativos distribuídos (tais como esquemas culturais e expectativas populacionais) (Cf. Silva et al. 2021). Tal descrição também tende a englobar as estratégias sociais gerais que utilizamos (muitas vezes automaticamente) como forma de melhor prever o comportamento alheio, em nosso cotidiano — como é o caso do uso da linguagem de crenças/desejos e nossa psicologia popular (*folk psychology*) durante interações sociais. Nessa narrativa, atitudes proposicionais possivelmente elegeriam causas (razões/motivações) macroscópicas/observáveis para o comportamento em sociedade, de maneira a permitir que melhor modelássemos — e, assim, antecipássemos — nossos complexos ambientes coletivos, facilitando sua navegação. Portanto, narrativas pessoais talvez sejam uma adaptação coletiva ou, até mesmo, um subproduto evolutivo para a minimização da energia livre em grandes escalas — isto é, algo moldado por pressões descendentes, resultantes da integração, em um nível populacional, dos processos preditivos subjacentes, formados por multidões de mentes individuais em comunicação (Hirsh; Mar; Peterson 2013, p.216–7).

Não obstante esse presente cenário de (frutíferas) generalizações, faz-se necessá-

ria certa cautela ao avaliarmos os potenciais de unificação do PP. Em termos gerais, é importante observar que tanto os promotores do PP quanto do PEL parecem adotar uma postura Realista Estrutural (RE), na qual o esforço por um quadro unificado de análise parte do uso de modelos idealizados para o rastreamento daqueles padrões (teóricos, informacionais, etc.) ou configurações fundamentais (geralmente creditadas como reais) que restringiriam explicações científicas distintas — isto é, a busca pelo fornecimento de uma síntese elucidativa, baseada na estrutura subjacente àquilo que se objetiva explicar (Cf. Colombo e Wright 2018). No entanto, embora a postura RE seja, atualmente, predominante em disciplinas como a Física e a Química, isso está longe de ser o caso nas chamadas “ciências especiais” — tais quais as ciências cognitivas, comportamentais e do cérebro. Atualmente, essas disciplinas adotam o pluralismo explanatório e as explicações mecanicistas de vários níveis — ou seja, a explanação por meio da redução e descrição de um conjunto organizado de partes componentes (e suas atividades), as quais são concebidas como conjuntamente responsáveis por um determinado fenômeno-alvo. Portanto, dado que o PP e o PEL ainda não nos equipam (diretamente) com uma história detalhada a respeito dos componentes mecanísticos da cognição, é provável que, se ambos forem (eventualmente) capazes de fornecer um quadro unificado, será através da proposta de que muitos mecanismos cognitivos distintos podem ser enquadrados sob um único esquema de minimização de erros de predição (ou energia livre) (Cf. Gładziejewski 2019).³⁹

8. Considerações finais

O Processamento Preditivo retrata a cognição humana como operando majoritariamente por meio de uma modelagem bayesiana para a realização de inferências acerca do ambiente. Vimos que isso seria neuralmente instanciado através de uma estrutura hierárquica com vários níveis distintos, os quais se comunicam em um fluxo de informações bidirecional em prol de um mesmo processo: a Minimização de Erro de Predição. O resultado disso faz, então, com que a percepção seja apenas uma anulação dos dados sensoriais (recebidos em um fluxo ascendente), combinados com cascatas cognitivas descendentes de predições, em uma infinidade de escalas temporais e espaciais. A ação, por sua vez, seria propiciada pela autorrealização dessas mesmíssimas previsões, com o organismo proativamente atuando sobre seu ambiente de maneira a aproximar os estímulos recebidos daquilo previsto por seu modelo.

O aparente poder explicativo, simplicidade e compreensibilidade do PP vêm conquistando, cada vez mais, autores nas ciências e filosofia, com sua aplicação abrangendo tópicos tão distintos quanto o cérebro humano, a Inteligência Artificial, a simulação de processos socioculturais e o estudo cognitivo-evolucionista da religião (Cf. Litwin e Miłkowski 2020). Trata-se de uma tradição de pesquisa ainda em for-

mação, mas que cresce progressivamente, e, mesmo com suas limitações, já atua como importante ferramenta acadêmica para uma possível mudança de paradigma nas ciências cognitivas, comportamentais e do cérebro — conforme ela contribui para a substituição de nossa concepção da cognição como a recepção passiva de informações ambientais. Afinal, mesmo que o PP tenha originalmente se desenvolvido para explicar, em maiores detalhes, os processos subpessoais de nossa cognição, vimos que ele possui o potencial de elucidar a maior parte da (e, talvez, toda a) complexidade cognitivo-comportamental humana. Por exemplo, se estiver correta, a noção de um cérebro preditivo corporificado, o qual ativamente infere e, com isso, configura sua própria entrada sensorial, poderia mudar drasticamente a forma como explicamos e tratamos distúrbios psiquiátricos, psicóticos e alucinatórios, além da própria filosofia envolta nas psicoterapias (cientificamente embasadas) utilizadas em seu tratamento (Cf. Gadsby e Hohwy 2021).

Digno de nota, de maneira a fornecer uma introdução que fosse, ao mesmo tempo, sintética e suficientemente abrangente, optamos por dotar nossos argumentos com um caráter propositalmente simplista e superficial, visto que o PP, a Inferência Ativa e o PEL costumam ser trabalhados sob uma linguagem e tecnicidade matematicamente complexas — o que, por sua vez, acaba por justificar (ao nosso ver) algumas simplificações aparentemente excessivas, em prol de uma maior potencialidade de difusão do assunto. Ademais, conforme vimos, existem diferentes vertentes filosóficas e científico-cognitivas de sua interpretação e, de acordo com o explicitado no início de nosso texto, optamos principalmente pelo referenciado nas obras de Jakob Hohwy (especialmente para o papel das inferências na percepção) e Andy Clark (particularmente para o papel da atuação corporificada em organismos preditivos), sem com isso nos adentrar em maiores detalhes acerca das pequenas, porém relevantes, diferenças existentes entre suas abordagens. Efetivamente, ambos esses autores possuem livros introdutórios (e relativamente populares) sobre o PP e suas implicações filosóficas e, aqui, escolhemos por heurísticamente circundar suas diferenças e utilizá-los como parcelas complementares de uma perspectiva compreensiva da cognição humana (Cf. Hohwy 2013; Clark 2016). Não obstante, é válido ressaltar que, por se tratar de um esquema teórico relativamente novo, tal complementaridade, assim como vários dos demais aspectos do PP, podem (e devem) mudar significativamente com o passar do tempo. Aqui, acreditamos que o papel da filosofia é, para além do questionamento e elucidação de suas premissas, acompanhar criticamente tal processo, contribuindo para o seu desenvolvimento, amadurecimento e explorando suas implicações (neurofilosóficas, epistemológicas, etc.) (Cf. Clark 2013; 2016; Hohwy 2013; 2014; Seth 2020; 2021). Trata-se, portanto, de uma área extremamente propícia e aberta ao engajamento filosófico e, com nossa contribuição, esperamos ter fornecido um incentivo convincente, aos interessados, para se voltarem a essa instigante temática.

Referências

- Atal, B. 2006. The history of linear prediction. *IEEE Signal Processing Magazine* **23**(2): 154–8.
- Bruineberg, J.; Rietveld, E. 2014. Self-organization, free energy minimization, and optimal grip on a field of affordances. *Front. Hum. Neurosci.* **8**(599): 1–14.
- Bruineberg, J.; Kiverstein, J.; Rietveld, E. 2018. The anticipating brain is not a scientist: the free-energy principle from an ecological-enactive perspective. *Synthese* **195**(6): 2417–44.
- Burr, C. 2017. Embodied decisions and the predictive brain. In: T. Metzinger; W. Wiese (orgs.), *Philosophy and Predictive Processing*, 7. Frankfurt am Main: MIND Group.
- Clark, A. 2013. Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and brain sciences* **36**(3): 181–204.
- Clark, A. 2016. *Surfing uncertainty: Prediction, action, and the embodied mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Clark, A. 2019. Replies to Critics. In: M. Colombo; E. Irvine; M. Stapleton (orgs.), *Andy Clark and His Critics*, p.266–302. Oxford: Oxford University Press.
- Colombo, M.; Wright, C. 2018. First principles in the life sciences: the free-energy principle, organicism, and mechanism. *Synthese* **198**: 3463–88.
- Corcoran, A.; Pezzulo, G.; Hohwy, J. 2020. From allostatic agents to counterfactual cognisers: active inference, biological regulation, and the origins of cognition. *Biol. Philos.* **35**(32): 1–45.
- Craik, K. 1943. *The nature of explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Di Paolo, E. et al. 2017. *Sensorimotor Life: an enactive proposal*. Oxford: Oxford University Press.
- Engel, A.; Fries, P.; Singer, W. 2001. Dynamic predictions: Oscillations and synchrony in top-down processing. *Nature Review Neuroscience* **2**(10): 704–16.
- Fletcher, P; Frith, C. 2009. Perceiving is believing: A Bayesian approach to explaining the positive symptoms of schizophrenia. *Nature Reviews: Neuroscience* **10**: 48–58.
- Friston, K. 2003. Learning and inference in the brain. *Neural Networks* **6**(9): 1325–52.
- Friston, K. 2005. A theory of cortical responses. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* **360**(1456): 815–36.
- Friston, K. 2009. The free-energy principle: A rough guide to the brain? *Trends in Cognitive Sciences* **13**(7): 293–301.
- Friston, K. 2010. The free-energy principle: a unified brain theory? *Nature reviews. Neuroscience* **11**(2): 127–38.
- Friston, K.; Mattout, J.; Kilner, J. 2011. Action understanding and active inference. *Biological Cybernetics* **104**(1–2): 137–60.
- Friston, K.; Samothrakis, S.; Montague, R. 2012. Active inference and agency: Optimal control without cost functions. *Biological Cybernetics* **106**(8): 523–41.
- Friston, K. et al. 2010. Action and behavior: a free energy formulation. *Biological Cybernetics* **102**(3): 227–60.
- Friston, K. et al. 2017. Active Inference: A Process Theory. *Neural. Comput.* **29**(1): 1–49.
- Gadsby, S.; Hohwy, J. 2021. Predictive Processing and Body Representation. *PsyArXiv*. <https://psyarxiv.com/zvfx2>. Acesso: 09.09.2022.
- Gallagher, S. 2020. *Action and Interaction*. Oxford: Oxford University Press.
- Gibson, J. 1979. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.

- Gładziejewski, P. 2019. Mechanistic unity of the predictive mind. *Theory & Psychology* **29**(5): 657–75.
- Gregory, R. 1980. Perceptions as hypotheses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **290**(1038): 181–97.
- Harkness, D.; Keshava, A. 2017. Moving from the What to the How and Where – Bayesian Models and Predictive Processing. In: T. Metzinger; W. Wiese (orgs.), *Philosophy and Predictive Processing*, 16. Frankfurt am Main: MIND Group.
- Helmholtz, H. 1867. *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: Voss.
- Hinton, G. 2007. Learning multiple layers of representation. *Trends in cognitive sciences* **11** (10): 428–34.
- Hipólito, I. et al. 2021. Embodied skillful performance: where the action is. *Synthese* **199**: 4457–81.
- Hirsh, J.; Mar, R.; Peterson, J. 2013. Personal narratives as the highest level of cognitive integration. *Behavioral and Brain Sciences* **36**(3): 216–7.
- Hohwy, J. 2013. *The predictive mind*. Oxford: Oxford University Press;
- Hohwy, J. 2014. The self-evidencing brain. *Noûs* **50**(2): 259–85.
- Hohwy, J. 2020. New directions in predictive processing. *Mind and Language* **35**(2): 209–23.
- Hohwy, J.; Kallestrup, J. (org.) 2008. *Being reduced: New essays on reduction, explanation, and causation*. Oxford: Oxford University Press;
- Hume, D. 1748. *Philosophical Essays Concerning Human Understanding*. London: A. Millar.
- Kant, I. 1787. *Critik der reinen Vernunft. Zweyte hin und wieder verbesserte Auflage*. Riga: Johann Friedrich Hartknoch.
- Kelso J. 2012. Multistability and metastability: understanding dynamic coordination in the brain. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* **367**(1591): 906–18.
- Körding, K.; Tenenbaum, J.; Shadmehr, R. 2007. The dynamics of memory as a consequence of optimal adaptation to a changing body. *Nature neuroscience* **10**(6): 779–86.
- Körding, K.; Wolpert, D. 2004. Bayesian integration in sensorimotor learning. *Nature* **427** (6971): 244.
- Linson, A. et al. 2018. The Active Inference Approach to Ecological Perception: General Information Dynamics for Natural and Artificial Embodied Cognition. *Front. Robot. AI* **5**(21): 1–22.
- Litwin, P.; Miłkowski, M. 2020. Unification by Fiat: Arrested Development of Predictive Processing. *Cogn. Sci.* **44**: e12867.
- Mackay, D. 1956. Towards an information-flow model of human behavior. *British Journal of Psychology* **47**(1): 30–43.
- Makoshi, Z.; Kroliczak, G.; Donkelaar, P. 2011. Human supplementary motor area contribution to predictive motor planning. *Journal of motor behavior* **43**(4): 303–9.
- Marr, D. 1982. *Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: W. H. Freeman;
- Metzinger, T. 2004. *Being no one: The self-model theory of subjectivity*. Cambridge: MIT Press;
- Muckli, L. 2010. What are we missing here? Brain imaging evidence for higher cognitive functions in primary visual cortex V1. *International Journal of Imaging Systems Technology* **20**: 131–9.
- Nave, K. 2022. *Everybody's gotta eat: why autonomous systems can't live on prediction-error minimization alone*. Edinburgh: The University of Edinburgh.

- Neisser, U. 1967. *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Newen, A. et al. (orgs.) 2018. *The Oxford Handbook of 4E Cognition*. Oxford: Oxford University Press.
- Pearl, J. 1988. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. Burlington: Morgan Kaufmann.
- Piekarski, M. 2021. Understanding Predictive Processing: a review. *AVANT: trends in interdisciplinary studies* 7(1): 1–48.
- Ramstead, M. 2022. Easy as 1, 2, 3: On the Short History of the Use of Affordance in Active Inference. In: Z. Djebbara (org.) *Affordances in Everyday Life: A Multidisciplinary Collection of Essays*, p.193–202. Cham: Springer.
- Ramstead, M.; Badcock P; Friston K. 2018. Answering Schrödinger's question: A free-energy formulation. *Phys. Life Rev.* 24: 1–16.
- Ramstead M.; Kirchhoff M.; Friston K. 2019. A tale of two densities: active inference is enactive inference. *Adapt. Behav.* 28(4): 225–39.
- Ramstead, M. et al. 2023. On Bayesian mechanics: a physics of and by beliefs. *Interface Focus* 13(29): 1–27.
- Rao, R.; Ballard, D. 1999. Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects. *Nature neuroscience* 2(1): 79–87.
- Rauss, K.; Schwartz, S.; Pourtois, G. 2011. Top-down effects on early visual processing in humans: A predictive coding framework. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 35(5): 1237–53.
- Rolla, G. 2019. Processamento Preditivo: a representação nos olhos de quem vê. *Voluntas – Revista Internacional de Filosofia* 10(1): 85–92.
- Seth, A. 2014. Interoceptive inference: From decision-making to organism integrity. *Trends in Cognitive Sciences* 18(6): 270–1.
- Seth, A. 2015. The Cybernetic Bayesian Brain: From Interoceptive Inference to Sensorimotor Contingencies. In: T. Metzinger; J. Windt (orgs.) *Open MIND*, 35(T). Frankfurt am Main: MIND Group.
- Seth, A. 2020. The Brain as a Prediction Machine. In: D. Mendonça.; M. Curado.; S. Gouveia (orgs.) *The Philosophy and Science of Predictive Processing*, p.XIV–XVII. London: Bloomsbury.
- Seth, A. 2021. *Being You*. London: Faber & Faber.
- Silva, T. et al. 2021. Da habituação individual à construção de nichos por meio da ritualização de grupos: uma descrição partindo da Inferência Ativa. In: J. Pinheiro; S. Di Marco (orgs.) *Evolução Bi-Cultural, Moral e Política*, p.47–9. Lisboa: CFCUL.
- Sims, M. 2021. *Strong continuity of life and mind: the free energy framework, predictive processing and ecological psychology*. Edinburgh: The University of Edinburgh.
- Spratling, M. 2008. Predictive coding as a model of biased competition in visual attention. *Vision research* 48(12): 1391–408.
- Spratling, M. 2016. A review of predictive coding algorithms. *Brain and cognition* 112: 92–7.
- Sprevak, M. 2021. Predictive coding I: Introduction. *Philsci-Archive*.
<http://philsci-archive.pitt.edu/19365/>. Acesso: 09.09.2022.
- Stock, A.; Stock, C. 2004. A short history of ideo-motor action. *Psychological Research* 68: 176–88.

- Sun, Z.; Firestone, C. 2020. The Dark Room Problem. *Trends in Cognitive Sciences* **24**(5): 346–8.
- Thompson, E. 2010. *Mind in Life: Biology, Phenomenology and the Sciences of Mind*. Cambridge: Harvard University Press.
- Tribus, M. 1961. *Thermodynamics and thermostatics: An introduction to energy, information and states of matter, with engineering applications*. New York: D. Van Nostrand.
- Uexküll, J. 1957. A stroll through the worlds of animals and men: a picture book of invisible worlds. In: C. Schiller (org.) *Instinctive behavior: The Development of a Modern Concept*, p.5–80. New York: International Universities Press.
- Vasconcelos, M. 2023. *A inter-relação entre o Modelo dos Múltiplos Esboços e o Processamento Preditivo para o estudo da consciência*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Waade, P. 2020. Confucian Free Energy: The Predictive Mind in Ancient China. *PsyArXiv*. <https://psyarxiv.com/zm245/>. Acesso: 09.09.2022.
- Wiese, W.; Metzinger, T. 2017. Vanilla PP for Philosophers: A Primer on Predictive Processing. In: T. Metzinger; W. Wiese (orgs.) *Philosophy and Predictive Processing, 1*. Frankfurt am Main: MIND Group.
- Williams, D. 2018. Predictive Processing and the Representation Wars. *Minds & Machines* **28**: 141–72.

Notas

¹Refere-se à ideia de que a interação física entre o corpo e o mundo restringe as possíveis dinâmicas de configuração e comportamento do organismo que, por sua vez, influenciam os processos cognitivos que emergem dessas interações.

²No presente momento, existem ao menos duas outras obras a objetivar uma introdução ao PP em língua portuguesa (Cf. Rolla 2019; Vasconcelos 2023, p.46–69). Dessas, apenas o artigo de Giovanni Rolla — o qual será brevemente discutido no presente texto e que, segundo o próprio autor, fornece unicamente uma “caracterização superficial do Processamento Preditivo” (Rolla 2019, p.88) — gozou de publicação em livro ou periódico. Por sua vez, a dissertação da psicóloga e filósofa Maria de Vasconcelos intenta uma análise de folego similar ao pretendido pelo presente texto, mas seu enfoque e ponto de partida são outros: o agenciamento desse esquema teórico para o debate acerca da consciência e não o fornecimento de uma apresentação detalhada de seus conceitos e ideias centrais (Cf. Vasconcelos 2023). Tais informações se devem ao astuto parecer de um dos avaliadores anônimos da revista, ao qual estamos intensamente gratos.

³Trata-se dos níveis de análise computacional, algorítmico e implementacional, conforme o elaborado pelo neurocientista e fisiólogo David Marr (1945–1980). No nível computacional, o PP sugeriria que a tarefa do cérebro corporificado é minimizar o erro de predição sensorial. No nível algorítmico, o PP sugeriria que o algoritmo pelo qual tentamos resolver tal tarefa opera conforme uma rede neural artificial hierárquica, composta por unidades de predição e erro. No nível implementacional, o PP sugeriria que uma parcela significativa dos recursos físicos que implementam esse algoritmo está localizada tanto no neocórtex, particularmente na atuação dinâmica das células piramidais superficiais e profundas, quanto em regiões subcorticais — e as redes que as envolvem — tais como as proeminentemente envol-

vidas pelos loops tálamo-corticais e a via mesocorticolímbica (Sprevak 2021, p.2; Cf. Marr 1982).

⁴Trata-se de um argumento cuja origem estaria no papel que Kant atribui, na sua “Crítica da Razão Pura” (*Kritik der reinen Vernunft*), às “faculdades intuitivas” (*Anschauungsvermögen*) na formulação dos nossos dados dos sentidos (Kant 1787, p.110–1).

⁵Nota-se que, embora Helmholtz e Kant sejam frequentemente creditados como os antepassados mais célebres das ideias centrais do PP — às vezes precedidos pelas reflexões contidas no *De Aspectibus* ou *Perspectiva* (كتاب المناظر), do polímata árabe Ibn al-Haytham (965–1040) — seria mais apropriado atribuir ao trabalho desses pensadores o desenvolvimento de uma compreensão “construtivista” da percepção humana, entendida como uma forma de inferência orientada, de alguma forma, pelo conhecimento (pessoal e subpessoal) detido pelo indivíduo (Clark 2016, p.307). No entanto, trata-se de um processo que não precisa incluir a realização ativa e corporificada de predições ou partir de modelos neuralmente estruturados e implementados — os quais são, conforme veremos, característicos do PP (Williams 2018, p.7; p.48).

⁶Algoritmo desenvolvido na década de 1950 pelo engenheiro eletricista James Flanagan (1925–2015), concebido originalmente como uma técnica para o aumento da eficiência na compressão de dados (ou seja, som e imagem) durante o processamento de sinais de computador (Clark 2013, p.182–3). O *insight* central da codificação preditiva é que, efetivamente, a totalidade dos dados não precisa ser processada, mas apenas a diferença entre a expectativa de uma sequência temporal de eventos ou estímulos e sua presença real. Portanto, apenas variações não-esperadas são incluídas no código compactado e são somente essas variações, entre o previsto e o real, que, em última instância, seriam transmitidas — economizando, com isso, espaço e tempo de processamento (Cf. Atal 2006).

⁷Para revisões críticas mais compreensivas, cf. Hohwy 2020; Sprevak 2021; Piekarski 2021.

⁸A tendência ao equilíbrio local que todo sistema biológico exhibe. Mais precisamente, a homeostase consiste na manutenção de tal equilíbrio no meio interno aos organismos, mesmo frente a variações em seu meio externo.

⁹Um termo originalmente cunhado pelo psicólogo americano James Gibson (1904–1979) para se referir aos aspectos positivos e negativos, proporcionados pelo ambiente, que são relevantes para a interação e sobrevivência de um ser vivo em/com seu meio (Cf. Gibson 1979).

¹⁰De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, em um sistema tal qual o formado por um organismo e seu ambiente, a interação entre suas partes tende a distribuir a energia termodinâmica total do sistema por igual, até que ele alcance um equilíbrio global. Entretanto, para manter sua integridade como sistemas termodinamicamente (localmente) delimitáveis, entidades biológicas precisam, logicamente, se manter em uma relação de distinção — e, portanto, fora de equilíbrio termodinâmico global — com seus ambientes. Disso, resulta que a vida parece temporariamente violar a Segunda Lei da Termodinâmica.

¹¹Visto que organismos vivos habitam preferencialmente, em seu ambiente, as circunstâncias necessárias para a manutenção de seus estados constituintes, seu espaço de estados acaba por descrever um conjunto de condições atratoras que os estimula à visitação e revisitação das próprias situações que possibilitam sua definição como as criaturas que são e, portanto, sua existência (Clark 2019, p.286). Logo, o PEL justifica uma espécie de transição sutil entre

estados homeostáticos e estados ambientais. Afinal, sua narrativa descreve uma espécie de codeterminação organismo-ambiente na qual se torna improdutivo tratar de estados homeostáticos sem, com isso, tratar dos estados ambientais que os propiciariam em primeiro lugar (e vice-versa).

¹²Os proponentes do PEL geralmente concebem a complexidade dos organismos estudados em termos de aninhamentos ou hierarquias de um conjunto de interdependências estatísticas (entre seus estados internos, externos e limítrofes/sensoriais/atuacionais) conhecido como “cobertor/envoltório de Markov” (Pearl 1988).

¹³A indisponibilidade da energia térmica de um sistema para conversão em trabalho mecânico, aqui interpretada como seu grau de desordem, dispersão ou aleatoriedade.

¹⁴Existe uma diferença entre os desalinhamentos básicos dos dados sensoriais iminentes, conectando o ambiente ao que é previsto por um modelo em nível subpessoal, e o fenômeno qualitativamente acessível ao nível do agente conhecido como “surpresa”. Aqui, tende-se a distinguir claramente esses dois fenômenos, operando em escalas distintas de análise. A terminologia utilizada para designar a natureza implausível (em um sentido bayesiano) de um sinal sensorial inesperado é *surprisal* — um conceito originalmente cunhado pelo teórico Myron Tribus (1921–2016) — de maneira a diferenciá-la do sentido (*folk*) de surpresa, o qual é familiar a todos nós (Cf. Tribus 1961).

¹⁵Essa conclusão costuma partir de uma eventual convergência entre o conceito termodinâmico de entropia e seu análogo teórico-informacional. Como vimos, para sobreviver, qualquer ser vivo deve, a longo prazo, limitar a entropia termodinâmica de seus próprios estados constituintes. Entretanto, quando um organismo reduz divergências significativas entre seu modelo antecipatório/preditivo e o mundo que ele pretende antecipar/prever, ele também está limitando uma grandeza denominada entropia, mas essa é de “natureza” teórico-informacional — sendo nada mais do que as incertezas ou desordens que necessitam ser resolvidas em um processo de comunicação (ou, no caso, antecipação/previsão). Aquilo que se encontra subentendido é, então, que, nos processos que garantem a sobrevivência dos seres vivos, ambas essas grandezas seriam concomitantes (isto é, o PEL afirma que, para um organismo, a minimização de suas incertezas acerca do mundo garantiria seu equilíbrio termodinâmico local).

¹⁶Em referência ao Teorema de Bayes, uma equação fundamental para a estatística probabilística: $P(A|B) = [P(B|A)P(A)]/P(B)$, onde P = probabilidade, H = hipótese e E = evidência. Tal teorema incorpora a possibilidade de eventos condicionais influenciarem o resultado-alvo, com tais eventos correspondendo à pluralidade de fatores pertinentes para a ocorrência daquilo previsto. Em outras palavras, ele auxilia na predição de resultados em contextos nos quais há certo grau de incerteza, descrevendo a probabilidade de um evento ocorrer ou ter ocorrido, com base no conhecimento prévio das condições possivelmente relacionadas a esse mesmo evento (Hohwy e Kallestrup 2008, p.17).

¹⁷O PP explicita que muitas características de nossa neurocognição seriam moldadas por aspectos de nossos corpos e, portanto, o funcionamento do cérebro humano não poderia ser desacoplado de nossas dinâmicas orgânicas, como um todo.

¹⁸Aqui, o termo “crença” pode ser entendido como uma distribuição de probabilidades, relativa aos estados das coisas ou propriedades desconhecidas em nosso mundo. Ou seja, trata-se de algo como uma crença sistêmica prévia, com um alto grau de abstração, relacionada ao conhecimento geral que possuímos sobre o mundo (Piekarski 2021, p.9).

¹⁹Pelo teorema de Bayes, esse “julgamento” se basearia na relação entre as evidências/dados disponíveis e as hipóteses possíveis, bem como o quão plausível seria cada hipótese, *a priori*, dadas as experiências anteriores.

²⁰Geralmente, seguindo o Princípio da Energia Livre, modelos tais como os modelos gerativos são entendidos, estatisticamente, como construtos matemáticos que capturam as relações entre os valores de um conjunto de variáveis aleatórias (Piekarski 2021 p.7). Notavelmente, no contexto do PP, eles também podem ser interpretados como representações mentais do ambiente — embora alguns autores problematizam essa descrição, questionando se ela indicaria que tais concepções seriam permutáveis ou meramente comparáveis (Cf. Williams 2018).

²¹Evidências sustentando o entendimento dos seres humanos como agentes bayesianos quase ótimos podem ser encontradas em vários domínios, tais como no aprendizado sensorio-motor (Cf. Körding e Wolpert, 2004) e no armazenamento e recuperação de memórias (Cf. Körding; Tenenbaum; Shadmehr 2007).

²²No caso, o único modo de inferirmos algo com plena certeza seria por meio de inferências dedutivas. Porém, inferências bayesianas possuem natureza indutiva e, como uma passagem direta da indução para a dedução é impossível, seu resultado (em termos absolutos) sempre acompanharão uma certa quantidade de incerteza.

²³Alternativamente, o “problema da indução” pode ser interpretado como a afirmação de que, mesmo que nossas inferências possam estar, sim, plenamente corretas, não teríamos como sabê-lo. Não obstante, conforme veremos, o PP parece estar bem equipado para lidar (também) com tal impasse.

²⁴Termo cunhado pelo biólogo alemão Jakob Uexküll (1864–1944), referindo-se ao mundo conforme ele é experienciado por um organismo (Cf. Uexküll 1957).

²⁵Para alguns exemplos preliminares de como isso ocorreria na retina e no córtex, cf. Spratling 2008.

²⁶Cf. nota 3.

²⁷Um tipo de neurônio multipolar encontrado em áreas tais quais o córtex cerebral, o hipocampo e a amígdala, nas quais são classificados como uma das principais unidades excitatórias.

²⁸É válido ressaltar que o cérebro corporificado não se envolve perceptivamente apenas na ocorrência de entradas sensoriais provocadoras de *surprisal*, visto que, em contextos ecologicamente regulares, nossos *priors* tendem a se encontrar pré-ativados, influenciando imediatamente (e automaticamente) o processamento cognitivo de quaisquer entradas sensoriais (por exemplo, pela percepção inconsciente) (Clark 2013, p.183).

²⁹Ou seja, que perturbam a interação alostática (a busca pela homeostase, através de mudanças fisiológicas ou comportamentais) de um organismo em/com seu meio.

³⁰Como uma breve ilustração empírica de tal esquema, consideremos a descrição, fornecida pelo PP para o papel da Área Motora Suplementar (AMS) no planejamento motor de alto nível — uma parte do córtex cerebral primata que contribui para o controle dos movimentos, onde predições acerca das consequências sensoriais de nossa movimentação seriam realizadas antes mesmo de qualquer ação ou reação. No planejamento de uma sequência motora (algo que, em si, já é uma tarefa de alto nível), a AMS pode ser vista como um nódulo/núcleo intermediário de um modelo hierárquico composto por demais áreas do (e no) córtex em comunicação. Dentro de uma hierarquia ao nível cortical, a função desse nódulo/núcleo seria,

então, computar informações descendentes acerca de um objetivo abstrato (desde demais nódulos/núcleos) e gerar, por sua vez, informações descendentes (isto é, previsões) a respeito das consequências sensoriais vindouras de uma determinada sequência de movimentos (Cf. Makoshi; Kroliczak; Donkelaar 2011).

³¹Segundo o princípio ideomotor, estados neuronais ideacionais, habitualmente relacionados ao processamento das possíveis causas ambientais de nossa ativação sensorial, também mapeiam aqueles estados que promovem a preparação da ação (Stock e Stock 2004, p.176).

³²Naquilo que se refere aos estados produzidos e percebidos internamente a um organismo, mas relacionados ao seu posicionamento e movimentação no ambiente externo.

³³Uma analogia útil para descrever a relação entre a MEP e a minimização de energia livre, em múltiplos níveis de organização, é a noção de fractais — através dos quais, em um fenômeno, um mesmo processo tenderia a ocorrer, de novo e de novo, em todas as suas escalas de análise, simultaneamente e de forma aninhada.

³⁴Em leituras enfocando o papel da ação na manutenção homeostática dos organismos, a Inferência Ativa pode ser generalizada e utilizada como um esquema teórico independente, cujos pressupostos podem ser prontamente derivados dos axiomas do PEL (Cf. Silva et al. 2021). Aqui, optamos por seguir um posicionamento menos radical e tratá-la apenas como um entendimento específico do modo como a Minimização de Erro de Predição seria implementada pela arquitetura neural humana, por meio da ação corpórea.

³⁵Digno de nota, alguns críticos acreditam que o PP não poderia, em princípio, fornecer, sozinho, uma resolução para tal impasse. Sob essa perspectiva, ainda pareceria existir nos organismos um ímpeto que, a despeito de sua satisfação homeostática plena, os levaria para fora de ambientes como esse. Trata-se de algo que, embora servido pelas especificidades descritas pelo PP, é externo e, portanto, não faria parte daquilo que pode ser descrito por ele. Isto é, a MEP dota os organismos de uma série de capacidades, mas essas parecem servir objetivos e impulsos que não seriam plenamente apreendidos por tal processo (Cf. Nave 2022). Respostas para tal impasse costumam redescrever esses ímpetos em termos bayesianos ou incluí-los no PEL, cf. nota 33.

³⁶Lembremos que, ao aparentemente violar, temporariamente, a Segunda Lei da Termodinâmica, os seres vivos tendem a frequentar, ao longo de sua existência, um conjunto de estados atratores. Entretanto, por serem, em si, sistemas termodinamicamente abertos, se estabelecer estaticamente em qualquer um desses estados atratores levaria os seres vivos a um equilíbrio termodinâmico global com seu meio — e, portanto, a morte. Disso, resulta que as condições de existência de um organismo estimulam a visitação e revisitação das próprias situações que possibilitam sua definição como a criatura que ele é — mas nunca a estagnação em qualquer uma delas. Por conseguinte, não seria possível existir vida sem a ação.

³⁷Trata-se de um posicionamento filosófico específico, para as ciências comportamentais e do cérebro, que defende que a emergência da cognição ocorre por meio da interação dinâmica (ou seja, complexa, flexível e temporalmente heterogênea) entre um organismo atuante e seu ambiente (Cf. Thompson 2010).

³⁸Isto é, sob o PEL, o Processamento Preditivo não é uma teoria da percepção direta. Nas palavras do filósofo Maxwell Ramstead, a corporificação radical, caso entendida como um campo, “está comprometida com a visão de que a percepção não é um processo indireto, mediado por inferências, mas *uma captação direta* das características relevantes do ambiente. E é inegável que os teóricos [...] da Energia Livre] rejeitam essa noção de percepção”. De fato,

no relato fornecido pelo PEL, os ciclos ação-percepção envolvem, sempre, “uma espécie de inferência ou sintonia informacional entre os estados de um agente e o ambiente externo no qual o sistema está inserido e com o qual interage” (Ramstead 2022, p.199, grifo do autor). Em tese, isso significa que o Processamento Preditivo e a corporificação radical aparentam se separar no nível de algumas de suas premissas centrais, pelo menos conforme elas são comumente entendidas.

³⁹Algo que poderia, inclusive, indicar que a diferença entre a postura RE e explicações mecanicistas é menos fundamental do que aquilo que se costuma estabelecer.

Agradecimentos

Agradecemos ao editor e aos avaliadores anônimos da revista. Agradecemos, também, aos professores doutores Osvaldo Frota Pessoa Junior e, em particular, Thiago Fonseca Alves França pelos extensos comentários e astutas observações em versões anteriores desde texto, aos quais estamos intensamente gratos.

Parcelas do presente trabalho foram realizadas com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES) — Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo 140916/2023 — 7 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2021/03688 — 0. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.