

A teoria computacional da mente e a epistemologia genética de Jean Piaget: Uma aproximação teórica na educação em ciências

Cleberon Souza da Silva¹ e Márlon Herbert Flora Barbosa Soares²

¹Universidade Federal do Piauí, Teresina/Brasil; E-mail: cleberon@ufpi.edu.br,

²Universidade Federal de Goiás, Goiânia/Brasil; E-mail: marlon@ufg.br

Resumo: Neste artigo metodologicamente teórico, apresentamos a Teoria Computacional da Mente (TCM) como um modelo descritivo oriundo da Teoria do Processamento da Informação (TPI). Desse modo, a TCM tem potencial para elucidar como acontece o aprendizado de Ciências na estrutura mental dos estudantes. Para isso, definimos e discutimos os principais pressupostos epistemológicos que balizam esta teoria. Posteriormente, construímos um quadro que apresenta uma aproximação entre os conceitos da TCM com os da Teoria da Equilibração de Jean Piaget com o objetivo de mostrar que as teorias ditas contemporâneas e/ou modernas da ciência cognitiva se baseiam em teorias clássicas e/ou tradicionais. E, ao final, exemplificaremos de que forma o pesquisador e/ou professor de Ciências pode utilizar a Teoria Computacional da Mente como *corpus* teórico para explicar o processo de construção, pelos alunos, do aprendizado dos conteúdos escolares de Ciências, seja em uma aula tradicional ou em aulas que envolvam metodologias diferenciadas, como, por exemplo, experimentação demonstrativo-investigativa, jogos educativos e abordagens temáticas, como os três momentos pedagógicos.

Palavras-chave: Educação em ciências, teoria da equilibração, teoria computacional da mente.

Title: The computational theory of mind and Piaget's genetic epistemology: A theoretical approach in science education.

Abstract: In this methodologically theoretical paper we present the Computational Theory of Mind (CTM) as a descriptive model derived from the Information Processing Theory (IPT). Thus, CTM has the potential to explain how Science learning takes place in students' mental structure. For this, we define and discuss the main epistemological assumptions that guide this theory. Subsequently, we build a framework that brings together the concepts of CTM with those of Jean Piaget's Theory of Equilibration in order to show that the so-called contemporary and/or modern theories of Cognitive Science are based on classical and/or traditional theories. And, at the end, we will exemplify how the researcher and/or Science teacher can use the Computational Theory of Mind as a theoretical corpus to explain how the process of construction of the learning of Science school contents occurs, by the students, either in a traditional class or in classes involving different methodologies such as, for example, demonstrative-investigative experimentation, educational games and thematic approaches such as the three pedagogical moments.

Keywords: Science Education; Equilibration Theory; Computational Theory of Mind.

Introdução

De acordo com Pinker (1998), a Teoria Computacional da Mente, que teve origem na Teoria do Processamento da Informação, visa associar o processamento das informações realizadas pelo computador à mente humana, por meio do uso de conceitos como símbolo, *input*, *output* e processamento para realizar tal associação. Segundo o mencionado autor, esta teoria pode ser utilizada para explicar e entender o cognitivismo. Nesse sentido, este artigo, de caráter teórico, tem como objetivo apresentar e discutir os conceitos epistemológicos da Teoria Computacional da Mente e associá-los aos conceitos da Epistemologia Genética, de Jean Piaget, no que diz respeito à Teoria da Equilibração, bem como propor a TCM como uma teoria que possibilita explicar como acontece, na estrutura mental do aluno, o processo de aprendizagem de Ciências.

Para isso, este artigo está dividido em cinco partes. A primeira, que denominamos "Mente humana", busca, em autores clássicos e contemporâneos, traçar um panorama dos diversos significados para a mente humana em uma perspectiva biológica e evolucionista. Na segunda parte, intitulada "A Teoria Computacional da Mente", explicitamos os detalhes teóricos a respeito de tal teoria, bem como definimos seus principais conceitos, como, por exemplo, símbolo, *input*, *output* e processamento a fim de compreender os aspectos que perpassam o funcionamento da estrutura mental dos sujeitos.

Na terceira parte, que chamamos de "Aproximação entre a Teoria Computacional da Mente e a Epistemologia Genética, de Jean Piaget", definimos alguns conceitos da teoria epistemológica proposta por Jean Piaget e, juntamente aos conceitos da TCM definidos na segunda parte deste texto, montamos um quadro com as possíveis aproximações entre essas duas teorias. Na quarta parte do texto, que intitulamos de "A Teoria Computacional de Mente e o Aprendizado de Ciências", mostramos como é possível explicar o processo de aprendizagem por meio da TCM em aulas de Ciências tradicionais, isto é, que faz uso de aulas expositivas, além de aulas que utilizam metodologias diversificadas, como a experimentação demonstrativo-investigativa, os jogos educativos e a utilização da abordagem temática por meio dos três momentos pedagógicos.

Na quinta e última parte deste texto, "Considerações finais", apontamos contribuições que este artigo pode conceder, bem como algumas de suas limitações. Assim, iniciaremos este texto com a apresentação, a seguir, de algumas definições de mente humana.

A mente humana

Para Pinker (1998), a mente humana é um produto do processo evolutivo e foi desenvolvida para resolver uma série de questões, desafios e problemas. Desse modo, a mente está equipada com diferentes sistemas de última tecnologia, e cada um deles foi desenvolvido para resolver uma série de problemas. Assim, Pinker (1998) conclui que a mente é:

[...] um sistema de órgãos de computação, projetados pela seleção natural para resolver os tipos de problemas que nossos ancestrais enfrentavam em sua vida de coletores de alimentos, em especial entender e superar em estratégias os objetos, animais, plantas e outras pessoas (Pinker, 1998, p. 32).

Portanto, Pinker (1998) esclarece, na citação anterior, que a mente é um sistema de órgãos e não somente um único órgão. Esse sistema pode ser concebido como faculdades psicológicas que exercem uma atividade mental. Outra definição de mente é dada por Oliva *et al.* (2006), ao afirmarem que a mente é um objeto da ciência e um produto da seleção natural. Nessa perspectiva, Pinker (1998) afirma que os órgãos localizados na mente não foram “feitos” por alguma entidade religiosa, mas, sim, pela evolução de replicadores ao longo de muitos anos. A ideia de replicadores faz com que, atualmente, seja quase que um consenso considerar a seleção natural como o modelador do corpo humano. Entretanto, ainda há uma recusa por parte de alguns autores em admitir que essa ideia de processo evolutivo serviria para a mente. De acordo com Pinker (1998), existe uma fala generalizada de alguns autores que afirmam *i)* ser a mente um subproduto oriundo de uma mutação que causou um aumento craniano nas espécies do *Homo sapiens*; e *ii)* que a aquisição de uma forma específica para a mente foi obtida por meio da evolução cultural, e jamais por meio somente de uma evolução biológica. Assim como Pinker (1998), Lopes e Vasconcellos (2008) se contrapõem a estas teses descritas anteriormente (*i* e *ii*), afirmando que, com estudos arqueológicos, é possível afirmar que esse aumento do crânio está diretamente ligado ao aumento cerebral durante longos períodos da evolução da espécie humana.

Nesse sentido, Tooby e Cosmides (1990), ao analisarem o olho humano, brincam com afirmações que se referem à mente como não sendo um produto da evolução. Embora seja consenso que o olho é um órgão humano espetacular e complexo que foi desenvolvido pela evolução, ele não funcionará separadamente do corpo. Isto é, o olho é um microprocessador de informações que está diretamente ligado ao cérebro (corpo). A óptica que está cheia de recursos provenientes da retina não joga informações no vácuo. O receptor (mente) dessa mensagem, que é ricamente estruturado, precisa também ser tão bem projetado quanto o emissor (olho). Essa interdependência do corpo com a mente também é observada a partir de outra definição de mente, que é dada por Izquierdo (2004, p. 2) ao afirmar que “a mente é função do corpo e dele depende para existir, sofrer e se manifestar”. Mas como seria essa dependência da mente para com o corpo ou vice-versa?

Essa relação de dependência ainda hoje causa uma confusão, dificultando a diferenciação entre mente e cérebro. Com o intuito de esclarecer ainda mais a mencionada questão, Pinker (1998) ressalta que mente não é cérebro. Mente é quase tudo aquilo que o cérebro faz. Isto é, mente é tudo o que o cérebro desenvolve, exceto metabolizar gordura e emitir calor, por exemplo. Para Pinker (1998), a mente é um sistema extremamente organizado que realiza procedimentos incríveis que nenhum engenheiro é capaz de realizar. Outra definição de mente é dada por Pantaleão (2016), segundo o qual a mente seria um “objeto” raro e sutil que é responsável

pelas relações de pensamento. Além disso, há, na mente humana, um *design* complexo por trás das proezas da vida, como, por exemplo, enxergar, planejar, comer e namorar. Esses afazeres diários são muito mais complexos para a mente do que trazer os tripulantes da Apollo 13 com vida para o planeta Terra ou, ainda, clonar um ser humano, por exemplo. De acordo com Pinker (1998), a ideia da mente advinda da evolução fez surgir uma nova abordagem, denominada Psicologia Evolucionista, expressão que foi cunhada pelo antropólogo John Tooby e pela psicóloga Leda Cosmides.

A Psicologia Evolucionista emerge como um novo paradigma. Para Lopes e Vasconcellos (2008), o antigo paradigma consistia em entender a psicologia voltada para a finalidade do local, dos relacionamentos entre as famílias e a relação com a cultura, para, assim, tentar compreender a mente humana. Desse modo, a Psicologia Evolucionista apresenta como foco uma preocupação "com o que os antepassados do homem teriam lhe deixado, como **herança biológica**, sobre o seu funcionamento mental (Lopes e Vasconcellos, 2008, p. 124, grifo nosso). Esta "herança biológica" teria, portanto, conferido certos algoritmos que deram à espécie humana uma maior adaptação para a espécie. Sobre isso, Pinker (1998) afirma que a Psicologia Evolucionista:

Reúne duas revoluções científicas. Uma é a revolução cognitiva das décadas de 1950 e 1960, que explica a mecânica do pensamento e emoção em termos de informação e computação. A outra é a revolução na biologia evolucionista das décadas de 1960 e 1970, que explica o complexo design adaptativo dos seres vivos em termos da seleção entre replicadores (Pinker, 1998, p. 34).

Nessa perspectiva, Pinker (1998) afirma que, a partir da Psicologia Evolucionista, surgiram duas ideias: a Biologia Evolucionista e a Ciência Cognitiva. De acordo com Piccinini e Bahar (2013), a Ciência Cognitiva é uma área interdisciplinar formada pelas disciplinas de Psicologia Cognitiva, Neurociência Cognitiva, Inteligência Artificial, Filosofia, Linguística e Antropologia. Para os mencionados autores, os cientistas cognitivos utilizam essas disciplinas para estudarem como os seres humanos constroem e usam o conhecimento. Por outro lado, Eysenck e Keane (2017) explicam que a Psicologia Cognitiva se refere aos processos internos que estão envolvidos em retirar sentido do ambiente e decidir que ação deve ser adequada. Para esses autores, tais processos se resumem em: atenção, percepção, aprendizagem, memória, linguagem, resolução de problemas, raciocínio e pensamento. Assim, Eysenck e Keane (2017) definem Psicologia Cognitiva como a maneira de compreender a cognição humana por meio da observação dos seres humanos enquanto executam diversas tarefas cognitivas, surgindo, portanto, o cognitivismo.

Para Sternberg e Sternberg (2017), o cognitivismo é a crença de que grande parte do comportamento humano é responsável por explicar como os indivíduos pensam. Assim, para os mencionados autores, a Psicologia Cognitiva, que consiste no estudo sobre a forma como as pessoas percebem, aprendem, lembram e pensam nas informações, tem sua origem em diversas abordagens, como estruturalismo, funcionalismo, associacionismo, behaviorismo e Gestalt, por exemplo. Stenberg e Stenberg (2017) afirmam que o psicólogo cognitivo é aquele que estuda as diversas

maneiras como as pessoas percebem e se lembram ou não de algum acontecimento ou, ainda, por que aprendem ou não a tocar algum instrumento musical. De acordo com Pinker (1998), é possível dizer que a Psicologia Cognitiva exhibe, de forma ampla, as possibilidades para compreender a mente humana e mostra, também, que tipo de mente (estrutura) cada um de nós possuímos. Por outro lado, o referido autor explica que a Biologia Evolucionista tenta explicar o porquê cada pessoa possui sua respectiva mente em específico. Por fim, a Psicologia Evolucionista engloba essas duas áreas (Ciência Cognitiva e Biologia Evolucionista), que tentam revelar como as pessoas percebem, recordam, aprendem e pensam.

Sendo assim, Pinker (1998) afirma que o pensamento, que está diretamente relacionado à Ciência Cognitiva e à Biologia Evolucionista, pode ser assemelhar aos processos computacionais e, portanto, pensamento é computação. Ou seja, para explicar a cognição, Pinker (1998) reitera que a mente humana pode ser comparada com um computador. De acordo com o mencionado autor, para compreendermos a ideia da semelhança entre mente e computador, far-se-á necessário entender que a mente humana possui um grupo de módulos mentais. Para Pinker (1998), tais módulos não são caixas ou pedaços da superfície do cérebro, não são visíveis e, também, não podem ser diferenciados, tal como é possível diferenciar um *mouse* de um teclado em um computador. Dessa forma, os módulos mentais podem ser compreendidos, segundo Pinker (1998), como:

[...] um bicho atropelado na estrada, espalhando-se desordenadamente pelas protuberâncias e fendas do cérebro. Ou pode ser fragmentado em regiões que se interligam por meio de fibras, as quais fazem a região atuar como uma unidade (Pinker, 1998, p. 41).

Para Pinker (2004), cada um desses módulos tem um funcionamento inato e, durante a vida do indivíduo, ocorre uma adaptação desses módulos, promovendo, então, o aprendizado. Por isso, segundo o autor, é de extrema importância não considerar a mente como uma tábula rasa, pois os módulos mentais são oriundos do desenho básico do programa genético evolutivo do ser humano. Dessa forma, é possível fazer um paralelo da natureza inatista da mente com o corpo humano analisando os reflexos motores e perceptivos presentes em uma criança, como, por exemplo, sucção ou busca visual por um objeto que emite algum tipo de som. Para Montoya (2006), tais reflexos motores e perceptivos são, em uma visão piagetiana, esquemas primordiais inatos à criança. De acordo com Pinker (2004), possuir muitos recursos primordiais na mente fará com que o sistema mental responda de forma mais inteligente e flexível, haja vista que um processamento da informação mais efetivo poderá ser realizado. Entretanto, as respostas oriundas do processamento refletirão na forma como os indivíduos têm estimulado os esquemas mentais primordiais.

A respeito do processamento, Pinker (1998) esclarece que a ferramenta capaz de processar informações e gerar conhecimento e, conseqüentemente, aprendizado é o cérebro humano em conjunto com a mente. Contudo, para compreender como o aprendizado acontece na mente, é necessário aceitar novas maneiras de pensar, não substituindo por completo paradigmas antigos, mas incorporando novos conhecimentos.

Nesse sentido, conforme o autor, é imprescindível entender o cérebro como um sistema complexo capaz de fazer um processamento de informações, ou computação. Logo, a computação feita pelo cérebro traz à tona um modelo descritivo que tem importância na história cognitiva: a Teoria Computacional da Mente, que será detalhada a seguir.

A teoria computacional da mente

A Teoria Computacional da Mente tem como base o computacionalismo de Hilary Putnam. De acordo com Castañon (2006), a teoria de Putnam enuncia teses que tentam aproximar o cérebro ao sistema operacional de um computador. Tais teses são as seguintes: *i)* o cérebro é um computador digital; *ii)* a mente é um programa computacional e *iii)* as operações do cérebro podem ser simuladas em um computador digital. Segundo Horst (2005), a TCM é um sistema de computação semelhante, em aspectos importantes, à Máquina de Turing e aos processos mentais centrais, como, por exemplo, resolução de problemas, raciocínio e tomada de decisão (TURING, 1936). Para Pinker (1998), a Teoria Computacional da Mente é:

A hipótese de que a inteligência é uma computação no sentido de que se a interpretação de símbolos que acionam a máquina for uma afirmação verdadeira, a interpretação de símbolos criados pela máquina também será uma afirmação verdadeira (Pinker, 1998, p. 88).

Desse modo, Timm (2004) afirma que a TCM supõe que, para o funcionamento da mente, as origens do processo de computação das informações sejam realizadas na forma de símbolos. Segundo o autor, esse processo de computação está ligado à capacidade do cérebro em fazer representações visuais, fonológicas e gramaticais em camadas inter-relacionadas com múltiplos significados. Esse sistema humano está dotado de normas para processamento que são muito mais maleáveis que qualquer norma capaz de reger um computador comum. Caicedo (2015) assegura que a TCM resolve inúmeros problemas, não só científicos, mas também filosóficos, problemas estes que as teorias predecessoras não conseguiam. Para o referido autor, um exemplo disso é a TCM resolver o paradoxo que existe entre a conexão de uma atividade física guiada por algum objetivo e/ou intenção; de forma prática, seria a motivação que faz com que um indivíduo se desloque a pé da sua casa até o ponto de ônibus para ir à universidade participar de uma aula de Química Orgânica, por exemplo. Nesse sentido, a TCM permite explicações sobre determinados comportamentos humanos, com base na forma como as informações serão processadas na estrutura mental do sujeito.

De acordo com Sternberg e Sternberg (2017), as teorias de processamento de informações inspiradas em computador, como a Teoria Computacional da Mente, presumem que os seres humanos, assim como os computadores, processam diversas informações ao mesmo tempo. Para Sternberg e Sternberg (2017):

Alguns aspectos da cognição humana podem ser explicados em termos de processamento serial, porém as descobertas psicobiológicas e outras pesquisas cognitivas parecem indicar aspectos diversos da

cognição humana. Esses aspectos envolvem o processamento paralelo, no qual diversas operações ocorrem simultaneamente. O processamento de informações por computador serviu de metáfora para muitos dos modelos atuais de representação do conhecimento humano em seres humanos (Sternberg e Sternberg, 2017, p. 302).

Desse modo, A TCM se enquadra nesse modelo de teoria psicobiológica, pois está amparada biologicamente, uma vez que assume a mente como oriunda da evolução e que pensar é computar, com isso, reafirma a ideia de que a mente funciona como um *software* e o cérebro como um *hardware*. Segundo Pinto (2000), a TCM considera o cérebro como um sistema computacional complexo que é capaz de organizar a informação recebida do mundo exterior em um modelo multidimensional elaborado para alcançar conclusões inteligentes. Ainda para o referido autor, a TCM está fundamentada no estudo da biofisiologia do cérebro, que permite concluir que o processamento de informação é a atividade fundamental do cérebro e, em especial, dos neurônios, cuja finalidade é conduzir a informação, na forma de símbolos, elaborada pelo mundo externo até a mente, fazendo com que tal informação seja, então, processada. Para que isso ocorra e, conseqüentemente, tal informação se transforme em conhecimento, é necessário segundo Osterhaus e Koerber (2023) que o cérebro receba o *input* necessário.

Para Pinker (1998), o *input* consiste em símbolos, códigos, objetos, palavras e conceitos complexos que são levados do mundo exterior para o cérebro. Para este autor, quando o cérebro recebe o *input*, este é processado pela mente, desencadeando no *output*, que é o resultado do processamento mental sob a forma de conhecimento. A figura 1 mostra, de forma esquemática, como ocorre o processamento mental dos símbolos com base na TCM.

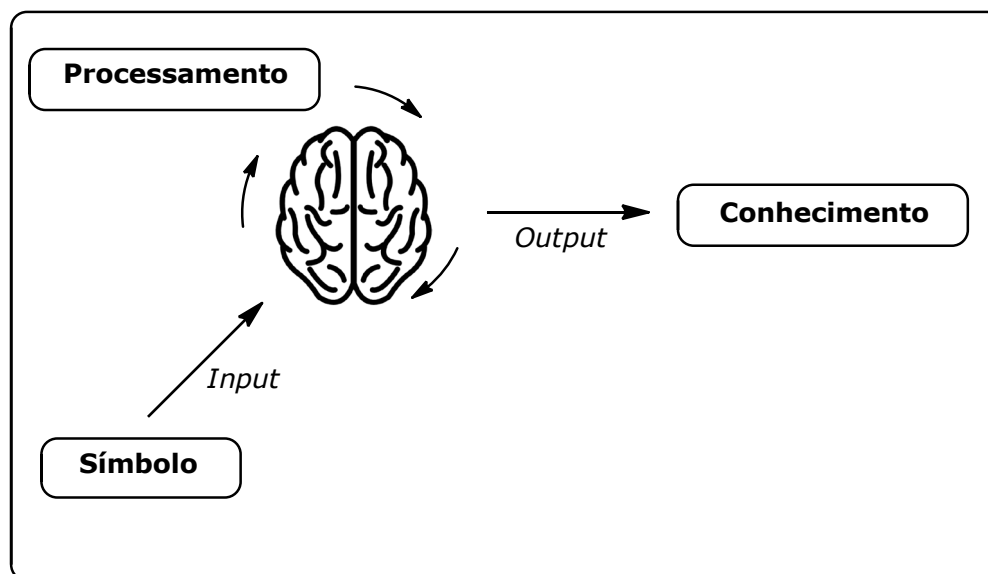


Figura 1. Representação esquemática do processamento mental dos símbolos.

Na TCM, o processamento mental dos símbolos é compreendido quando uma informação que é disponibilizada ao sujeito e é levada à estrutura

cognitiva deste por meio do *input*, tal informação será ancorada em um símbolo pré-existente ou, ainda, se constituir como um novo símbolo dentro da mente do indivíduo. Essa informação será processada pela mente do indivíduo, provocando um processo denominado *output*, que poderá ser externado na forma de conhecimento. Dessa forma, Pinto (2000) afirma que a TCM consegue explicar também o problema da relação existente entre mente e cérebro, pois consegue conectar, por meio do *input*, o mundo físico, na forma de símbolos, com a mente que processa a informação por meio do símbolo e gera, conseqüentemente, o *output* que desencadeará em conhecimento.

Ao realizarmos uma busca nos principais sites de pesquisa científica, usando os termos “The Computational Theory of Mind” e “Science/Chemistry Education/Teaching” e suas variações, observamos uma quantidade pequena de trabalhos envolvendo a TCM e seus pressupostos com a Educação em Ciências ou ainda na perspectiva do ensino e aprendizagem de conceitos científicos.

No que se refere ao ensino e aprendizagem de maneira geral, Boettcher (2000) já argumentava no começo do século que as novas tecnologias poderiam levar a aprendizagens mais significativas de conceitos, destacando processos de aprendizagem que pudessem considerar a TCM. Nessa perspectiva, Davenport (2022) argumenta, também, que em certa medida, a consciência tem uma base física e que ela pode ser o resultado de processos computacionais da mente, não ligados, necessariamente a aspectos bioquímicos e que de alguma forma tem relação direta com alguns processos de ensino e aprendizagem nos seres humanos.

Yasar (2016) faz uma relação entre o pensamento computacional e o pensamento científico. O autor argumenta que tal ligação pode desmistificar alguns aspectos da educação científica na perspectiva de que este não é diferente do pensamento comum, aumentando a conscientização de que o método científico é um processo de mão única. O autor considera que estas ideias têm como estrutura central, entre outros arcabouços teóricos, a teoria computacional da mente.

Dessa forma, encontramos poucos trabalhos relacionando a TCM e a Educação em Ciências e esses poucos textos tem se debruçado principalmente na concepção de pensamento computacional, presente nas temáticas que envolvem o modelo *Science, Technology, Engineering and Math* (STEAM). Por isso, na perspectiva de contribuir com mais trabalhos na perspectiva da TCM, em seguida, ousaremos realizar uma aproximação entre os conceitos da Teoria Computacional da Mente com os da Epistemologia Genética de Jean Piaget.

Aproximação entre a teoria computacional da mente e a epistemologia genética de Piaget

O processamento da informação que ocorre na TCM pode nos levar a inferir que há uma aproximação entre esta proposta e os conceitos presentes na Epistemologia Genética de Piaget. Jean Piaget, nascido no ano de 1896, em Neuchatel, na Suíça, fez doutorado em Biologia, mas, durante uma viagem pela Europa, começou a trabalhar no laboratório de psicologia

de Alfred Binet realizando testes de inteligência em crianças. Desde então, Piaget dedicou grande parte da sua vida a estudar as relações entre inteligência e aprendizado nas crianças, inclusive em seus próprios filhos. De acordo com Montangero e Naville (1998), os estudos deixados por Piaget culminaram em uma farta obra que começou a ser escrita desde o início dos anos 1920 até a sua morte em 1980, o que resultou em uma extensa lista de livros, artigos e materiais que abordam conceitos que nos ajudam a entender a sua Epistemologia Genética.

Segundo Pádua (2009), a Epistemologia Genética de Piaget é uma teoria que explica o desenvolvimento cognitivo, uma vez que ela trata do período que abarca do nascimento à fase adulta do indivíduo, além de conceituar as relações entre inteligência e lógica com outras funções cognitivas, como, por exemplo, percepção, memória e linguagem. Ainda segundo o autor, a Epistemologia Genética é permeada por diversos temas, como a Teoria da Equilibração, que é um tema implícito nessa epistemologia. Dessa forma, a fim de compreender a Epistemologia Genética de Piaget e, portanto, a Teoria da Equilibração, faz-se necessário entender, primeiramente, alguns conceitos.

Um dos principais conceitos de Piaget que precisa ser definido é a noção de esquema. Assim, de acordo com Piaget (2017):

Esquema é um sistema definido e fechado de movimentos e de percepções, o esquema apresenta [...] esse duplo caráter de ser estruturado (portanto, de estruturar ele mesmo o campo da percepção ou da compreensão) e de se constituir de imediato enquanto totalidade (Piaget, 2017, p. 330).

Portanto, Piaget (2017) explica que esquema (ou esquemas, no plural) é um comportamento que tem estrutura neural relacionada a ele, isto é, há esquemas de olhar, falar, somar, logo, é uma unidade básica do mundo exterior, do pensamento e da ação estrutural. Para o mencionado autor, tal conceito é usado para designar as formas de atividades cognitivas mentais com a junção de elementos em pensamentos, o que implica uma classificação, ou ordena mentalmente os objetos segundo sua grandeza crescente por ocasião de uma seriação. Ainda segundo os autores, esquema designa a estrutura da organização da sequência de movimentos e de percepções, como, por exemplo, sucção nutritiva ou não nutritiva, preensão, reunião de objetos ou o fato de subir em algum lugar para alcançar um objeto. Essa conceituação de esquema é observada desde as crianças de poucos dias de nascimento até em adultos com idade avançada. Tal definição de esquema é classificada na contemporaneidade como esquema primordial. Isto é, aquele esquema que é inato à criança, mas que será mais bem desenvolvido por meio do processo de maturação. Para Piaget (1977):

[...] a criança de poucos meses descobre primeiramente conexões causais apenas no campo de sua ação manual, antes de percebê-las nas relações entre os objetos. Por outro lado, nos níveis representativos, a causalidade equivale apenas, primeiramente, a atribuir aos objetos atividades análogas às ações próprias, antes que

se trate de atribuições de operações propriamente ditas (Piaget, 1977, p. 10).

Segundo Piaget (1977), uma criança que tem, por exemplo, um pai compreensivo ou bruto poderá assimilar, em consequência da sua experiência com seu pai, que toda imagem paterna será compreensiva ou brutal. Isto é, os esquemas mentais estão na estrutura mental da criança e outros esquemas complementares ou diferentes poderão ser levados à mente da criança. Nesse sentido, o autor reitera que o esquema pode ser denotado como sendo uma totalidade, ou seja, uma estrutura de um conjunto suscetível de inserir-se em estruturas maiores, e, ainda, um instrumento de assimilação que existe apenas pelo seu próprio funcionamento. Quando Piaget (1977) aborda a inserção de um conjunto total de esquemas em uma estrutura pré-existente, a estrutura é entendida como um conjunto de atividades interiorizadas que assimila os dados do real, ou, ainda, como uma forma frequente de organizar os tipos de raciocínio. Assim, estrutura é definida como uma totalidade equilibrada que explica a coerência do pensamento lógico.

Dessa forma, se os esquemas assimilam os dados do real, é possível compreender assimilação quando Piaget (1977) afirma que a assimilação ocorre quando o sujeito recebe um esquema novo ou complementar oriundo dos elementos do meio externo necessários à sobrevivência. Ainda para o autor, assimilar é o mesmo que incorporar objetos e/ou situações, dando-lhes, conseqüentemente, sentido. Assim, a assimilação ocorre do meio externo para o meio interno do indivíduo. Para Piaget (2017), a assimilação de um objeto a um esquema significa:

[...] conferir a esse objeto uma ou mais significações e é essa atribuição de significados que comporta, então, um sistema mais ou menos complexo de inferências, mesmo quando ela tem lugar por constatação. Em resumo, poder-se-ia dizer então que uma assimilação é uma associação acompanhada de inferência (Piaget, 2017, p. 319).

Com base nesta definição de assimilação, Piaget (1977) afirma que a ideia de assimilação se relaciona à perspectiva funcional da Psicologia Genética, uma vez que a ideia de assimilação insere-se na atividade biológica do indivíduo, isto é, no processo de conhecimento. Segundo Piaget (1978), a assimilação, própria dos conceitos em seu estado de construção, dá origem a objetos entendidos pelos sujeitos, sem falar da reversibilidade e da transitividade operatórias, pois ela virá a reunir todos os "**As**" numa mesma classe, já que eles são assimiláveis pelo seu caráter de **A**.

Um terceiro conceito muito importante nos estudos piagetianos é a acomodação. Segundo Piaget (2012), a acomodação é a modificação ou complementação de um esquema anteriormente assimilado. Nesse sentido, o autor afirma que acomodar implica uma mudança na compreensão de um determinado esquema anteriormente assimilado, haja vista que, de modo geral, a acomodação consegue explicar a ação do meio na interação do sujeito e do objeto de conhecimento, concebido na psicologia genética de acordo com o modelo biológico dos envoltórios entre o meio e o organismo. Piaget (2012) afirma que a assimilação e a acomodação são dois eixos de um envolvimento entre o organismo e o meio, o qual é a base

para a condição do funcionamento biológico e intelectual. De acordo com Piaget (1978), esse envolvimento entre o meio e o organismo dependerá das ações do indivíduo que o levará às relações lógico-matemáticas e físicas sob a forma de uma lógica plausível.

De acordo com Piaget (2012), o processo da acomodação pode gerar melhorias nos esquemas, fazendo com que esses sejam ajustados de forma mais precisa a um determinado objeto ou a acomodação poderá levar a diferenciações que, conseqüentemente, poderão produzir novos esquemas. Segundo o mencionado autor, o equilíbrio entre a assimilação e a acomodação levará o indivíduo a conhecer um novo objeto. Para Piaget (1976), esse processo de conhecer um determinado objeto não pode ser compreendido como aprendizagem, pois o desenvolvimento mental e físico precede a inteligência, isto é, para que o sujeito aprenda, é preciso que ele se desenvolva em vários aspectos, por isso, na teoria piagetiana, existem os estágios do desenvolvimento, quais sejam: a) sensório-motor; b) pré-operatório; c) operatório concreto; e d) operatório formal.

Nessa perspectiva, Piaget (2019) explica que a inteligência ocorrerá a partir de novas assimilações que perturbem o equilíbrio entre assimilação e acomodação, buscando novas diferenciações e, conseqüentemente, um novo equilíbrio, e assim por diante. É importante explicar que a equilibração entre assimilação e acomodação é denominada de adaptação e será o gatilho para o desenvolvimento do indivíduo, bem como para a aprendizagem quando ocorrer a quebra de tal equilíbrio e a formação de um novo.

Tendo explicitado alguns conceitos importantes da Epistemologia Genética de Piaget — esquema, assimilação, acomodação, equilibração e adaptação —, abordaremos, a seguir, os conceitos que embasam a TCM como um modelo descritivo para que possamos, em momento oportuno, realizar uma aproximação entre tais teorias. Para começar, abordaremos os símbolos.

Para Timm (2004), os símbolos referem-se a elementos do mundo exterior porque são gerados pelas informações a respeito dos objetos e sentidos que nos cercam e chegam, até nós, por meio dos sentidos. Ainda segundo esse autor, os símbolos serão processados pelos módulos mentais especializados em cada uma das áreas de interação com o mundo que nos cerca, como visão, audição, fala e linguagem, em padrões e conexões que são postas pela própria programação genética do indivíduo. De acordo com Pinker (1998), as informações na TCM corporificam-se em símbolos que são uma coleção de marcas físicas correlacionadas ao estado do mundo como ele é apreendido pelas proposições. Ou seja, as informações que são recebidas na estrutura mental por meio do *input* podem ser designadas como símbolos.

Para Pinker (1998), *input* é o processo de entrada de códigos, objetos ou símbolos (informações) complexos no *hardware*, que serão levados para o *software* computar. Corroborando com Pinker (1998), Makirriain (2014) explica que o processo no qual diversos símbolos são levados da estrutura externa do indivíduo até as suas representações mentais é denominado

input. Isto é, as informações que estão presentes no ambiente externo são conduzidas à estrutura mental do sujeito por meio dos *inputs*.

Por outro lado, Pinker (1998) afirma que *output* significa o resultado do processamento da informação realizado pela estrutura mental do indivíduo. Assim, para ele, quando o indivíduo recebe o símbolo em sua estrutura mental, ocorre o processamento da informação recebida (símbolo) e, após esse processamento, será originado o *output*. Para Timm (2004), as regras para o processamento da informação são infinitamente mais flexíveis que as regras que compõem qualquer tipo de programação computacional convencional, pois o cérebro realiza milhões de processamentos de informações, enquanto sistemas computacionais não. Ainda para Timm (2004), o processamento da informação, que também pode ser nomeada símbolo, viabiliza não apenas as categorizações do conhecimento majorante, mas também lógicas abstratas. Timm (2004) afirma ainda que o processamento dos símbolos ocorre na mente humana, pois nela já existem *softwares* instalados e programados pela evolução genética desde o nascimento do sujeito. Para esse autor, esses *softwares* são compostos pelos símbolos mentais inatos ou pré-existentes na estrutura mental do sujeito, que viabilizam o uso da capacidade de realizar processamento em todas as áreas de conhecimento. Nesse sentido, segundo Pinker (1998), quanto mais símbolos o sujeito possuir em sua estrutura mental, e, por sua vez, quanto mais símbolos o sujeito adquire durante o seu processo de envelhecimento, mais significativo será o processamento dos símbolos existentes e recebidos, pois o cérebro pode fazer um número ilimitado de processamentos de uma única vez.

Analisaremos, a seguir, a Epistemologia Genética de Piaget e a Teoria Computacional da Mente a partir das suas semelhanças, propondo uma aproximação dos conceitos mais relevantes dessas teorias. Não se trata de uma aproximação pronta e acabada. Mas, sim, de uma tentativa, a partir dos aportes teóricos trazidos até agora, de realizar uma correlação nunca feita antes entre os conceitos desses dois campos epistemológicos do conhecimento.

Para isso, consideramos que os símbolos na TCM correspondem aos esquemas na EPG. Tal aproximação tem como base as afirmações de Pinto (2000), segundo o qual os símbolos são estruturas de matéria que estão programados para se encontrarem indefinidamente com outras estruturas de matéria para, assim, se unirem com mais símbolos relacionados e assumirem diferentes e/ou complementares funções mentais, e de Piaget (2012), que, por sua vez, sustenta que um esquema é, ao mesmo tempo, uma totalidade, uma estrutura de conjunto passível de se inserir em estruturas maiores e um instrumento de assimilação que só existe pelo seu funcionamento próprio.

Consequentemente, inferimos que símbolo se correlaciona com esquema, uma vez que tanto o símbolo quanto o esquema podem ser definidos como unidades menores que, ao serem levadas à estrutura mental, podem se inserir e/ou complementar estruturas maiores, haja vista que, para Piaget (2012), esquema é uma unidade básica do mundo exterior, do pensamento e da ação estrutural. Isto é, o esquema também é visto como uma unidade menor que se atrela aos demais esquemas primordiais do indivíduo.

Segundo Piaget (2019), esquema é a estrutura ou a organização das ações, conforme essas ações se transferem ou se tornam gerais de acordo com as ocasiões parecidas.

Além disso, é possível inferir, também, que *input* pode ser associado com assimilação, pois, se, por um lado, Pinker (1998) afirma que *input* é o movimento de inserção de um símbolo na estrutura mental do sujeito, por outro, Piaget (2017) afirma que assimilação é a incorporação de um objeto, de uma situação ou de um esquema na estrutura mental da criança.

Dessa forma, inferimos, ainda, que *output* pode ser comparado à acomodação, pois é constituído, segundo Makirriain (2014), pelo resultado do processamento dos símbolos pela mente. Isto é, o *output* é um movimento que, de acordo com Pinker (1998), se realiza de dentro da estrutura mental para fora, fazendo com que o resultado do processamento dos símbolos realizado pela mente seja externado, por isso, não há processamento de informações ou símbolos se não houver *input* e, conseqüentemente, *output*. Assim, o *input* e o *output* são vitais para o processamento do símbolo e, portanto, para um possível aprendizado. Já, para Piaget (1976), a acomodação é o processo em que há consideração com as reações do indivíduo em função das peculiaridades que existem nos diferentes esquemas que foram outrora assimilados. Ou seja, a partir de um determinado esquema assimilado poderá haver uma equilíbrio entre assimilação e acomodação e, logo, o desequilíbrio desta acomodação poderá gerar o desenvolvimento e, também, o aprendizado.

Assim, inferimos, também, que o processamento pode ser associado com a adaptação, ou seja, com a quebra da equilíbrio entre a assimilação e a acomodação. Para isso, recorreremos a Horst (2005), que entende o processamento dos símbolos na estrutura mental como um movimento em que acontece milhões de conexões paralelas de acordo com os símbolos recebidos e já existentes. Esse autor afirma que, quanto mais símbolos de alta complexidade são fornecidos ao computador neural, por meio de *inputs*, mais processamentos serão realizados, gerando, portanto, aprendizado.

Em relação à equilíbrio, Piaget (1976) afirma que se trata de um processo que conduz a um melhoramento constante dos equilíbrios progressivos até a obtenção de um equilíbrio perfeitamente estável. Dessa forma, o processo de equilíbrio explica, de forma efetiva, uma construção endógena da inteligência. Assim como no processamento das informações, na TCM, há, também, uma construção da inteligência e, por isso, ousamos, a partir dessas reflexões, aproximar processamento ao conceito de equilíbrio. O Quadro 1 apresenta a síntese da nossa tentativa de realizar uma aproximação entre os elementos da Epistemologia Genética de Piaget e os conceitos da Teoria Computacional da Mente.

Assim, a partir desta aproximação, inferimos que a TCM está intimamente ligada à Epistemologia Genética de Piaget. E é considerando esta possibilidade que entendemos como seria possível explicar o funcionamento da mente com base na TCM por meio de uma correspondência com os termos usados na Epistemologia Genética.

Epistemologia Genética de Piaget	Definição	Teoria Computacional da Mente	Definição
Esquema	É denotado como sendo uma totalidade, ou seja, uma estrutura de um conjunto suscetível de inserir-se em estruturas maiores, e um instrumento de assimilação que existe apenas pelo seu próprio funcionamento (Piaget, 2012).	Símbolo	Esses pedaços de matéria constituem um símbolo e estão programados para se encontrar indefinidamente com outros pedaços de matéria para assim juntar com mais símbolos logicamente relacionados, que assumirão diferentes funções mentais, inclusive comportamentais como produto dessa atividade simbólica (Pinto, 2000, p. 189).
Assimilação	Ocorre quando o sujeito recebe um esquema novo ou complementar oriundo dos elementos do meio externo necessários à sobrevivência (Piaget, 2019).	<i>Input</i>	Processo em que diversos símbolos são levados da estrutura externa do indivíduo até as suas representações mentais (Makirriain, 2014).
Acomodação	Implica uma mudança na compreensão de um determinado esquema anteriormente assimilado (Piaget, 1976).	<i>Output</i>	É um movimento que se realiza de dentro da estrutura mental para fora, fazendo com que o resultado do processamento dos símbolos realizado pela mente seja externado (Pinker, 1998).
Equilibração	“O desenvolvimento é [...], em certo sentido, uma equilibração progressiva, uma passagem contínua de um estado de menos equilíbrio a um estado de equilíbrio posterior” (Piaget, 2019, p. 123).	Processamento	O processamento dos símbolos na estrutura mental é um movimento em que acontece milhões de conexões paralelas de acordo com os símbolos recebidos ou já existentes (Horst, 2005).

Quadro 1. Aproximação entre os elementos da epistemologia genética de Piaget e os elementos da teoria computacional da mente.

Explicação da seguinte maneira: a mente recebe o *input* (assimilação) de um símbolo (esquema) **A**; quando a mente recebe um novo *input* (assimilação) de um símbolo (esquema) **B**, ocorre o *output* (acomodação) da informação recebida (símbolo) e, por fim, acontece a quebra da equilíbrio (processamento). Com a aproximação da TCM à Epistemologia Genética de Piaget, é possível perceber que muitas teorias neurocientíficas modernas, como a TCM, se baseiam em teorias psicológicas clássicas, como a Epistemologia Genética de Piaget. Assim, na próxima seção, explicitaremos como a TCM pode contribuir com o entendimento do processo de aprendizagem de Ciências.

A teoria computacional da mente e o aprendizado de ciências

A aprendizagem de conceitos da área de Ciências tem se mostrado uma questão problemática e muito estudada tanto na educação básica quanto no ensino superior. Inúmeros trabalhos relatam tal problemática, enfatizando que os alunos apresentam dificuldades em aprender determinados conceitos de Biologia, Física e/ou Química, por exemplo.

De acordo com Mendonça e Ibraim (2019), a Química é uma ciência que envolve entidades abstratas que são intangíveis à percepção dos alunos por uma experiência concreta. Isto é, a aprendizagem de Química requer, no mínimo, conhecer a estrutura da matéria, que é abstrata, e relacioná-la com suas propriedades macroscópicas. Além disso, outras habilidades são necessárias para se aprender Ciências. Para Mortimer (2019):

[...] o aprendizado de Ciências supõe ao mesmo tempo o aprendizado da linguagem científica. Essa linguagem, com suas construções próprias, em que nomes e grupos nominais são empregados para designar processos e verbos para mostrar a relação entre os grupos nominais, é completamente diferente da linguagem cotidiana. Essa última, no entanto, é linguagem de que professor e alunos dispõem para dar sentido à aprendizagem das ciências (Mortimer, 2019, p. 171).

Dessa forma, para que o aluno aprenda Química, é necessário que ele seja capaz de relacionar a estrutura da matéria com suas propriedades macroscópicas e, ainda, conhecer a linguagem científica da Química. Para Pozo e Crespo (2009), aprender Ciências requer conhecer outros fatos e, sobretudo, outros conceitos, de modo a relacioná-los e problematizá-los para entender os fenômenos. Assim, com o intuito de buscar respostas sobre o desenvolvimento do processo de aprendizagem, muitos autores da Educação em Ciências têm ancorado seus trabalhos em teorias cognitivas da aprendizagem de autores clássicos, tais como Bruner, Piaget, Vygotsky, entre outros. No entanto, teorias contemporâneas, como a Teoria Computacional da Mente, podem ser utilizadas para explicar de que forma ocorre o processo de aprendizagem na estrutura mental do sujeito. A TCM pode ser muito útil e inovadora para esclarecer os fenômenos relacionados à aprendizagem de Ciências, uma vez que não há relatos na literatura de tal uso. Assim, elencaremos, a seguir, possibilidades para o professor e/ou pesquisador da Educação em Ciências fazer uso da TCM com o intuito de explicar o processo de aprendizagem de seus alunos em quatro situações, a

saber: *i)* aula expositiva “tradicional”; *ii)* jogos; *iii)* experimentação; e *iv)* três momentos pedagógicos.

Aula expositiva “tradicional”

De acordo com Libâneo (2013), a aula expositiva é um método tradicional em que habilidades, tarefas e conhecimentos são apresentados, explicados ou demonstrados para os alunos pelo professor e a atividade dos alunos é receptiva, embora não necessariamente passiva. Ainda segundo o autor, a aula expositiva é bastante utilizada em nossas escolas, apesar das críticas que lhe são feitas, principalmente por não levar em conta o princípio da atividade do aluno.

Desse modo, a TCM pode ser mobilizada para explicar uma aula expositiva de um determinado conteúdo de Ciências. Para isso, considere que o professor esteja ministrando uma aula sobre a temática ácidos e bases de Lewis. Uma vez que o docente já havia discutido com seus alunos os ácidos e bases nas concepções de Arrhenius e de Bronsted e Lowry, o aluno já terá diversos símbolos em sua estrutura mental que tratam do conceito de acidez e basicidade. Assim, quando o professor demonstrar a definição dos ácidos de Lewis, ele possibilitará que tal definição seja levada até a mente do aluno por meio do *input*, pois, como vimos, é o ato de levar do mundo exterior um determinado conceito para o mundo interior do aluno, ou seja, até a sua estrutura mental.

Na situação apresentada, inferimos que, quando o estudante recebe o *input*, no caso, o conceito de ácido de Lewis, ele será ancorado no símbolo pré-existente denominado ácido. Em seguida, o professor explicará a noção de base de Lewis, que também será levada à mente do estudante por meio do *input*. Por meio deste novo *input*, que se diferencia do primeiro (ácido de Lewis), o aluno poderá diferenciar ácido de Lewis de base de Lewis por meio do processamento que poderá ocorrer na estrutura mental do aluno. Assim, haverá, portanto, o *output*, que se trata da aprendizagem de um determinado conceito pelo aluno. Acreditamos que este processo não é estanque e não finaliza por aqui, mas inferimos que ele pode ser contínuo e acontecer inúmeras outras vezes, isto é, outros *inputs* e, conseqüentemente, outros processamentos e, por último, outros *outputs*.

Sabemos que existem inúmeras críticas às aulas expositivas, por elas serem classificadas como “tradicional”, no entanto, é importante ressaltar, como nos explica Mackedanz (2017), que não há nada essencialmente errado com as aulas expositivas que mereça a sua recriminação, o problema consiste quando as metodologias tradicionais, como a aula expositiva, se tornam as únicas metodologias utilizadas na sala de aula de Ciências, haja vista que o professor pode fazer uso de inúmeras metodologias diferenciadas como, por exemplo, experimentação, jogos, entre outras, para tornar a Educação em Ciências mais dinâmica, agradável e, sobretudo, facilitar a aprendizagem de conceitos científicos considerados difíceis. A seguir, apontamos a TCM como possibilidade para explicar a aprendizagem quando se utiliza a experimentação na Educação em Ciências.

Experimentação demonstrativo-investigativa

A experimentação na Educação em Ciências, de acordo com Silva *et al.* (2019), pode ser compreendida como uma atividade experimental que permite a vinculação entre fenômenos e teorias. Para esses autores, o uso de experiências nas aulas de Química, por exemplo, tem um papel importante, pois contribui com visões diferentes para explicar um mesmo fenômeno. Isto não quer dizer que as explicações dos fenômenos da ciência são perenes, mas, transitórias, no sentido de que essa transitoriedade é percebida quando uma determinada teoria não mais consegue explicar um determinado fenômeno.

Dessa forma, Silva *et al.* (2019) esclarecem que a experimentação na Educação em Ciências consiste em uma constante integração entre pensar e fazer. Ainda para os mencionados autores, um exemplo dessa relação é quando o aluno ou o professor desenvolve alguma atividade experimental e o professor pede que o aluno a explique. Entretanto, a explicação do fenômeno não deve ser vista como uma validação e/ou prova da teoria, mas, sim, como uma possibilidade de generalização daquela teoria, uma vez que a experimentação, nas aulas de Ciências, não deve assumir um papel de validação da teoria, e sim uma perspectiva investigativa para formular hipóteses e entender conceitos científicos que se relacionem com o cotidiano.

Assim, o caráter investigativo das aulas de Ciências, conforme Silva *et al.* (2019), é dado pela possibilidade de generalização e de previsão de uma determinada teoria com base no experimento realizado, ou seja, um experimento simples pode ser convertido em uma atividade investigativa, caso o professor saiba escolher atividades que contenham generalizações. Ferreira *et al.* (2010) afirmam que a experimentação, se possuir um caráter investigativo, conduzirá os alunos a realizarem pequenas pesquisas, de modo a desenvolver habilidades como: investigar, manipular e comunicar. Assim, para esses autores, a experimentação no ensino desempenha um papel de ferramenta pedagógica que pode auxiliar na aprendizagem de Ciências tendo por base a investigação de fenômenos. Para que a experimentação possa se constituir como uma boa opção para auxiliar os alunos na aprendizagem de conceitos por meio da investigação, Silva *et al.* (2019) afirmam que é preciso que a experimentação comprobatória seja transformada em uma experimentação investigativa.

Nessa perspectiva, Silva *et al.* (2019) apresentam as atividades experimentais dentro de um novo contexto que incorpora os seguintes eixos norteadores: a) ensinar e aprender como processos indissociáveis; b) não separação da teoria-experimento; c) interdisciplinaridade; d) contextualização; e e) educação ambiental. Dessa forma, a atividade experimental deve assumir um papel demonstrativo-investigativa.

Silva *et al.* (2019) esclarecem que as atividades demonstrativo-investigativas envolvem a apresentação de experiências simples que o professor faz dentro da sala de aula para introduzir, a partir desta experiência, aspectos teóricos do conhecimento químico para seus alunos. Entretanto, os mencionados autores afirmam que tais atividades precisam ser conduzidas em uma perspectiva de observação aberta. Isto é, aquelas

experiências em que os alunos sejam capazes, com a ajuda do professor, de relacionar os fenômenos com uma determinada teoria. Para isso, os citados autores apontam as seguintes etapas, obrigatórias, para a condução da experimentação em uma perspectiva demonstrativo-investigativa:

1ª Etapa – *Formulação de uma pergunta*: é feita pelo professor e tem como objetivo motivar o aluno, além de despertar o seu interesse para o assunto a ser discutido;

2ª Etapa – *Observação macroscópica*: consiste na observação atenta por parte do aluno no experimento conduzido pelo professor;

3ª Etapa – *Formulação de hipóteses*: envolve a participação dos alunos que descreverão os fenômenos observados e tentarão propor respostas para a pergunta inicial;

4ª Etapa – *Construção da representação do fenômeno*: o professor representará, por meio da linguagem científica, os fenômenos que ocorreram no experimento;

5ª Etapa – *Discussão das implicações do fenômeno na sociedade*: abarca discutir as implicações sociais, culturais, políticas, econômicas, tecnológicas e ambientais que o fenômeno apresenta para a sociedade;

6ª Etapa – *Resposta para a pergunta formulada*: permite ao professor responder com clareza e precisão a pergunta feita no início da aula e fazer uma síntese do fenômeno por meio da sua explicação teórica; e

7ª Etapa – *Tratamento dos resíduos produzidos*: o professor deverá chamar a atenção dos alunos para a possível geração de resíduos, no intuito de promover o tratamento adequado, evitando, portanto, impactos ambientais.

Em relação a essas etapas, Silva *et al.* (2019), explicam, ainda, que elas fazem com que os três níveis do conhecimento químico propostos por Johnstone (teórico, representacional e fenomenológico) sejam relacionados entre si de uma forma problematizadora, interdisciplinar e contextualizada. Ainda segundo esses autores, conforme a pergunta inicial, pode ser necessário utilizar o laboratório. Contudo, ressalta-se a necessidade de preferir trabalhar com questões cuja resposta envolva experimentos simples de fácil e rápida execução. Caso não seja possível e a escola não tenha laboratório de Ciências, pode-se optar por simulações em computadores e/ou aplicativos para celular.

Assim, inferimos que a TCM consegue explicar a compreensão dos conceitos científicos envolvidos no experimento por meio dos três níveis do conhecimento. Isto é, a pergunta motivadora (realizada na 1ª etapa) fará com que o aluno se sinta motivado para encontrar a resposta para tal questão. Na realização do experimento (2ª etapa: conhecimento fenomenológico) e na formulação de hipóteses para responder à pergunta problematizadora (3ª etapa: formulação de hipóteses), inferimos que haverá a promoção de *input* na estrutura mental do sujeito, pois será nestes momentos que o estudante poderá compreender certos aspectos, devido à manipulação da atividade prática por parte do professor, bem como por meio do levantamento de hipóteses, dúvidas etc. Do mesmo modo, ocorrerá na representação do fenômeno, ou seja, a etapa

representacional do fenômeno também possibilitará a disponibilização de diversos *inputs* que, ao chegarem na estrutura mental do estudante, poderão ser ancorados em um esquema novo ou, ainda, pré-existente, fazendo, portanto, com que aconteça o processamento das informações recebidas. Por último, o *output* vai ocorrer quando o estudante for capaz de verbalizar e/ou escrever uma possível resposta para a pergunta-problema (6ª etapa). Outra possibilidade metodológica no âmbito da Educação em Ciências é a utilização de jogos. Por isso, explicaremos, em seguida, tendo como arcabouço teórico a TCM como a aprendizagem de um aluno pode acontecer por meio da sua participação em um jogo.

Jogos educativos

Segundo Kishimoto (2021), por volta do século XVI, os jogos educativos, isto é, aquele jogo que pretende ensinar algo a alguém, começaram a ser utilizados na sala de aula, tendo como finalidade proporcionar a aprendizagem. A referida autora comenta, ainda, que, com o uso de jogos, o ensino do pensamento crítico tradicional foi substituído pelo uso de tábuas murais, as quais eram semelhantes aos ábacos, que, conseqüentemente, tornavam a aprendizagem da Escolástica mais fácil e divertida. De acordo com Kishimoto (2021), o baralho também assumiu um caráter educativo quando padres da Companhia de Jesus (jesuítas) começaram a ensinar Dialética com o uso de figuras, o que proporcionava um aprendizado de forma mais dinâmica, lúdica e eficaz.

Com base nisso, Kishimoto (2021) afirma que os jogos começaram a ser utilizados no ensino de diversas disciplinas, como Latim, História, Geografia, Religião e Matemática, com o objetivo de possibilitar o ensino mais lúdico e proporcionar a aprendizagem de conceitos aos alunos. No entanto, a utilização dos jogos na educação não foi unânime. De acordo com Soares (2015), foi apenas no século XX que houve um aumento no número dos jogos educativos, devido ao surgimento de um número considerável de escolas infantis tanto públicas quanto privadas. No que diz respeito ao uso de jogos na Educação em Ciências e, de forma específica, na Química, segundo Soares (2016), eles começaram a ser utilizados, com mais frequência, somente a partir dos anos 2000. A partir desse período, os jogos começaram a ser utilizados, pelos professores, no contexto educacional com o objetivo de auxiliar os alunos nas salas de aulas de Ciências nos aspectos cognitivos, motivacionais, sociais, colaborativos e afetivos. Entretanto, é preciso esclarecer que, de acordo com Brougère (1998), o jogo, em seu sentido *stricto senso*, filosófico, lúdico, divertido, prazeroso, entre outros aspectos, dificilmente redescobrirá um valor educativo e, por isso, não deve ser utilizado como um recurso na educação. Contudo, para que o jogo possa ser utilizado na educação, ele precisa, segundo Cleophas *et al.* (2018), ter um objetivo didático, constituindo uma nova variante do jogo *stricto senso*, sendo chamado, por estes autores, de jogo educativo.

Assim, para Cleophas *et al.* (2018), o jogo educativo é um arremedo do jogo *stricto senso* e é planejado para fazer emergir diferentes destrezas nos indivíduos, tendo, em sua essência, uma finalidade pedagógica definida e restrita, do tipo formalizada e intencional. Desse modo, Cleophas *et al.* (2018) classificam o jogo educativo (JE) em duas dimensões: jogo

educativo informal (JEI) e jogo educativo formal (JEF), de modo que o informal não tem compromisso com o ensino de conteúdos curriculares e o formal possui uma intencionalidade pedagógica. Além dessa classificação, o jogo educativo formal pode ser desmembrado nas seguintes concepções: jogo didático e jogo pedagógico. O jogo didático é, segundo Cleophas *et al.* (2018), usado para reforçar conteúdos ou como instrumento para avaliação diagnóstica, pois normalmente ele é trabalhado após a discussão do conteúdo. Ainda de acordo com estes autores, o jogo didático é adaptado de jogos já existentes tanto na literatura quanto do cotidiano lúdico, incluindo desde jogos de tabuleiro até jogos mais modernos como os eletrônicos. Já o jogo pedagógico, conforme Cleophas *et al.* (2018), é aquele que pode ser utilizado para ensinar conceitos sem necessidade de o professor tê-los discutido anteriormente, ou seja, faz-se uma primeira aproximação com o conteúdo por meio do jogo.

Entendemos que a TCM consegue explicar como acontece a aprendizagem de conceitos da Ciência por meio da utilização de jogos no ensino. Desse modo, inferimos que os próprios elementos presentes no escopo do jogo, como, por exemplo, as regras, podem se constituir de símbolos que serão levados até a estrutura mental do estudante por meio dos *inputs*. Um exemplo prático é quando crianças, jovens e/ou adultos participam do Jogo Perfil[®]. Neste jogo, os participantes vão recebendo "pistas" de uma charada que está relacionada com pessoas, anos, coisas ou lugares. Quanto mais dicas a pessoa recebe, mais possibilidades o jogador tem de ganhar, haja vista que mais símbolos estão sendo "*inputados*" para dentro da estrutura mental do indivíduo. Assim, fazendo um paralelo com a TCM, inferimos que as pistas do referido jogo se constituem como símbolos e o fato de as pistas serem verbalizadas para os demais jogadores se constitui no movimento de *input*. Isto é, levar o símbolo até a estrutura mental do sujeito que o processará e dará origem a um *output* por meio da fala da resposta para a charada, por exemplo. Em Silva e Soares (2021), apresentamos um jogo, baseado no Perfil[®], denominado: *GeomeQuímica*, para ensinar conceitos de ângulo de ligação, polaridade e geometria molecular, utilizando a Teoria Computacional de Mente. Outra possibilidade de explicar a aprendizagem de Ciências por meio da TCM é por intermédio do uso dos Três Momentos Pedagógicos, como mostraremos a seguir.

Três momentos pedagógicos

De acordo com Delizoicov *et al.* (2018), os momentos pedagógicos apresentam a problematização implícita em seus momentos e permite ao professor de Ciências, a partir de aspectos relacionados à realidade dos alunos, discutir, refletir, investigar, dialogar e problematizar determinadas situações. Segundo os autores, os três momentos pedagógicos são assim organizados:

1º Momento – *Problematização inicial*: o professor apresenta aos estudantes as questões e/ou situações para a discussão;

2º Momento – *Organização do conhecimento*: os conhecimentos específicos para entendimento na problematização são estudados, pelos alunos, sob a orientação do professor;

3º Momento – Aplicação do conhecimento: o conhecimento é analisado e interpretado à luz das situações iniciais para determinar uma solução para a problematização inicial.

Os momentos pedagógicos, conforme Delizoicov *et al.* (2018), são oriundos dos pressupostos freirianos e capazes de proporcionar uma aprendizagem de conceitos científicos que estejam diretamente relacionados ao cotidiano dos nossos alunos, o que é positivo, uma vez que tais conceitos estudados não terão um fim em si mesmo, mas estarão atrelados à realidade dos alunos.

Desse modo, inferimos que, da mesma forma que na *formulação de uma pergunta* na experimentação do tipo demonstrativo-investigativa, a problematização inicial presente no primeiro momento é quando o professor fará com que o aluno se motive com a aula para buscar uma solução possível para a questão-problema. Por outro lado, o segundo momento é o espaço em que o professor discutirá com os seus estudantes os aspectos teóricos, bem como as exemplificações para a teoria estudada. Logo, inferimos que será no segundo momento que o aluno receberá os *inputs* que serão levados até a estrutura mental dele e resultará em uma aprendizagem por meio do *output* que virá no terceiro momento, uma vez que, neste último momento, será determinada uma possível resposta para a questão-problema por meio de sínteses, relatos, construção de maquetes, entre outras coisas.

Ao finalizarmos este texto, temos consciência que a nossa intenção não é apontar as respostas para todas as perguntas que a TCM suscita, mas demonstrar possibilidades a serem estudadas e pesquisadas tendo como referência esta teoria que ainda é muito recente, densa e completa para o fim a que se destina. Em seguida, apresentamos uma tentativa de fechamento por meio do apontamento de algumas contribuições e limitações deste artigo para a Educação em Ciências.

Conclusões

Ao concluir este artigo, acreditamos que ele pode contribuir com a área de Educação em Ciências em, pelo menos, quatro questões, a saber: *i)* incentivar estudos sob a ótica piagetiana; *ii)* possibilitar outras abordagens para o processo de aprendizagem; *iii)* compreender a aprendizagem por meio de diferentes metodologias; e *iv)* mostrar a relação entre TCM e Epistemologia Genética. A seguir, explicitaremos cada uma destas contribuições.

No que diz respeito ao incentivo a estudos sob a ótica piagetiana, entendemos que este artigo pode estimular outros pesquisadores a realizar seus trabalhos tendo como sustentáculo teórico a Epistemologia Genética de Piaget em diversas áreas, sobretudo na Educação em Ciências devido ao viés construtivista e social que tal área tem assumido nos últimos anos. Acreditamos que é necessário incentivar pesquisas que abordem questões relacionadas aos estudos piagetianos, pois temos observado, recentemente, diversas pesquisas que tratam sobre o processo de aprendizagem de Ciências, para o qual os estudos de Jean Piaget podem, especialmente, contribuir de forma positiva.

Ao abordarmos a Teoria Computacional da Mente, inferimos que nosso trabalho pode auxiliar professores da educação básica, alunos de licenciaturas e pesquisadores a entenderem o processo de aprendizagem dos conceitos científicos por meio da TCM com seus conceitos de *input*, *output*, processamento e símbolo. Acreditamos que esse fato seja positivo, pois foge das teorias tradicionais.

A terceira contribuição visa apontar, por meio de metodologias tradicionais de ensino, como a aula expositiva, e, também, metodologias não tradicionais, como, por exemplo, experimentação demonstrativo-investigativa, jogos e três momentos pedagógicos, pistas sobre como a Teoria Computacional da Mente consegue explicar algumas das complexas explicações para a aprendizagem de conceitos científicos.

Como quarta contribuição, este texto propicia a possibilidade de relacionar a Teoria Computacional da Mente com a Epistemologia Genética de Piaget, apontando para o fato de que estas novas teorias, como, por exemplo, a TCM, sempre estão imbricadas de aspectos teóricos já existentes e mais antigos que não são necessariamente citados.

Por fim, esperamos que este artigo possa ser capaz de direcionar a área de Educação em Ciências, fazendo com que as contribuições aqui expostas sejam, de fato, utilizadas para conduzir as futuras pesquisas, bem como para o aprofundamento da Teoria Computacional da Mente e sua relação com a Educação em Ciências, haja vista que, como todo texto, este tem suas limitações e, portanto, não visa conceder todas as respostas, mas apenas provocar para que novas discussões possam ser suscitadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de Produtividade em Pesquisa e de Mestrado, que auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa que originou este trabalho.

Referências bibliográficas

Boettcher, J. (2000). Designing for Learning: What Is Meaningful Learning?, *Syllabus*, (14)1, 54-56.

Brougère, G. (1998). *Jogo e Educação*. São Paulo: Artes Médicas.

Caicedo, O. D. (2015). Cómo Funciona la Mente: Fodor contra Pinker. *Revista Amauta*, Barranquilla, (26), 181-191.

Castañon, G. A. (2006). A Crise do Computacionalismo: por uma Nova Metáfora Computacional. *Ciências & Cognição*, Rio de Janeiro, (9), 27-41.

Cleophas, M. G.; Cavalcanti, E. L. D.; Soares, M. H. F, B. (2018). Afinal de Contas, é Jogo Educativo, Didático ou Pedagógico no Ensino de Química/Ciências? Colocando os Pingos nos "is". In: Cleophas, M. G.; Soares, M. H. F. B. (Org), *Didatização Lúdica no Ensino de Química/Ciências*. São Paulo: Livraria da Física, 33-43.

Davenport, D. (2012). Computationalism: Still the Only Game in Town. *Minds & Machines*, (22), 183-190.

Delizoicov, D.; Angotti, J. A.; Pernambuco, M. M. (2018). *Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos*. São Paulo: Cortez.

Eysenck, M. W.; Keane, M. T. (2017). *Manual de Psicologia Cognitiva*. Porto Alegre: Artmed.

Ferreira, L. H.; Hartwig, D. R.; Oliveira, R. C. (2010). Ensino Experimental de Química: Uma Abordagem Investigativa Contextualizada. *Química Nova na Escola*, (32)2, 101-106.

Horst, S. (2005). *The Computational Theory of Mind*. Stanford: Stanford University Press.

Izquierdo, I. (2004). A Mente Humana. *MultiCiência*, São Carlos, (3)1, 1-7.

Kishimoto, T. M. (2021). *O Jogo e a Educação Infantil*. São Paulo: Cengage Learning.

Libâneo, J. C. (2013). *Didática*. São Paulo: Cortez.

Lopes, R. G.; Vasconcellos, S. (2008). Implicações da Teoria da Evolução para a Psicologia: A Perspectiva da Psicologia Evolucionista. *Estudos de Psicologia*, Campinas, (22)1, 123-130.

Mackedanz, L. (2017). O Ensino através de Projetos como metodologia ativa de ensino e aprendizagem. *Thema*, (14)3, 122-131.

Makirriain, J. M. Z. (2014). Acerca del carácter representacional de la mente: la mente representacional. *Psychology, Society e Education*, Almería, (6)2, 125-144.

Mendonça, P. C. C.; Ibraim, S. S. (2019). Argumentação no Ensino de Química. In: Santos, W. L. P.; Maldaner, O. A.; Machado, P. F. L. (Org.). *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Unijuí, 217-235.

Montangero, J.; Naville, D. M. (1998). *Piaget ou a Inteligência em Evolução*. Porto Alegre: Artmed.

Montoya, A. S. D. (2006). Pensamento e Linguagem: Percurso Piagetiano de Investigação. *Psicologia em Estudo*, Maringá, (11)1, 119-127.

Mortimer, E. F. (2019). As Chamas e os Cristais Revisitados: estabelecendo Diálogos entre a Linguagem Científica e a Linguagem Cotidiana no Ensino das Ciências da Natureza. In: Santos, W. L. P.; Maldaner, O. A.; Machado, P. F. L. (Org.). *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Unijuí, 157-173.

Oliva, A. D.; Otta, E.; Ribeiro, F. L.; Bussab, V. S. R.; Lopes, F. A.; Yamamoto, M. E.; Moura, M. L. S. (2006). Razão, Emoção e Ação em Cena: A Mente Humana sob um Olhar Evolucionista. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, Brasília, (22)1, 53-62.

Osterhaus, C.; Koerber, S. (2023). The Complex Associations Between Scientific Reasoning and Advance Theory of Mind. *Child Development*, (94), 18-42.

Pádua, G. L. D. A (2009). Epistemologia Genética de Jean Piaget. *Revista da Faculdade Cenecista de Vila Velha*, Vila Velha, (2), 22-35.

Pantaleão, N. C. A. (2016). Uma Análise do Conceito de Inteligência através da noção de Modelo na Ciência Cognitiva. *Problemata: Revista Internacional de Filosofia*, João Pessoa, (7)2, 241-253.

Piaget, J. (1976). *A Equilibração das Estruturas Cognitivas*. Rio de Janeiro: Zahar Editores.

Piaget, J. (1977). *A Tomada de Consciência*. São Paulo: Melhoramentos.

Piaget, J. (1978). *Fazer e Compreender*. São Paulo: Melhoramentos.

Piaget, J. (2012). *A Epistemologia Genética*. São Paulo: Martins Fontes.

Piaget, J. (2017). *O Nascimento da inteligência na Criança*. Rio de Janeiro: LTC.

Piaget, J. (2019). *Seis Estudos de Psicologia*. Rio de Janeiro: Forense Universitária.

Piccinini, G.; Bahar, S. (2013). Neural Computation and the Computational Theory of Cognition. *Cognitive Science*, Weinheim, (34), 453-488.

Pinker, S. (1998). *Como a Mente Funciona*. São Paulo: Companhia das Letras.

Pinker, S. (2004). *Tábula Rasa*. São Paulo: Companhia das Letras.

Pinto, M. C. (2000). Teoría Computacional de la Mente. *Revista Medicina*, Bogotá, (22)3, 188-192.

Pozo, J. I.; Crespo, M. A. G. (2009). *A Aprendizagem e o Ensino de Ciências: do Conhecimento Cotidiano ao Conhecimento Científico*. Porto Alegre: Artmed.

Silva, C. S.; Soares, M. H. F. B. (2021). Geomequímica: um jogo baseado na Teoria Computacional da Mente para a aprendizagem de conceitos de Geometria Molecular. *Química Nova na Escola*, (43)4, 371-379.

Silva, R. R.; Machado, P. F. L.; Tunes, E. (2019). Experimentar Sem Medo de Errar. In: Santos, W. L. P.; Maldaner, O. A.; Machado, P. F. L. (Org.). *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Unijuí, 195-216.

Soares, M. H. F. B. (2015). *Os Jogos e as Atividades Lúdicas no Ensino de Química*. Goiânia: Kelps.

Soares, M. H. F. B. (2016). Jogos e Atividades Lúdicas no Ensino de Química: uma Discussão Teórica Necessária para Novos Avanços. *Revista Debates em Ensino de Química*, (2)2, 5-13.

Sternberg, R. J.; Sternberg, K. (2017). *Psicologia Cognitiva*. São Paulo: Cengage.

Timm, M. I. (2004). Computador Neural que Identifica Objetivos e Estratégias para Obtê-los. *Novas Tecnologias na Educação*, Porto Alegre, (2)1, 1-7.

Tooby, J.; Cosmides, L. (1990). The Past Explains the Present: Emotional Adaptations and the Structure of Ancestral Environments. *Ethology and Sociobiology*, Cambridge, (11)1, 375-424.

Turing, A. M. (1936). On Computable Numbers, with in Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, Londres, (12), 230-265.

Yasar, O. (2016). Cognitive Aspects of Computational Modeling and Simulation in Teaching and Learning. *Journal of research in STEM Education*, (2)1, 19-38.