

MAQUINARIA EXPERIENCIAL E COMPUTABILIDADE

Experiential Machinery and Computability

Leonardo Lana de Carvalho*

Resumo: O objetivo deste ensaio é conceptualizar *maquinaria experiencial* a partir da teoria de Maturana e Varela (TMV) e apresentar a *máquina de Turing Enativa* (MTE) como Turing-completa e como modelo central do conceito de maquinaria experiencial. A TMV encontra hoje velhos e novos interlocutores, como respectivamente o representacionalismo cognitivista e o enativismo jonasiano. Divergindo de ambos, partimos da TMV que, baseada na fenomenologia da biologia, visou explicações generativas da cognição, a exemplo da máquina autopoietica apresentada pelos autores. Eles descrevem que se trata de um mecanismo explicativo capaz de gerar os fenômenos investigados, capaz mesmo de gerar fenômenos de autoconsciência. Neste caso, chamamos aqui estes mecanismos generativos da autoconsciência de maquinaria experiencial. Por uma análise fenomenológica do ato de calcular defendemos a máquina de Turing (MT) como uma maquinaria experiencial. Por fim, apresentamos a MTE como resultado da isomorfia entre a máquina autopoietica e a MT.

Palavras-chave: Experiência. Cognição. Enação. Computação. Máquina de Turing.

Abstract: Our aim in this essay is to conceptualize *experiential machinery* based on the theory of Maturana and Varela (TMV) and to present the *Enactive Turing Machine* (ETM) as Turing-complete and as the core model of the experiential machinery concept. TMV now encounters both old and new interlocutors, namely cognitive representationalism and Jonasian enactivism. Diverging from both, we start from TMV, which, grounded in the phenomenology of biology, sought generative explanations of cognition, exemplified by the autopoietic machine presented by the authors. They describe it as an explanatory mechanism capable of generating the investigated phenomena, even capable of generating phenomena of self-consciousness. In this case, we refer to these generative mechanisms of self-consciousness as experiential machinery. Through a phenomenological analysis of the act of calculating, we argue for the Turing machine (TM) as an experiential machinery. Finally, we present the ETM as the result of the isomorphism between the autopoietic machine and TM.

Keywords: Experience. Cognition. Enaction. Computing. Turing machine.

* Professor associado da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Contato: leonardolana.carvalho@ufvjm.edu.br

Introdução

Em sua história, as ciências cognitivas são fortemente engajadas com a modelagem mecânica da mente, especialmente adotando a máquina de Turing como modelo paradigmático. Todavia, não se trata somente de descrever os processos cognitivos como uma maquinaria computacional, mas de sintetizar sistemas que concretamente vão exibir operações que podem ser descritas como operações de aprendizagem de máquina, memória, linguagem etc. Um longo debate se desenvolve sobre saber se o conceito de cognição abrange os conceitos de afeto e emoção. Mesmo sobre suas formas mais simples, podemos nos perguntar; seria possível gerar um sistema computacional experiencial? Apesar de Eysenck & Keane² dizerem que a ciência cognitiva computacional tende a ignorar fatores afetivos e emocionais, Beckmann *et al.*³ entendem que sistemas baseados nos mecanismos de redes neurais artificiais permitem uma descrição de suas operações em termos de experiência vivida.

A temática não é nova em ciência cognitiva enativa, para a qual a experiência não é algo dentro de uma caixa, seja esta o corpo ou a interioridade de um sujeito. Visamos aqui partir do conceito de mecanismos explicativos (experienciais-operacionais) defendido por Maturana & Varela⁴ e Maturana & Varela⁵ com a finalidade de destacar seu papel de instruir o modo de gerar fenômenos de autodescrição ou autoconsciência. A este mecanismo experiencial-operacional que visa a geração de fenômenos de autoconsciência estamos chamando de *maquinaria experiencial*. Analisamos dois exemplos de mecanismos explicativos desta ordem, voltados para a descrição das operações necessárias para a geração da autodescrição ou autoconsciência. Primeiramente, de um ponto de vista fenomenológico do ato de calcular, apresentamos a Máquina de Turing (MT) como uma maquinaria experiencial. Em seguida, apresentamos a máquina de Maturana & Varela (MMV), pelos autores mesmo originalmente entendida como tal.

Em seguida, apresentamos análises sobre instanciações físicas da máquina de Turing como um autômato enativo⁶, também a conceptualização da MT como funcionalmente fechada⁷ e capaz de autonomia⁸. Focamos na defesa de Carvalho & Kogler⁹, que sustentam um isomorfismo entre a função de transição da MT com o fechamento organizacional e funcional em sistemas vivos. Avançando sobre esse raciocínio, defendemos aqui que existe uma equivalência entre as definições da MMV e da MT. Com o propósito de identificar o entendimento enativo da MT ao formalismo lógico-matemático da MT, propomos a *Máquina*

² EYSENCK, M. W.; KEANE, M. T. *Manual de Psicologia Cognitiva*. Porto Alegre: Artmed, 2017, p. 30.

³ BECKMANN, P.; KÖSTNER, G.; HIPÓLITO, I. An Alternative to Cognitivism: Computational Phenomenology for Deep Learning. *Minds & Machines*, v. 33, p. 397–427, 2023.

⁴ MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, 1980.

⁵ MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. Boston, MA: Shambhala Publications, 1987.

⁶ DEWHURST, J.; VILLALOBOS, M. The Enactive Automaton as a Computing Mechanism. *Thought*, 2017. ISSN 2161-2234. DOI 10.1002/tht3.247

⁷ VILLALOBOS, M.; DEWHURST, J. Computationalism, Enactivism, and Cognition: Turing machines as functionally closed systems. *AIC (2016)*, p. 138-147, 2016.

⁸ VILLALOBOS, M.; DEWHURST, J. Enactive autonomy in computational systems. *Syntese*, v. 195, n. 5, p. 1891-1908, 2018.

⁹ CARVALHO, L. L.; KOGLER, J. E. The enactive computational basis of cognition and the explanatory cognitive basis for computing. *Cognitive Systems Research*, v. 67, p. 96-103, junho 2021.

de *Turing Enativa* (MTE) como modelo central do conceito de maquinaria experiencial. A MTE implica dizer que o modelo enativo torna-se assim mais um, dentre tantos formalismos, *Turing-completo*. Nossa análise visa concluir que a maquinaria experiencial apresentada por Maturana & Varela é computacional e não representacional, entendendo que a expressividade desta máquina é a mesma da MT, a classe de linguagens recursivamente enumeráveis.

1. Explicações generativas

Para nossa intenção aqui de caracterizar a maquinaria experiencial a partir do pensamento de Maturana e Varela é preciso distinguir dois métodos em ciência cognitiva enativa. O remédio metodológico ao problema difícil da consciência, descrito originalmente por Varela¹⁰ de um método anterior e para nós mais caro nesta investigação, o das explicações generativas, apresentado por Maturana¹¹ e defendido por Maturana & Varela¹² e Maturana & Varela¹³. O método neurofenomenológico de Varela consiste em estabelecer correlações entre dados fenomenológicos descritivos com dados experimentais, enquanto o método das explicações generativas visa produzir o fenômeno que se quer entender. Concordamos com Roy *et al.*¹⁴ e Gallagher & Zahavi¹⁵ que a proposta de naturalizar a fenomenologia é fundamental para as ciências cognitivas e de que ela se beneficia de ambos os procedimentos metodológicos.

Naturalizar a fenomenologia é mais um passo na difícil tarefa de perceber os limites e vantagens do empreendimento moderno das ciências naturais, de perceber a irreduzibilidade da consciência em primeira pessoa¹⁶, levando tanto a uma virada fenomenológica em ciências cognitivas quanto à descrição de um domínio experiencial na natureza, a ser investigado conjuntamente tanto pelos métodos das ciências naturais quanto da análise fenomenológica¹⁷. Em Maturana¹⁸ e em Maturana & Varela¹⁹ o problema da investigação da autoconsciência pelas ciências naturais foi formulado antes sobre a preocupação da cibernética de segunda ordem de não excluir o observador do fenômeno investigado. Eles enfatizam que podemos gerar um mecanismo explicativo (experiencial-operacional) que mostre como é possível gerar

¹⁰ VARELA, F. J. Neurophenomenology: A methodological remedy to the hard problem. *Journal of Consciousness Studies*, v. 3, n. 4, p. 330–349, 1996.

¹¹ MATURANA, H. R. Biology of cognition. In MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. (eds.) *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, p. 2-58, 1980 [1970].

¹² MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. Autopoiesis: the organization of the living. In MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. (eds.) *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, p. 73-140, 1980 [1973].

¹³ MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. Boston, MA: Shambhala Publications, 1987.

¹⁴ ROY, J-M; PETITOT, J.; PACHOUD, B.; VARELA, F. J. Beyond the gap: an introduction to naturalizing phenomenology. In PETITOT, J.; VARELA, F. J.; PACHOUD, B.; ROY, J-M (eds.) *Naturalizing Phenomenology*. Stanford, CA: Stanford University Press, 1999.

¹⁵ GALLAGHER, S.; ZAHAVI, D. *The phenomenological mind: an introduction to philosophy of mind and cognitive science*. London and New York: Routledge, 2008.

¹⁶ VARELA, *Neurophenomenology: A methodological remedy to the hard problem*, p. 47.

¹⁷ THOMPSON, E. *A mente na vida: Biologia, Fenomenologia e as Ciências da Mente*. Lisboa: Instituto Piaget, 2013 [2007].

¹⁸ “Anything said is said by an observer. In his discourse the observer speaks to another, who could be himself; whatever applies to the one applies to the other as well. The observer is a human being, that is, a living system, and whatever applies to living systems applies also to him.” (MATURANA, *Biology of cognition*, p. 8.)

¹⁹ “The phenomenology of living systems, then, is the mechanical phenomenology of physical autopoietic machines.” (MATURANA, VARELA, *Autopoiesis: the organization of the living*, p. 113)

o fenômeno que se quer entender, podendo este ser um dentre diversos fenômenos biológicos, por exemplo o fenômeno da autodescrição ou autoconsciência. Para Maturana, “uma explicação é sempre uma reprodução”²⁰.

A solução apontada por Maturana e Varela é a de que um mecanismo explicativo da autoconsciência parte dos fenômenos biológicos; da definição de uma máquina autopoietica e de seu acoplamento estrutural no meio. Neste sentido os autores dedicam grande esforço em defender sistemas vivos como máquinas. Maturana & Varela²¹ entendem que faz parte do senso-comum entender o termo “máquina” como um aparelho concebido pelo ser humano. Não obstante, este não é o uso que fazem do termo. Tanto para os autores como em teoria da computação²², entende-se por máquinas uma linguagem formal que descreve as relações que determinam a dinâmica de interações e o espaço de estados em que estão definidos. Maturana & Varela enfatizam que se trata de um sistema discreto e que como uma unidade, ela possui uma organização cuja configuração define seu modo de interação. Na perspectiva estruturo-funcionalista dos autores uma máquina pode se materializar em muitas estruturas diferentes.

A máquina viva é uma unidade que aparece ao observador como um sistema composto, com uma dinâmica complexa e especialmente como um ser de experiência²³. Definir uma unidade, uma *configuração* ou ainda uma organização que determina seu modo de interação com o meio foi uma preocupação primeira à de definir a organização da máquina como capaz de autoprodução, ou *autopoiesis*. Outras propriedades foram descartadas. O *propósito* foi descrito como uma *característica aparente* indispensável nas autodescrições humanas²⁴. Seres humanos descrevem os outros e a si mesmos a partir de atitudes proposicionais. Maturana & Varela consideram esse fenômeno social importante de ser investigado pelo método das explicações gerativas, mas afirmando que isso não implica assumir um vitalismo, visto que possuir um propósito (um projeto interno ou uma finalidade) não são características de nenhuma máquina. Noções de propósito surgem nestas descrições reduzindo a complexidade da tarefa explanatória acerca da organização de uma máquina em particular²⁵.

Este ensaio se encontra em um contexto de confrontação teórica e metodológica importante atualmente. De acordo com Villalobos & Ward²⁶, a Teoria Autopoietica de Maturana (TAM) encontra hoje velhos e novos contornos. O pensamento cognitivista e conexionista continuam sendo a fonte da maior parte das preocupações da TAM, com destaque para o conexionismo que hoje é a tradição de pesquisa dominante em ciências cognitivas²⁷. A virada jonasiana no pensamento enativista inaugurada por Varela apresenta uma segunda alternativa à TAM. Villalobos & Ward²⁸ chamam este movimento de segunda geração do Enativismo Vareliano (EV). A primeira geração do EV (1990-2000) é caracterizada por uma influência primária do pensamento de Merleau-Ponty. Para nossos propósitos aqui a delimitação destes interlocutores é importante visto que, ao nos posicionarmos mais próximos da TAM, conservamos sua crítica ao cognitivismo e ao conexionismo, mas também endossamos suas

²⁰ MATURANA, *Biology of cognition*, p. 55.

²¹ MATURANA, VARELA, *Autopoiesis: the organization of the living*, p. 77-84.

²² HOPCROFT, J. E.; ULLMAN, J. D.; MOTWANI, R. *Introdução à teoria de autômatos, linguagens e computação*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

²³ MATURANA, VARELA, *Autopoiesis: the organization of the living*, p. 77-84.

²⁴ *Ibid.*, p. 85-86.

²⁵ *Ibid.*, p. 78.

²⁶ VILLALOBOS, M.; WARD, D. Lived Experience and Cognitive Science Reappraising Enactivism's Jonsonian Turn. *Constructivist Foundations*, v. 11, n. 2, p. 802-810, 2016.

²⁷ BECKMANN, *An Alternative to Cognitivism: Computational Phenomenology for Deep Learning*, p. 398.

²⁸ VILLALOBOS, WARD, *Lived Experience and Cognitive Science Reappraising Enactivism's Jonsonian Turn*, p. 802.

diferenças e críticas frente à virada jonasiana do EV. O ponto é que a filosofia da biologia de Jonas não é compatível com a ciência biológica e com as ciências cognitivas.

Vejam os em que sentido a TAM se distingue tanto da teoria representacional da cognição como do enativismo jonasiano. A teoria representacional da cognição se encontra fundada na concepção de processos cognitivos como baseados em conteúdos mentais representacionais. No caso do cognitivismo, estas representações surgem como *sistemas simbólicos físicos*, já no caso do conexionismo, as representações são entendidas como *padrões emergentes* em sistemas complexos auto-organizados²⁹. O pensamento cognitivista não se limitou a descrever a cognição como fundada na representação, mas prolongou sua descrição representacional à computação natural. Newell & Simon³⁰ de modo claro apresentam o pensamento cognitivista em suas investigações sobre a ciência da computação como uma investigação empírica. Os autores entendem que cabe à Inteligência Artificial mostrar que sistemas simbólicos de processamento da informação são suficientes para gerar inteligência, em artefatos concebidos pelo ser humano. À Psicologia Cognitiva, postulam, cabe mostrar que processos cognitivos diversos na natureza existem necessariamente como sistemas simbólicos físicos. Para Newell & Simon todo e qualquer sistema inteligente é um sistema simbólico físico, incluso aqui não somente o ser humano, outros animais, mas também máquinas concebidas pelo ser humano. Para os autores as máquinas (humanas ou não) possuem *tokens*, os quais são instanciações (de um modo físico) dos símbolos que usamos em linguagens formais para definir as operações de diferentes tipos de máquinas.

A teoria autopoietica e enativa se constituiu como um importante ambiente de análise e crítica do representacionalismo. O movimento cognitivista endossou uma teoria representacional não somente da mente como também da computação natural. Todavia, análises não representacionais da computação em sistemas físicos ganharam força na retomada da descrição da computação como um conjunto de operações e não como processamento de representações. Destacamos David Chalmers³¹ para quem o conceito de representação física do cognitivismo pode ser eliminado. Em sua defesa, a computação natural é suficiente para a cognição, mas a pesquisa se desenvolve na área da ciência cognitiva computacional no sentido de encontrar o tipo certo de estrutura computacional que é suficiente para possuir um tipo ou outro de mente. A teoria computacional da mente sem representação em Chalmers entende que tanto a computação quanto a cognição não precisam do conceito de sistema simbólico físico. Assim a caracterização de um sistema de computação passa, para ele, pela especificação da organização da máquina, a qual define seu modo de funcionamento no ambiente. Ele entende que essa descrição se beneficia do uso de linguagens formais.

Outros vieram a acrescentar certas reflexões ao pensamento geral de Chalmers. Piccinini³² entende que a individuação da organização da maquinaria de computação assim como a especificação de suas propriedades funcionais depende de certos mecanismos, os quais são descritos pela teoria da computação, com destaque para a definição da máquina de Turing. Piccinini³³ mantém o pensamento de que uma explanação mecanicista não representacional (sem conteúdo semântico) é suficiente para caracterizar a computação em sistemas físicos. O conceito de conteúdo representacional torna-se dispensável diz o autor quando a teoria da

²⁹ VARELA, F. J.; THOMPSON, E.; ROSCH, E. *A mente corpórea: ciência cognitiva e experiência humana*. Lisboa: Instituto Piaget, p. 121-143, 2001.

³⁰ NEWELL, A.; SIMON, H. Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search. *Communications of the ACM*, v. 19, n. 3, 1976, p. 113-126.

³¹ CHALMERS, D. A. Computational Foundation for the Study of Cognition. *Journal of Cognitive Science*, v. 12, n. 4, p. 323-357, 2011.

³² PICCININI, G. Computation without representation. *Philosophical Studies*, v. 137, n. 2, p. 205-241, 2008.

³³ PICCININI, G. *Physical computation: A mechanistic account*. Oxford: Oxford University Press, 2015.

computação oferece uma descrição suficientemente boa para se conceber mecanismos de computação em sistemas físicos. À engenharia da computação cabe pensar sobre os componentes relevantes para instanciar os dispositivos formalmente descritos, entende Piccinini. Para nosso propósito aqui o ponto central é que Piccinini defende que podemos descrever sistemas físicos de computação como um mecanismo organizado funcionalmente, para manipular o que chamou de “veículos independentes do meio” (dispositivos invariantes ao meio). Em máquinas de computação construídas pelo ser humano, esses veículos são construídos como dispositivos físicos seguindo regras descritas na definição formal da máquina.

Em nosso entendimento, o pensamento de Piccinini tende a supervalorizar a funcionalidade, chamando sua teoria de uma visão funcional da individuação computacional. O ponto forte de seu pensamento é entender que um sistema de computação não é um sistema de instanciação de símbolos físicos, mas a descrição formal e a construção de um dispositivo que age conforme descreve a regra formal na definição da máquina.

Consideramos que o entendimento organizacional e funcional da maquinaria computacional é mais bem descrito nos trabalhos de Villalobos & Dewhurst, a partir dos conceitos de fechamento organizacional e fechamento funcional, que vêm da teoria autopoietica e enativa. Vamos nos aprofundar em alguns aspectos destes textos nas próximas seções. Villalobos & Dewhurst³⁴ apresentaram a máquina de Turing como um sistema funcionalmente fechado. Em um texto posterior³⁵, eles defendem que pelo fechamento organizacional e funcional dos sistemas de computação é possível explanar sobre a autonomia enativa também em sistemas computacionais não vivos.

O presente ensaio vem somar força a uma defesa anterior³⁶ de que sistemas computacionais são organizacionalmente e funcionalmente fechados. Argumentamos que fundada na ação, a computação encontra os meios de ser seriamente investigada sob a perspectiva enativa. Entendemos que a desconstrução do representacionalismo na ciência da computação é hoje uma das tarefas mais importantes da conclusão da dissolução do cognitivismo em ciências cognitivas. Isso não impede que defensores de teorias representacionais ou antimecanicistas da mente contra-argumentem, fazendo o tema ser de grande relevância. Se pelo lado do cognitivismo e do conexionismo críticas à TAM advêm de uma interpretação representacional e encefálica da computação, por outro lado as críticas chegam do antimecanicismo adotado por vários grupos de enativistas. Villalobos & Ward³⁷ destacam que após a substituição do pensamento de Merleau-Ponty no EV, ainda fortemente presente na obra de Varela, Thompson & Rosch³⁸, pela influência do pensamento jonasiano, ocorre uma violação do domínio da natureza pelo antropomorfismo. Segundo os autores, o ponto chave é que o EV se encontra em uma grande dificuldade, a de compatibilizar uma biologia filosófica, baseada no conceito de propósito de Hans Jonas, com a biologia científica, com as ciências cognitivas e os princípios das ciências naturais.

A partir da TAM e deixando suficientemente claro seu tipo de engajamento mecanicista, nosso objetivo aqui não é estabelecer uma análise sobre os diferentes tipos de enativismo,

³⁴ VILLALOBOS, M.; DEWHURST, J. Computationalism, Enactivism, and Cognition: Turing machines as functionally closed systems. *AIC (2016)*, p. 138-147, 2016.

³⁵ VILLALOBOS, M.; DEWHURST, J. Enactive autonomy in computational systems. *Syntese*, v. 195, n. 5, p. 1891-1908, 2018.

³⁶ CARVALHO, KOGLER. *The enactive computational basis of cognition and the explanatory cognitive basis for computing*, p. 96-103.

³⁷ VILLALOBOS, WARD, *Lived Experience and Cognitive Science Reappraising Enactivism's Jonasian Turn*. p. 802.

³⁸ VARELA, THOMPSON, ROSCH, *A mente corpórea: ciência cognitiva e experiência humana*, p. 15.

cognição corpórea, autopoietica, situada e estendida, mas de propor uma *Máquina de Turing Enativa* como uma maquinaria experiencial, isto é, como um mecanismo explicativo (experiencial-operacional) capaz de *gerar* o fenômeno da autoconsciência. Vamos dar continuidade então a partir da próxima seção pela explanação da MT como uma maquinaria experiencial, partindo da análise fenomenológica do ato de calcular no texto de Turing de 1936.

2. Uma análise fenomenológica do ato de calcular

A modelagem matemática usando a teoria dos sistemas dinâmicos é considerada de grande importância em Varela³⁹, assim como a modelagem computacional da máquina autopoietica⁴⁰ e enativa⁴¹. Todavia, o que propuseram Roy *et al.*⁴² e Gallagher & Zahavi⁴³ traz importantes considerações. Eles entendem que descrições fenomenológicas voltadas para suas próprias experiências ou a de outros, somente são possíveis de naturalização se antes puderem ser formalizadas. A matemática é em Roy *et al.* um instrumento de naturalização da fenomenologia. Nós preferimos aqui usar o termo lógica-matemática (ou ainda o termo *linguagem formal*) para caracterizar esse instrumento de naturalização. Neste sentido, uma linguagem formal possui um papel integrador de dados fenomenológicos, ora obtidos pela descrição da experiência vivida e ora a partir da experimentação⁴⁴.

A formalização enquanto instrumento de naturalização da fenomenologia é um passo fundamental na concepção de mecanismos explicativos. O exemplo que queremos dar é o do surgimento da MT. Bruno Loff⁴⁵ aponta uma análise fenomenológica do ato de calcular na base da concepção da maquinaria computacional, realizada pelo próprio Turing⁴⁶. Turing aborda o problema de *decidir* se todos os números que nos parecem comumente como *computáveis*⁴⁷ podem ser computados por uma máquina (uma linguagem formal detalhando *as operações da computação humana* indispensáveis para a tomada de tal decisão). Loff entende que Turing apresentou três linhas de argumentação para abordar o problema dos números computáveis: 1) Demonstra que conjuntos de operações bastante sofisticados podem

³⁹ VARELA, F. J. *Principles of Biological Autonomy*. New York: Elsevier North Holland, 1979.

⁴⁰ VARELA, F. J.; MATURANA, H. R.; URIBE, R. Autopoiesis: The Organization of Living Systems, its characterization and model. *BioSystems*, v. 5, p. 187-196, 1974.

⁴¹ VARELA, THOMPSON, ROSCH, *A mente corpórea: ciência cognitiva e experiência humana*, p. 201.

⁴² ROY, PETITOT, PACHOUD, VARELA, *Beyond the gap: an introduction to naturalizing phenomenology*, p. 47.

⁴³ GALLAGHER, ZAHAVI, *The phenomenological mind: an introduction to philosophy of mind and cognitive science*, p. 32.

⁴⁴ Em neurofenomenologia estas considerações tomam um rumo compatível, mas diferente do que estamos descrevendo aqui com a finalidade de caracterizar as explicações gerativas e a concepção da MT como um de seus exemplos. Com a neurofenomenologia Varela visou estabelecer correlações de dados descritivos e experimentais, por exemplo de dados de ressonância magnética com dados de entrevistas de pessoas que passaram pelo escaneamento de suas atividades neuronais. Ao invés da atividade de realizar correlações, frisamos aqui a descrição de um mecanismo para gerar o fenômeno investigado.

⁴⁵ LOFF, B. A tese de Church-Turing. *Boletim da SPM*, v. 67, p. 61-78, 2012.

⁴⁶ TURING, A. M. On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, v. 42, n. 2, p. 230-265, 1936.

⁴⁷ O termo caracteriza a possibilidade do uso de um método que consiste em descrever um número finito de operações a se aplicar a um conjunto de estados para se chegar à solução de um problema ou classe de problemas. Em 1936, o termo *computável* não faz referência aos processos ou operações de dispositivos ou aparelhos concebidos pelo ser humano, mas a um ato de calcular realizado por seres humanos, em especial, matemáticos.

ser realizados numa MT; 2) Demonstra a equivalência entre a MT e o cálculo- λ ⁴⁸; 3) Apresenta uma análise fenomenológica do ato de cálculo.

Na minha opinião, esta terceira linha de argumentação é aquela que melhor justifica a máquina de Turing e a tese de Church–Turing. Com efeito, esta argumentação explica porque é que a máquina de Turing é um modelo natural de computação, e como a definição formal de máquina de Turing surge, muito naturalmente, a partir de uma análise rigorosa do cálculo tal como um ser humano o faz.⁴⁹

Concordamos com Loff e acrescentamos que isso ocorre pois Turing está envolvido em uma atividade de concepção de um mecanismo explicativo o qual é experiencial e operacional. Loff nos chama a atenção para o seguinte trecho do texto de Turing. Vejamos nele como a partir da descrição da experiência do ato de calcular surgem de forma bem espontânea elementos da definição formal da máquina de Turing.

Normalmente, um cálculo é feito escrevendo certos símbolos em papel. Podemos supor que este papel está dividido em quadrículas como num caderno escolar de aritmética. Em aritmética elementar faz-se, por vezes, uso do carácter bidimensional do papel quadriculado. Mas é sempre possível evitar tal uso, [...] assumirei que o cálculo é feito num pedaço de papel unidimensional [...]. Vou também assumir que o número de símbolos que podem ser impressos é finito. O efeito desta restrição do número de símbolos não é muito grave. É sempre possível utilizar uma sequência de símbolos no lugar de um símbolo.⁵⁰

A descrição do ato de calcular por Turing consiste em dizer resumidamente que os comportamentos do matemático consistem em observar símbolos no papel e escrever tantos outros. A pessoa está diretamente consciente, diz ele. Ele descreve que a pessoa está neste momento em certo estado mental e que a memória humana é bem limitada. Ele então compreende que; “*The behavior of the computer at any moment is determined by the symbols which he is observing, and his ‘state of mind’ at that moment.*”⁵¹. Para ele o escopo de observação do computador humano é limitado e para ir além é necessário fazer observações sucessivas sobre as quadrículas do caderno (observando a direita ou a esquerda, por exemplo). Diz também que para isso o ser humano necessita apenas de um número finito de estados mentais. Para a concepção de sua máquina, Alan Turing diz que estas operações envolvem tudo o que é indispensável para a computação de um número, mesmo que possam parecer “operações simples”. Defendemos que a concepção da MT, como abstração da descrição do ato de calcular é um exemplo de formalização a partir do domínio fenomenológico. A MT é um mecanismo explicativo da autodescrição ou autoconsciência. Entendemos que a própria máquina de Turing, em sua concepção foi fruto de uma integração formal⁵².

⁴⁸ Uma série de linguagens formais se mostraram equivalentes à máquina de Turing, formando uma classe de equivalência. A tese de Church-Turing pode ser assim enunciada; “Toda função que pode ser calculada por um procedimento finito pode também ser computada por uma máquina de Turing.” (VIEIRA, J. N. *Introdução aos fundamentos da computação: linguagens e máquinas*. São Paulo: Cengage Learning, 2015 [2006], p. 252).

⁴⁹ LOFF, *A tese de Church-Turing*, p. 71.

⁵⁰ TURING, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, p. 249. (Optamos por transcrever aqui a tradução de LOFF, *A tese de Church-Turing*, p. 71.)

⁵¹ TURING, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, p. 250.

⁵² GALLAGHER, ZAHAVI, *The phenomenological mind: an introduction to philosophy of mind and cognitive science*, p. 32.

A integração formal se inicia quando Turing elabora a definição de sua máquina universal a partir da descrição de como ele mesmo resolve problemas de computação, compreendendo que modifica seus estados mentais ao ler e escrever símbolos em um papel. Nesta etapa, passamos da descrição em primeira pessoa do ato de calcular para uma linguagem formal. Enquanto linguagem formal, a máquina de Turing permite então transformar conceitos diversos⁵³ em sequências de operações e escrevê-las em linguagem de programação. Esse procedimento permite gerar em máquinas fisicamente instanciadas a diversidade do fenômeno computacional antes somente teoricamente concebido. A integração entre a descrição fenomenológica com a ciência experimental se conclui em nosso exemplo quando se torna possível a inteligência da maquinaria computacional concreta ser avaliada a partir de um conjunto de dados de terceira pessoa e em um procedimento experimental.

3. A máquina de Turing como modelo não representacional da computação humana

O lugar dos símbolos é no ambiente, no papel no caso da descrição do ato de calcular realizada por Turing⁵⁴. Na máquina de Turing (MT) estados mentais não representam estímulos, nem são estímulos discriminativos. As observações não são analisadas em termos cognitivistas, elas não são decompostas em estímulo ambiental e representação mental. Um outro ponto fundamental para Turing é a indissociabilidade entre percepção, ação e estado mental. O discurso do processamento da informação apresenta uma sequência aberta⁵⁵, iniciando-se pela *entrada* (“input”), passando pelo processamento lógico-matemático da expressão de símbolos (as quais nesta abordagem podem representar objetos externos) e finalizando com uma *saída* (“output”). Cabe aqui à estrutura de símbolos físicos o processamento⁵⁶. Ora, é muito comum na literatura a atribuição deste modo de funcionamento à MT⁵⁷, todavia, defendemos que essa atribuição não é verdadeira.

Alan Turing pensou a relação envolvendo percepção, ação no ambiente e alterações de estados mentais em uma única função. A partir da notação de Vieira⁵⁸, a função de transição da MT pode ser escrita como $\delta : Q \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{E, D\}$, onde Q é o conjunto de estados da máquina, Γ é o conjunto de símbolos que aparecem na fita quadriculada e $\{E, D\}$ são as possibilidades de sucessivas observações, no caso à esquerda ou à direita. Uma transição $\delta(q, a) = [q', b, d]$, sendo $d \in \{E, D\}$, significa que o computador humano observa a , transita do estado mental q para o estado mental q' , no lugar de a ele escreve b e passa a observar a quadrícula a direita, no caso de $d = D$. Neste sentido podemos ir de um par ordenado [estado mental, símbolos no papel] para outro par ordenado [estado mental, símbolos no papel]. Em Turing o modelo percepção – pensamento – ação⁵⁹ não é válido, visto que em seu modelo não há percepção ou pensamento sem ação no ambiente. Assim não se tem uma etapa primeira de percepção, seguida de processamentos destas percepções para resultar em seguida em uma

⁵³ Um exemplo pode ser um problema simples. Por exemplo, gerar um mecanismo generativo que continue até 100 a sequência 1, 2, 3, 5, 8, 13.

⁵⁴ TURING, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, p. 250.

⁵⁵ VILLALOBOS, DEWHURST, *Computationalism, Enactivism, and Cognition: Turing machines as functionally closed systems*, p. 142.

⁵⁶ NEWELL, SIMON, *Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search*, p. 116.

⁵⁷ BECKMANN, KÖSTNER, HIPÓLITO, *An Alternative to Cognitivism: Computational Phenomenology for Deep Learning*, p. 398.

⁵⁸ VIEIRA, *Introdução aos fundamentos da computação: linguagens e máquinas*, p. 215-216.

⁵⁹ Para detalhamento da abordagem de processamento da informação ver Eysenck & Keane quando apresentam o modelo *serial*: ESTÍMULO → Atenção → Percepção → Processamento de pensamentos → Decisão → RESPOSTA OU AÇÃO (EYSENCK, KEANE, *Manual de Psicologia Cognitiva*, p. 2).

ação em uma MT. Na descrição da maquinaria computacional, Turing⁶⁰ (grifos do autor) diz: “*We may compare a man in the process of computing a real number to a machine which is only capable of a finite number of conditions q_1, q_2, \dots, q_n which will be called ‘m-configurations’*”. A máquina computacional transita de uma configuração para a outra pois uma configuração q “puxa” a outra ao observar o ambiente e agir sobre ele, modificando seu estado. “*The possible behaviour of the machine at any moment is determined by the m-configuration q_n , and the scanned symbol $\mathfrak{S}(r)$* .”⁶¹ Um comportamento b é então sempre o resultado de uma observação a e de um estado e da máquina⁶². Novamente, um estado mental não possui papel algum de representação de símbolos no ambiente. Uma MT pode construir uma memória usando seu ambiente (a fita quadriculada), constituindo o que se pode chamar de uma forma de memória estendida ou um nicho.

Villalobos e Dewhurst entendem que uma instanciação da máquina de Turing (um aparelho computacional qualquer) pode ser interpretada como um autômato *atuando* em um ambiente. O ambiente é visto por eles como a fita quadriculada da MT. Os autores argumentam que todas as propriedades cognitivas advêm do fechamento funcional do autômato no meio⁶³. A máquina passa a agir determinada por um ambiente que ela mesma é capaz de modificar. A atuação de uma MT concreta leva os autores a caracterizá-la como um *autômato enativo*⁶⁴, efetivamente operando no meio a partir de suas configurações, sem conteúdo representacional algum. Eles⁶⁵ defendem então que é possível para sistemas computacionais concretos exibir o tipo de autonomia descrita pelo mecanismo do enativismo clássico, visto que a máquina de Turing pode ser descrita como operacionalmente e funcionalmente fechada.

Nossa argumentação aqui vai no sentido de dizer que a máquina proposta por Maturana & Varela (MMV) e defendida por eles em tantas contribuições é equivalente à máquina de Turing, sendo ambas descritas aqui como mecanismos explicativos (experienciais-operacionais). Vejamos na seção seguinte a MMV como um mecanismo explicativo do fenômeno de autodescrição ou autoconsciência. Mais adiante vamos propor a MT como formalismo da MMV e a MTE como uma interpretação enativa da MT.

4. A máquina de Maturana & Varela como mecanismo explicativo da autoconsciência

De acordo com Maturana & Varela⁶⁶ a máquina autopoietica é um mecanismo explicativo, o qual envolve uma descrição do observador que passa então a identificar na experiência as operações envolvidas no fenômeno investigado. Tal como Turing⁶⁷, os autores estão visando a concepção de um modelo gerativo para um fenômeno do qual eles mesmos fazem parte. Neste

⁶⁰ TURING, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, p. 231.

⁶¹ *Ibid.*

⁶² Turing também prevê máquinas não determinísticas. Ele descreve que para certos usos podemos pensar em “*choice machines*”. Ele nota que o comportamento destas máquinas é apenas parcialmente determinado por suas configurações. A saber que formalmente para toda MT não-determinística é possível se conceber uma MT determinística. (TURING, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, p. 232, 252)

⁶³ VILLALOBOS, DEWHURST, *Computationalism, Enactivism, and Cognition: Turing machines as functionally closed systems*, p. 145.

⁶⁴ DEWHURST, J.; VILLALOBOS, M. The Enactive Automaton as a Computing Mechanism. *Thought*, 2017. ISSN 2161-2234. DOI 10.1002/tht3.247

⁶⁵ VILLALOBOS, DEWHURST, *Enactive autonomy in computational systems*, p. 1900.

⁶⁶ MATURANA, VARELA, *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*, p. 239.

⁶⁷ TURING, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, p. 249.

sentido dizemos que ambos, Maturana & Varela, mas também Turing, se dedicaram à concepção de maquinarias experienciais.

Para Maturana & Varela⁶⁸, a investigação se volta para os fenômenos biológicos básicos, para a definição do que vem a ser um sistema vivo e como ele evolui. Em um primeiro momento visam definir um corpo vivo como uma máquina autopoietica e em seguida o modo de interação do sistema vivo como o meio, através do conceito de acoplamento estrutural. Alguns pontos são importantes de serem esclarecidos. Os sistemas vivos são abertos ao fluxo de matéria e energia. A característica central de um sistema autopoietico está exatamente em controlar esse fluxo por meio da produção de suas bordas, de seus limites com o ambiente, mantendo a própria topologia do sistema (sua organização ou configuração). A máquina autopoietica é capaz ainda de produzir componentes que são fundamentais para que seu processo de autoprodução seja perene em certo nicho⁶⁹.

Segundo Maturana⁷⁰, “sistemas vivos são fechados em sua dinâmica de estados”. Se para Turing⁷¹ os estados da máquina são descritos como estados mentais, em Maturana & Varela as mudanças de estado⁷² são descritas como mudanças estruturais da máquina. Não obstante, o organismo opera como um todo, como uma unidade discreta. A estrutura da máquina autopoietica é descrita como uma dinâmica de estados discretos, seja ela uma célula⁷³ ou um organismo multicelular (como um elefante ou um ser humano)⁷⁴. Argumentaremos mais adiante que a noção de “dinâmica de estados” em Maturana & Varela pode ser abordada pela atualização de estados nas configurações da máquina em Turing. Entendemos aqui que esta é uma característica importante da mente na vida na perspectiva da máquina de Turing Enativa, visto que pela aproximação do uso do conceito de *estado* nos autores avançamos sobre uma perspectiva corpórea da mente. Para o momento é preciso entender que a máquina autopoietica é descrita como um sistema fechado em sua dinâmica de estados (auto-organizado), onde uma configuração puxa a outra, mantendo ou perdendo sua organização na interação com o ambiente. Nas palavras de Maturana⁷⁵; “[...] as interações do sistema vivo com o meio desencadeiam nele mudanças estruturais em sua composição que resultam, por sua vez, em mudanças na configuração do sistema vivo como uma totalidade [...]”. Destacamos que neste trecho o próprio Maturana utiliza o termo *configuração*.

A proximidade da máquina autopoietica e da máquina de Turing é notável. Podemos dizer que a máquina de Turing nada mais é do que um autômato enativo. Com efeito, lemos Maturana & Varela com um olhar voltado para a máquina de Turing, no entendimento de que os autores descrevem uma relação isomórfica àquela descrita por Turing⁷⁶.

É indispensável entender os domínios explicativos, a independência dos domínios de existência da máquina autopoietica. Maturana⁷⁷, Maturana & Varela⁷⁸, Maturana & Varela⁷⁹,

⁶⁸ MATURANA, VARELA, *Autopoiesis: the organization of the living*, p. 88-95.

⁶⁹ MATURANA, VARELA, *Autopoiesis: the organization of the living*, p. 90-93.

⁷⁰ MATURANA, H. R. *Cognição, Ciência e Vida Cotidiana*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001, p. 175.

⁷¹ TURING, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, p. 250.

⁷² MATURANA, VARELA. *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*, p. 97-98.

⁷³ *Ibid.*, p. 85.

⁷⁴ MATURANA, *Cognição, Ciência e Vida Cotidiana*, p. 177.

⁷⁵ *Ibid.*

⁷⁶ CARVALHO, KOGLER. *The enactive computational basis of cognition and the explanatory cognitive basis for computing*, p. 100.

⁷⁷ MATURANA, *Biology of cognition*, p. 9.

⁷⁸ MATURANA & VARELA, *Autopoiesis: the organization of the living*, p. 96-100; 107-111.

⁷⁹ MATURANA & VARELA, *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*, p. 175-76.

Maturana & Mpodozis⁸⁰, Maturana⁸¹ e Maturana⁸² entendem que é indispensável pensar em dois domínios distintos, que, portanto, não se intersectam para explicar a existência do ser vivo no meio. No domínio fisiológico o sistema autopoietico molecular encontra seu fechamento, isto é, o sistema vivo existe nas operações de seus componentes que são capazes de produzir e manter seu próprio sistema molecular. O domínio do comportamento é o da construção de um nicho pela modificação do meio pelas condutas do ser vivo e pela modificação do ser vivo pelas perturbações do meio. Como estas modificações são estruturais, os autores dizem que o que chamamos de comportamento é a interação que ocorre entre a dinâmica estrutural do ser vivo e a dinâmica estrutural do meio. Estes dois domínios são disjuntos, não se intersectam, mas não existem isoladamente um do outro, visto que o domínio do comportamento tem como condição necessária o fechamento organizacional do sistema vivo, a formação de uma unidade: “*So, the physiology involves the dynamic structure of living system only, while the behavior involves both the dynamic structure of the living system and the dynamic structure of the medium in the niche.*”⁸³ Não se trata de uma relação serial entre domínios, mas do envolvimento no domínio do comportamento do domínio da fisiologia.

Assim como na máquina de Turing, onde uma configuração, dotada de um [estado, ambiente] leva a outra configuração [estado, ambiente], a configuração da máquina de Maturana & Varela dá sucessão a outra configuração sob a forma [dinâmica fechada de estados, meio] † [dinâmica fechada de estados, meio]. Maturana & Varela⁸⁴ e Maturana & Varela⁸⁵ descrevem essa dinâmica de configurações sucessivas em sistemas vivos como a deriva de estruturas ontogênicas. Assim um sistema vivo qualquer se encontra a deriva, entrando em um ciclo onde a cada etapa seu comportamento é determinado pela atual configuração da máquina, pela dinâmica de estados e pelo meio, sendo que o meio pode ser modificado em cada etapa do ciclo, assim como o meio. Observamos essa interação e a descrevemos como comportamento da máquina. Esse ciclo se encerra com a morte do ser vivo. Mas até este momento de desaparecimento o que se observa é que o organismo e o meio conservam uma congruência estrutural dinâmica.

Varela, Thompson & Rosch⁸⁶ se dedicam ao conceito de enação / actuação, tomando como base um primeiro modelo computacional apresentado por Varela, Maturana & Uribe⁸⁷ e que Maturana & Mpodozis⁸⁸ continuam a descrever como a deriva da estrutura ontogênica. Os conceitos vieram a ser refinados por diversos autores, com diferentes influências filosóficas. Destacamos aqui as argumentações e contra-argumentações de Villalobos & Dewhurst⁸⁹, Villalobos & Ward⁹⁰ e Dewhurst & Villalobos⁹¹ de que a enação pode ser caracterizada a

⁸⁰ MATURANA, H. R.; MPODOZIS, J. The origin of species by means of natural drift. *Revista Chilena de Historia Natural*, v. 73, p. 261-301, 2000.

⁸¹ MATURANA, *Cognição, Ciência e Vida Cotidiana*, p. 62.

⁸² MATURANA, H. R. Confusion of reflective domains? *Constructivist Foundations*, v. 11, n. 2, p. 213–214, 2016.

⁸³ MATURANA, MPODOZIS, *The origin of species by means of natural drift*, p. 275.

⁸⁴ MATURANA, VARELA, *Autopoiesis: the organization of the living*, p. 102-107.

⁸⁵ MATURANA, VARELA, *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*, p. 93.

⁸⁶ VARELA, THOMPSON, ROSCH, *A mente corpórea: ciência cognitiva e experiência humana*, p. 195.

⁸⁷ VARELA, MATURANA, URIBE, *Autopoiesis: The Organization of Living Systems, its characterization and model*, p. 189.

⁸⁸ MATURANA, MPODOZIS, *The origin of species by means of natural drift*, p. 275.

⁸⁹ VILLALOBOS, DEWHURST, *Computationalism, Enactivism, and Cognition: Turing machines as functionally closed systems*, p. 140-141.

⁹⁰ VILLALOBOS, WARD, *Lived Experience and Cognitive Science Reappraising Enactivism's Jonasian Turn*, p. 204-212.

⁹¹ DEWHURST, VILLALOBOS, *The Enactive Automaton as a Computing Mechanism*, p. 1.

partir do fechamento organizacional do ser vivo e de um fechamento funcional do organismo com o meio, inclusive podendo ser modelada por um mecanismo computacional. É nesta dinâmica do fechamento funcional que o ser humano encontra em meio social um espaço psicológico⁹², no qual por coordenações comportamentais recursivas faz emergir um espaço psicológico linguístico, donde a capacidade humana de autodescrição ou autoconsciência, sendo no domínio linguístico possível ainda o uso da linguagem formal como mais um passo recursivo.

A modelagem matemática usando a teoria dos sistemas dinâmicos é considerada de grande importância em Varela⁹³, assim como a modelagem computacional da máquina autopoietica. Para Varela, Maturana & Uribe⁹⁴ o modelo mínimo da máquina autopoietica é um mecanismo explicativo de sistemas vivos, que os autores propuseram usando autômatos celulares. Melhorando este modelo, Varela, Thompson e Rosch⁹⁵ apresentam o Bittorio como um modelo computacional também baseado em autômatos celulares com a finalidade de avaliar a capacidade de um sistema complexo *atuar* um mundo. Para os autores o acoplamento estrutural posto em prática na programação do simples autômato celular é suficiente para fazer emergir significado na relação da rede complexa do autômato celular com o meio no qual atua. “[...] o Bittorio, na base da sua autonomia (fechamento), executa uma interpretação no sentido de que selecciona ou produz um domínio de significação a partir do pano de fundo do seu meio aleatório.”⁹⁶ Como notam Dewhurst & Villalobos⁹⁷, o Bittorio é o modelo central da teoria enativa da cognição apresentada pelos autores e por eles qualificado como um mecanismo computacional não-representacional.

Nossa intenção aqui não é a de dizer que certas instanciações da MT podem ser explicadas como um autômato enativo⁹⁸ ou que podemos conceber modelos computacionais para gerar sistemas autopoieticos⁹⁹ ou enativos¹⁰⁰, mas de dizer que existe um isomorfismo (equivalência de definições) entre a MMV e a MT. O isomorfismo não se limita somente à função de transição, mas se prolonga sobre as configurações das máquinas e sobre o modo como uma configuração promulga ou origina outra.

5. A máquina de Turing Enativa

A máquina de Turing Enativa (MTE) é proposta aqui como um modelo do conceito de maquinaria experiencial, ela surge a partir da modelagem da MMV pela MT e acompanha uma completa reinterpretação da MT a partir da teoria enativa e autopoietica de Maturana e Varela. A MTE não é um simples modelo de simulação ou emulação computacional da autopoiese ou da enação, visto que se trata de uma definição equivalente à da MT. Assim não

⁹² VILLALOBOS, WARD, *Lived Experience and Cognitive Science Reappraising Enactivism's Jonsonian Turn*, p. 807.

⁹³ VARELA, *Principles of Biological Autonomy*, p. 19-29.

⁹⁴ VARELA, MATURANA, URIBE, *Autopoiesis: The Organization of Living Systems, its characterization and model*, p. 189.

⁹⁵ VARELA, THOMPSON, ROSCH, *A mente corpórea: ciência cognitiva e experiência humana*, p. 201.

⁹⁶ *Ibid.*, p. 205.

⁹⁷ DEWHURST, VILLALOBOS, *The Enactive Automaton as a Computing Mechanism*, p. 7.

⁹⁸ *Ibid.*

⁹⁹ VARELA, MATURANA, URIBE, *Autopoiesis: The Organization of Living Systems, its characterization and model*, p. 189.

¹⁰⁰ VARELA, THOMPSON, ROSCH, *A mente corpórea: ciência cognitiva e experiência humana*, p. 201.

diremos mais que o autômato enativo é um caso de mecanismo computacional¹⁰¹ ou que instanciações da máquina de Turing podem ser explicadas pelos critérios de fechamento organizacional e funcional¹⁰², mas que as definições da MMV e da MT são equivalentes.

A MTE está essencialmente concebida sobre os conceitos de fechamento organizacional e funcional. A enação, vista pelos conceitos de fechamento organizacional e funcional, reduz e elimina a necessidade de representações materiais para individuação de estados da máquina¹⁰³. Podemos dizer ainda, como Piccinini¹⁰⁴, que a especificação de propriedades funcionais (processos) pelo mecanismo explicativo não faz apelo a qualquer propriedade semântica.¹⁰⁵ Como anteriormente discutido, os conceitos de fechamento organizacional e fechamento funcional constituem o mecanismo principal da MMV, uma máquina não-representacional. O *autômato enativo*¹⁰⁶ descrito por Varela *et al.*¹⁰⁷ é apresentado pelos autores como um mecanismo computacional não representacional de sistemas cognitivos.

A MTE segue a teoria de que a computação não necessita de representações¹⁰⁸. A computação natural pode ser vista não a partir de símbolos materiais, mas na ação de unidades discretas, no fechamento organizacional e funcional de sistemas naturais¹⁰⁹. Concordamos com Villalobos & Dewhurst¹¹⁰ de que não existem bons critérios de incompatibilidade entre sistemas de computação e sistemas enativos. “*The physically Turing machine provides a conveniently simple case with which to illustrate functional closure, but the point generalizes to any computing mechanism whose interaction with the environment demonstrates the same kind of functional dynamics.*”¹¹¹ Em um segundo momento os autores percebem que a MT não apenas é funcionalmente fechada como também organizacionalmente (operacionalmente) fechada, o que abre as portas para se considerar o mecanismo de autonomia defendido em teoria enativa também em sistemas computacionais. “*The two criteria that we will focus on are operational closure and structural determinism, and we will show that both can be applied to a basic example of a physically instantiated Turing machine.*”¹¹². Segundo os autores uma máquina de Turing concreta (um aparelho ou robô) possui os critérios enativos necessários para o desenvolvimento de sua autonomia. Mas a autonomia não é o único critério importante para caracterizar um sistema cognitivo. A dimensão fenomênica ou experiencial é igualmente importante¹¹³.

¹⁰¹ DEWHURST, VILLALOBOS, *The Enactive Automaton as a Computing Mechanism*, p. 7.

¹⁰² VILLALOBOS, DEWHURST, *Enactive autonomy in computational systems*, p. 1891.

¹⁰³ *Ibid.*, p. 1893.

¹⁰⁴ PICCININI, *Computation without representation*, p. 205.

¹⁰⁵ CARVALHO, L. L. A realização da mente: crítica da teoria enativa ao conceito de propriedade emergente. In TOLEDO, G. L.; GOUVEA, R. A. S.; ALVES, M.A.S. *Debates Contemporâneos em Filosofia da Mente*. São Paulo: FiloCzar, 2018, p. 113-129.

¹⁰⁶ DEWHURST, VILLALOBOS, *The Enactive Automaton as a Computing Mechanism*, p. 1.

¹⁰⁷ VARELA, THOMPSON, ROSCH, *A mente corpórea: ciência cognitiva e experiência humana*, p. 201.

¹⁰⁸ “*What about semantics? It will be noted that nothing in my account of computation and implementation invokes any semantic considerations, such as the representational content of internal states.*” (CHALMERS, *Computational Foundation for the Study of Cognition*, p. 329, grifos do autor).

¹⁰⁹ CARVALHO, KOGLER. *The enactive computational basis of cognition and the explanatory cognitive basis for computing*, p. 100.

¹¹⁰ VILLALOBOS, DEWHURST, *Computationalism, Enactivism, and Cognition: Turing machines as functionally closed systems*, p. 138.

¹¹¹ *Ibid.*, p. 146.

¹¹² VILLALOBOS, DEWHURST, *Enactive autonomy in computational systems*, p. 1891.

¹¹³ *Ibid.*, p. 1893.

Carvalho & Kogler¹¹⁴ entendem que existe uma equivalência entre a função de transição da máquina de Turing com os fechamentos da máquina de Maturana e Varela. Detalhando essa perspectiva, defendemos que o modelo de deriva da estrutura ontogênica de Maturana & Varela¹¹⁵ e Maturana & Mpodozis¹¹⁶ com o processo de computação da máquina de Turing possuem definições equivalentes, as quais foram geradas, todavia, a partir de fenômenos distintos de autodescrição. Maturana¹¹⁷ e Maturana & Varela¹¹⁸ partindo da fenomenologia da biologia, da observação de unidades autopoieticas estruturalmente acopladas, descrevem neste acoplamento mesmo o ato de autodescrição e autoconsciência. No caso de Turing, em seu texto de 1936, Loff¹¹⁹ argumenta que o autor realiza uma análise fenomenológica de seu próprio ato de calcular.

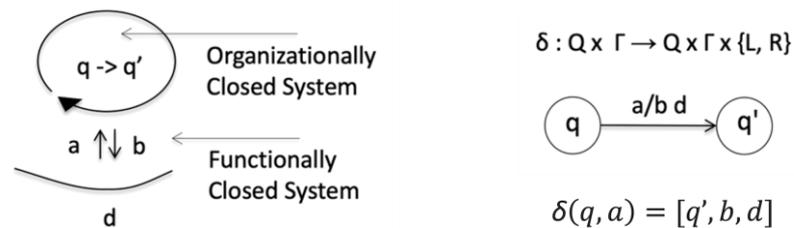


Figura 1: Equivalência da função de transição da máquina de Turing com o fechamento organizacional e funcional da máquina de Maturana & Varela.

Ambas as autodescrições se revelam a nossa observação possuir a mesma forma, descrevendo uma perturbação em uma configuração e uma modificação do meio. Essa estigmergia comum a ambas as máquinas foi assim descrita:

Carvalho (2019) argues that $\delta : Q \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, R\}$, the transition function, describes both, organizational and functional closure in computational systems and even in cognitive systems, which are just a kind of computational systems in the world. From this Q may represent a set of self-organized actions, where q is an action, $q \in Q$. Γ represents a set of behaviors (interactions), where a is a perturbation and b is an action over the environment. Finally, $d \in \{L, R\}$ represents the environment evolution (context).¹²⁰

O isomorfismo da função de transição da MT com o fechamento organizacional e funcional da MMV nos conduziu a uma série de engajamentos: 1) Formalmente, a máquina de Turing está baseada no princípio da enação (no fechamento funcional e organizacional); 2) Entendemos então a enação como uma perspectiva conceitual de investigação dos fundamentos da computação teórica e natural; 3) A maquinaria cognitiva é uma computação enativa mas nem todo sistema computacional enativo é um sistema vivo (nem todo

¹¹⁴ CARVALHO, KOGLER. *The enactive computational basis of cognition and the explanatory cognitive basis for computing*, p. 100.

¹¹⁵ MATURANA & VARELA, *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*, p. 175-76.

¹¹⁶ MATURANA, MPODOZIS, *The origin of species by means of natural drift*, p. 275.

¹¹⁷ MATURANA, *Biology of cognition*, p. 9.

¹¹⁸ MATURANA & VARELA, *Autopoiesis: the organization of the living*, p. 96-100; 107-111.

¹¹⁹ LOFF, *A tese de Church-Turing*, p. 71.

¹²⁰ CARVALHO, KOGLER. *The enactive computational basis of cognition and the explanatory cognitive basis for computing*, p. 100.

fechamento organizacional é do tipo autopoietico); 4) O uso da linguagem formal tem um papel indispensável nas investigações científicas na área de computação e cognição; 3) Computação é sobre ação, sobre o fechamento de um conjunto de operações em um ambiente (espaço de estados), não sobre símbolos materiais.¹²¹

Apresentamos aqui que os processos de computação descritos pelas configurações instantâneas¹²² ou *m-configurations*¹²³ são aspectos formais importantes da MT que precisavam ser mais bem descritos no sentido de caracterizar a equivalência dos processos de computação da MT com a deriva das estruturas ontogênicas, no aspecto formal da estrutura funcional comum a ambos os modelos. Uma descrição enativa das *m-configurations* é essencial para a definição do que estamos chamando de *Máquina de Turing Enativa* (MTE). A MTE é um mecanismo explicativo (experencial-operacional) que visa produzir o fenômeno investigado, no nosso caso, o fenômeno da autodescrição ou autoconsciência. Lembramos que para Turing¹²⁴ os estados da máquina são descritos como estados mentais. Em Maturana & Varela¹²⁵ o uso do termo estado faz referência à dinâmica de estados do fechamento operacional da máquina autopoietica, isto é, faz referência à organização ou *configuração* da unidade discreta.

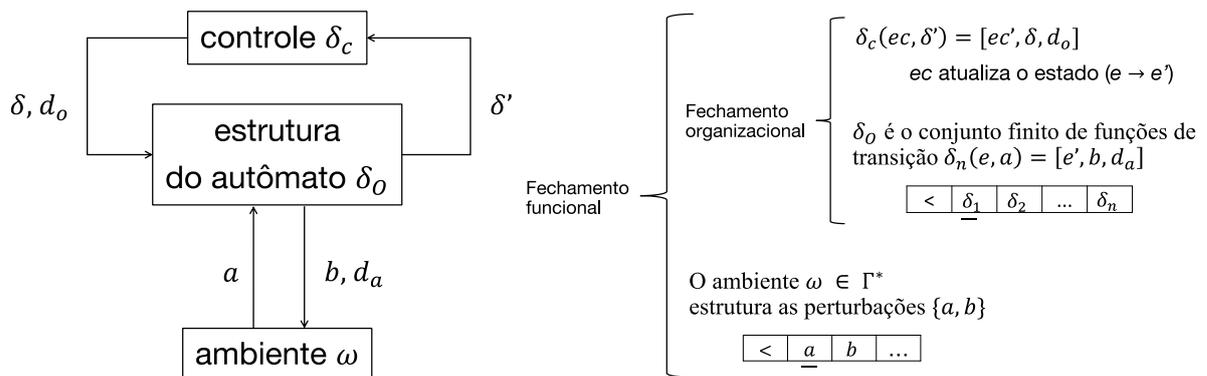


Figura 2: Arquitetura de uma máquina de Turing Enativa (MTE). Uma configuração da unidade discreta origina outra, $[e, x_{\underline{a}cy}] \vdash [e', x_{\underline{b}cy}]$ onde $\delta(e, a) = [e', b, \textit{Direita}]$, em um processo que permanece a deriva. O ambiente é indissociável da configuração da MTE.

O ambiente é descrito como uma palavra $\omega \in \Gamma^*$ que estrutura as perturbações, aqui sob notação binária; $\Sigma = \{a, b\}$. O ambiente se encontra hábil em realizar perturbações sob a estrutura do autômato δ_0 . δ_0 pode ser descrito como um conjunto finito de funções de transição sob a forma $\delta(e, a) = [e', b, d_a]$. Neste sentido, uma função $\delta_1 \in \delta_0$, indica a abertura da estrutura do autômato para perceber algo (a), agir sobre o ambiente modificando-o (b), o que leva a uma mudança de estado na máquina (e') e leva o ambiente a um novo modo de perturbação da estrutura do autômato, a qual chamamos de atualização do ambiente (d_a).

¹²¹ CARVALHO, L. L. Modeling enactive and autopoietic systems using Turing Machine: an enactivist point of view. In *Abstract Proceedings of the 11th International Meeting on Information, Knowledge and Action – Cognition and Modeling – EIICA 2021*, p. 30, 2023. ISBN 978-85-7045-071-5.

¹²² VIEIRA, *Introdução aos fundamentos da computação: linguagens e máquinas*, p. 216-2017.

¹²³ TURING, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, p. 231.

¹²⁴ TURING, *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, p. 250.

¹²⁵ MATURANA, VARELA. *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*, p. 97-98.

A MTE conta com uma estrutura de funções de transição, a qual define o autômato enativo. Dizemos então $\exists \delta: \text{Controle}(\delta)$. Do ponto de vista da teoria dos sistemas dinâmicos, na MTE predomina fortemente a *interação* entre as funções de transição de δ_0 . Todavia, a MTE mínima demanda pelo menos uma função δ_c . Esta é uma função de transição tal como qualquer outra, mas que está voltada para a própria organização da máquina. Neste sentido a função tem como argumentos de entrada δ' e um estado controle ec , retornando uma função δ . Esse é um passo importante para determinar qual função de transição de δ_0 comporá a configuração $\delta(e, a)$, isto é: $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$. A definição de uma δ_n ocorre quando dizemos que a função controle realiza a atualização da estrutura do autômato, a qual notamos d_o . Descrita como $\delta_c(ec, \delta') = [ec', \delta, d_o]$, o controle realiza um segundo fechamento operacional agora sobre os próprios processos de computação do autômato enativo. Entendemos que funções controle possuem um papel fundamental para levar a estruturada de um autômato enativo a condição de produção de seus próprios limites no meio.

Descrita pelos conceitos de fechamento organizacional e fechamento funcional, entendemos a MTE como equivalente à máquina de Turing. Ao propormos a MTE como uma máquina universal isso implica dizer que o modelo enativo torna-se assim mais um dentre tantos formalismos Turing-completo. Dizemos então que a maquinaria enativa e autopoiética é computacional, entendendo que a expressividade da MTE é a mesma descrita formalmente pela máquina de Turing, isto é, a da classe de linguagens recursivamente enumeráveis (LRE). A classe de LRE contém um número infinito de *palavras* (sequências de operações), de cardinalidade superior à de outras classes de linguagens (Recursivas, Sensíveis ao Contexto, Livres de Contexto, Regulares). Isso sinaliza que a capacidade de ação da MTE, com a mesma expressividade da MT, inclui também a possibilidade de ações contraditórias.

No modelo da MTE a experiência não se encontra em um estado interno da máquina, a experiência não está dentro de uma “caixa” passível de transmissão pela linguagem. A experiência está envolvida no processo em que uma configuração origina a outra, até que esse processo se encerre (caracterizando a morte do sistema). Argumentamos que essa é uma característica importante da mente na vida, mas também da vida na natureza, da realização da vida nos processos computacionais naturais. Procedendo pela formalização de ambas as descrições fenomenológicas, uma partindo da computação humana e a outra da descrição de sistemas vivos, chegamos a uma evidência formal de que configurações mentais são isomórficas¹²⁶ a configurações corpóreas na perspectiva da MTE. Enfatizamos então que pela análise formal chegamos também a indícios de que a mente é corpórea e mundana.

Entendemos que instanciações da MTE são capazes de gerar um domínio fenomênico próprio. Como diz Maturana¹²⁷, o problema do conceito de experiência é que ele traz normalmente um antropomorfismo com ele. O que propomos aqui é um remédio metodológico, este das explicações generativas. Ao partimos da elaboração de mecanismos explicativos, como a MTE, os quais se encontram na experiência, começamos a elaborar operações para explicar o fenômeno. Descrevemos então que foi isso que Turing fez ao analisar o fenômeno do ato de calcular para propor sua máquina universal. Foi partindo da fenomenologia da biologia que Maturana e Varela propuseram os sistemas vivos, não somente os seres humanos, como máquinas capazes de experiência. A experiência é descrita como integrante do processo de interação do organismo com o ambiente. A MTE se insere bem nesse sentido no pensamento da computação natural e na vida artificial.

¹²⁶ Visando evitar confusão conceitual, este é o único lugar do texto que o termo relativo a isomorfia é usado não como *definição equivalente*, mas como se usa em psicologia da *Gestalt*. O utilizamos nesta frase para descrever a hipótese de que as experiências constituem as formas ou configurações, a *totalidade* do funcionamento do sistema organizacionalmente fechado.

¹²⁷ MATURANA, *Confusion of reflective domains?*, p. 812.

De modo conclusivo, propomos aqui a máquina de Turing Enativa desconstruindo o representacionalismo em computação e entendendo a máquina autopoietica e enativa como uma MT. A computação natural, em uma perspectiva fenomenológica naturalizada, não nos parece deixar margem para se pensar que robôs, como instanciações da MT no mundo, existam em um mundo não experiencial, no quarto de *Mary*¹²⁸, onde teriam somente informações frias, operando representações simbólicas físicas sobre um mundo que não é o seu.

Conclusão

Nossa argumentação foi no sentido de dizer que a máquina proposta por Maturana & Varela e defendida por eles em tantas contribuições é equivalente à máquina de Turing, sendo ambas descritas aqui como maquinarias experienciais, mecanismos explicativos (experienciais-operacionais) visando gerar o fenômeno da autodescrição ou autoconsciência. Apresentamos a máquina de Turing Enativa visando dar à MT uma explanação enativa e autopoietica, afirmando a máquina como não-representacional, capaz de autonomia sob os critérios enativos para uso do termo e existindo no mundo em um domínio fenomênico, o que inclui a afetividade. Mostramos que o que nos levou a propor a MTE foi que a MT modela bem o mecanismo estruturo-funcional da MMV. Como resultado da equivalência entre as definições da MT e da MMV, obtivemos a MTE e argumentamos que como máquina universal ela possui a mesma expressividade da MT. Dissemos então que ambas, a MTE assim como a MT, se encontram limitadas à classe das linguagens recursivamente enumeráveis.

Nossa análise conclui que a máquina enativa é computacional e Turing-equivalente. O mesmo ocorre com diversas outras linguagens formais, como a Máquina de Turing Neural¹²⁹, as gramáticas generativas de Chomsky, sistemas de Post, funções μ -recursivas e cálculo- λ ¹³⁰. A dinâmica enativa e autopoietica vem sendo tradicionalmente descrita formalmente a partir da teoria dos sistemas dinâmicos, onde noções de *interação* são de destaque. Este é um ponto de grande relevância em teoria da computação e computação natural, como em computação neural, evolutiva, coletiva e outras.

Nos termos de uma MTE, tendemos a concordar com Beckmann *et al.*¹³¹. Entendemos que instanciações da MTE, por estarem funcionalmente e organizacionalmente fechadas no mundo, podem fazer emergir um domínio fenomênico. A MTE permite uma descrição de suas próprias configurações em termos de experiência de máquina. Não obstante, notamos que o reconhecimento de uma autoconsciência em uma máquina produzida pelo ser humano demanda a construção de uma MTE capaz de descrever sua própria experiência. Esta é uma tarefa difícil, mesmo para seres humanos, mas não a vemos como inviável para uma mente artificial.

¹²⁸ O quarto de *Mary* é um experimento mental que visa argumentar contra o fisicalismo, o entendimento de que a natureza é passível de completa descrição em termos físicos (JACKSON, F. Epiphenomenal Qualia. *Philosophical Quarterly*, v. 32, n. 127, p. 127-136, 1982.). A fenomenologia naturalizada defendida aqui é uma alternativa ao fisicalismo.

¹²⁹ GRAVES, A.; WAYNE, G.; DANIHELKA, I. Neural Turing Machines. *arXiv preprint*, v. 2, cs.NE, arXiv:1410.5401, dezembro 2014.

¹³⁰ VIEIRA, *Introdução aos fundamentos da computação: linguagens e máquinas*, p. 252.

¹³¹ BECKMANN, KÖSTNER, HIPÓLITO, *An Alternative to Cognitivism: Computational Phenomenology for Deep Learning*, p. 397.

Referências

- BECKMANN, P.; KÖSTNER, G.; HIPÓLITO, I. An Alternative to Cognitivism: Computational Phenomenology for Deep Learning. *Minds & Machines*, v. 33, p. 397–427, 2023.
- CARVALHO, L. L. A realização da mente: crítica da teoria enativa ao conceito de propriedade emergente. In TOLEDO, G. L.; GOUVEA, R. A. S.; ALVES, M.A.S. *Debates Contemporâneos em Filosofia da Mente*. São Paulo: FiloCzar, 2018, p. 113-129.
- CARVALHO, L. L. Modeling enactive and autopoietic systems using Turing Machine: an enactivist point of view. In *Abstract Proceedings of the 11th International Meeting on Information, Knowledge and Action – Cognition and Modeling – EIICA 2021*, p. 30, 2023. ISBN 978-85-7045-071-5.
- CARVALHO, L. L.; KOGLER, J. E. The enactive computational basis of cognition and the explanatory cognitive basis for computing. *Cognitive Systems Research*, v. 67, p. 96-103, junho 2021.
- CHALMERS, D. A. Computational Foundation for the Study of Cognition. *Journal of Cognitive Science*, v. 12, n. 4, p. 323-357, 2011.
- DEWHURST, J.; VILLALOBOS, M. The Enactive Automaton as a Computing Mechanism. *Thought*, 2017. ISSN 2161-2234. DOI 10.1002/tht3.247
- EYSENCK, M. W.; KEANE, M. T. *Manual de Psicologia Cognitiva*. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- GALLAGHER, S.; ZAHAVI, D. *The phenomenological mind: an introduction to philosophy of mind and cognitive science*. London and New York: Routledge, 2008.
- GRAVES, A.; WAYNE, G.; DANIHELKA, I. Neural Turing Machines. *arXiv preprint*, v. 2, cs.NE, arXiv:1410.5401, dezembro 2014.
- HOPCROFT, J. E.; ULLMAN, J. D.; MOTWANI, R. *Introdução à teoria de autômatos, linguagens e computação*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.
- JACKSON, F. Epiphenomenal Qualia. *Philosophical Quarterly*, v. 32, n. 127, p. 127-136, 1982.
- LOFF, B. A tese de Church-Turing. *Boletim da SPM*, v. 67, p. 61-78, 2012.
- MATURANA, H. R. Biology of cognition. In MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. (eds.) *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, p. 2-58, 1980 [1970].
- MATURANA, H. R. *Cognição, Ciência e Vida Cotidiana*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001.
- MATURANA, H. R. Confusion of reflective domains? *Constructivist Foundations*, v. 11, n. 2, p. 811–812, 2016.
- MATURANA, H. R.; MPODOZIS, J. The origin of species by means of natural drift. *Revista Chilena de Historia Natural*, v. 73, p. 261-301, 2000.
- MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, 1980.
- MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. Autopoiesis: the organization of the living. In MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. (eds.) *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company, p. 73-140, 1980 [1973].
- MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. Boston, MA: Shambhala Publications, 1987.
- NEWELL, A.; SIMON, H. Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search. *Communications of the ACM*, v. 19, n. 3, 1976, p. 113-126.
- PICCININI, G. Computation without representation. *Philosophical Studies*, v. 137, n. 2, p. 205-241, 2008.
- PICCININI, G. *Physical computation: A mechanistic account*. Oxford: Oxford University Press, 2015.
- ROY, J-M; PETITOT, J.; PACHOUD, B.; VARELA, F. J. Beyond the gap: an introduction to naturalizing phenomenology. In PETITOT, J.; VARELA, F. J.; PACHOUD, B.; ROY, J-M. *Naturalizing Phenomenology*. Stanford, CA: Stanford University Press, 1999, p. 1-83.
- THOMPSON, E. *A mente na vida: Biologia, Fenomenologia e as Ciências da Mente*. Lisboa: Instituto Piaget, 2013 [2007].
- TURING, A. M. On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, v. 42, n. 2, p. 230-265, 1936.
- VIEIRA, J. N. *Introdução aos fundamentos da computação: linguagens e máquinas*. São Paulo: Cengage Learning, 2015 [2006].
- VARELA, F. J. Neurophenomenology: A methodological remedy to the hard problem. *Journal of Consciousness Studies*, v. 3, n. 4, p. 330–349, 1996.
- VARELA, F. J. *Principles of Biological Autonomy*. New York: Elsevier North Holland, 1979.
- VARELA, F. J.; MATURANA, H. R.; URIBE, R. Autopoiesis: The Organization of Living Systems, its characterization and model. *BioSystems*, v. 5, p. 187-196, 1974.

VARELA, F. J.; THOMPSON, E.; ROSCH, E. *A mente corpórea: ciência cognitiva e experiência humana*. Lisboa: Instituto Piaget, 2001 [1991].

VILLALOBOS, M.; DEWHURST, J. Computationalism, Enactivism, and Cognition: Turing machines as functionally closed systems. *AIC (2016)*, p. 138-147, 2016.

VILLALOBOS, M.; DEWHURST, J. Enactive autonomy in computational systems. *Syntese*, v. 195, n. 5, p. 1891-1908, 2018.

VILLALOBOS, M.; WARD, D. Lived Experience and Cognitive Science Reappraising Enactivism's Jonasian Turn. *Constructivist Foundations*, v. 11, n. 2, p. 802-810, 2016.