

# A OBRA DE FRANCISCO VARELA COMO UMA TEORIA DE APRENDIZAGEM: UMA EXPERIÊNCIA DE ENSINO COM UM ESTUDANTE COM DÉFICIT DE APRENDIZAGEM

*Francisco Varela's Work as a Learning Theory: A Teaching Experience with a Student with Learning Deficit*

**Iramaia Jorge Cabral de Paulo** [iramaiaj@gmail.com]

**Sérgio Roberto de Paulo** [sergioufmt@gmail.com]

**Zeina A. Arruda** [zeinaarruda745@gmail.com]

*Instituto de Física – Universidade Federal de Mato Grosso  
Av. Fernando Correa, S/N – 78.060-900 – Cuiabá-MT*

## Resumo

Neste trabalho, são apresentados elementos da obra do neurocientista chileno Francisco Varela que têm potencialidade para contribuir com o escopo das teorias de ensino-aprendizagem da área de Ensino de Ciências. É reportada uma experiência de ensino em que o processo de aprendizagem de um estudante com déficit de aprendizagem é analisado sob o ponto de vista da obra de Varela.

**Palavras-chave:** Aprendizagem, Ensino de Ciências, enação, acoplamento estrutural.

## Abstract

In this paper, it is exposed some aspects of the work of the Chilean neuroscientist Francisco Varela which potentially can contribute with the teaching-learning theories as a whole in science teaching. A learning experience is reported by analyzing the cognition process of a student with poor learning capacity under the Varela point of view.

**Keywords:** Learning, science teaching, enaction, structural coupling.

## Introdução

A obra do médico, biólogo e neurocientista chileno Francisco Varela apresenta elementos que tratam de processos de aprendizagem por parte do ser humano que são inéditos, quando comparada com teorias de aprendizagem propriamente ditas, reconhecidas como tal pela comunidade de pesquisadores em ensino de ciências. A proposta desse trabalho é fazer um levantamento desses elementos visando contribuir para a estruturação futura de princípios sobre os processos de ensino-aprendizagem.

Nascido em 1942 e falecido em 2001, vítima de hepatite C, Francisco Varela, ao longo de sua carreira, adquiriu fama e respeito pelos resultados de suas pesquisas e articulações teóricas. Foi autor de um respeitável número de artigos e livros publicados, tendo sido diretor de um dos centros da Universidade de Paris.

Neste trabalho, serão analisados elementos de três de suas obras: *De Máquinas e Seres Vivos* (1980), *A Árvore do Conhecimento* (1987) e *The Embodied Mind* (não traduzido para o português) (1991), sendo os dois primeiros em co-autoria com Humberto Maturana. Adicionalmente, será feita uma análise de uma experiência de ensino com um jovem com déficit de aprendizagem, do ponto de vista da obra de Varela.

## **De Máquinas e Seres Vivos**

Nessa obra são definidos alguns importantes conceitos que foram incorporados na área de Ensino de Ciências no Brasil, sobretudo no que diz respeito à *Epistemologia de Humberto Maturana*, um tema já bem estabelecido na área (Moreira, 2004; Barcelos, 2006). Talvez o mais importante desses conceitos seja o de *autopoiese*. Não nos deteremos aqui na definição desse termo, já bastante conhecido na área, mas destacamos o propósito geral da obra: a distinção entre seres vivos e máquinas.

O argumento de Maturana e Varela é que o paradigma de que os seres vivos são como máquinas não se sustenta, havendo diferenças fundamentais entre ambos. Contudo, mais importante que isso é que a distinguibilidade entre seres vivos e máquinas acaba inevitavelmente invadindo a esfera da cognição, “invasão” essa que é o ponto nevrálgico da utilização das teorias dos dois pesquisadores na área de Ensino de Ciências.

Embora os autores não explicitem completamente nessa obra, pois talvez não fosse o seu objetivo, mas ela, como um todo, acaba definindo a aprendizagem como um conjunto de processos análogos aos processos biológicos. Assim, poderíamos resumir o todo dessa obra, de maneira simplória, como:

**Aprender = Viver**

## **A Árvore do Conhecimento**

O sentido dessa identidade entre o aprender e o viver talvez esteja mais esclarecida, ao longo da obra dos dois pensadores em *A Árvore do Conhecimento*. Segundo Maturana e Varela “todo fazer é um conhecer e todo conhecer é um fazer”. O *fazer* se refere aos processos dinâmicos que caracterizam e constituem o vivo. Assim, se todo fazer é um conhecer, tudo o que é vivo se constitui como um ou mais processos de aprendizagem. Assim, uma mera célula, ao longo do período de sua existência, essencialmente *aprende*, assim como um animal dito irracional e o ser humano e, conforme é mais explícito na obra de Varela independente de Maturana, conforme visto a seguir, a aprendizagem não se resume a processos cerebrais.

Contudo, os seres vivos não são sistemas isolados, mas sistemas em interação com o meio, algo que também caracteriza essencialmente o *fazer*. Dessa forma, os autores têm que se servir de conceitos da Teoria da Complexidade, a teoria que trata de sistemas abertos, em interação com o meio e, portanto, fora do equilíbrio (Nicolis and Prigogine, 1989). Um dos principais conceitos trazidos dessa teoria é o de *acoplamento estrutural*.

Acoplamento estrutural é um termo comumente utilizado na Teoria dos Sistemas Complexos para designar a interação de um sistema aberto com o meio. Segundo essa teoria, sistema e meio se influenciam mutuamente. Essa é uma perspectiva que se diferencia daquela gerada popularmente a partir da teoria darwiniana, onde as características dos sistemas vivos são consequência da adaptação das espécies a um meio pré-definido.

Um exemplo já clássico de acoplamento estrutural é o da regulação da salinidade do mar (Lovelock, 1995). É sabido que a maioria das espécies marinhas pluricelulares não pode sobreviver num meio aquoso cuja salinidade seja superior a 6%. Nessa condição, as membranas celulares simplesmente são degradadas. Contudo, levando-se em conta as quantidades de elementos, tais como, cloro, sódio e potássio, que chegam ao mar a partir da erosão do solo e de rochas litorâneas, essa concentração deveria ser significativamente maior que esse limite. Para explicar a baixa salinidade marinha, deve haver, portanto, algum mecanismo natural que retire o sal do mar numa taxa pelo menos comparável à taxa de entrada dos elementos citados. Assim, durante décadas, ao longo do século XX, cientistas de diversas áreas buscaram qual seria o mecanismo pelo qual o sal é retirado do mar. Descobriu-se que o principal desses mecanismos é a formação de lagoas próximas ao litoral. Durante a maré alta, as águas salgadas invadem as lagoas. Durante a maré baixa, a água fica represada. Parte evapora, voltando ao mar na forma dessalinizada e o sal se cristaliza nas bordas das lagoas. Contudo, descobriu-se que as lagoas surgem, ao longo de milhares de anos, pelo crescimento dos recifes de corais, cuja atividade mais intensa acontece nas proximidades da orla marítima e, é claro, representa um fenômeno biológico. Microorganismos depositam grandes quantidades de cálcio em locais específicos, formando os recifes, justamente porque, como o sal, o cálcio em excesso é venenoso para o meio intracelular. Assim sendo, pode-se dizer que o meio-ambiente e os seres vivos estão acoplados estruturalmente. Nessa perspectiva, ambos se influenciam mutuamente e ambos são modificados.

Contudo, Maturana e Varela (2005) ressaltam uma importante característica do acoplamento estrutural que se constitui numa componente importante de como os autores definem a aprendizagem humana e que é fundamental para a compreensão do processo de autopoiese: o papel das estruturas internas dos sistemas. Afirmam os autores que o resultado da influência (ou “perturbação”, termo usado pelos autores) do meio sobre o sistema ou da influência do sistema sobre o meio não é determinado pela perturbação em si, mas também pela estrutura interna dos sistemas. Assim sendo, no caso, por exemplo, da salinidade do mar, a concentração de sal na água existente nos mares atualmente não é fruto simplesmente da ação dos microorganismos que depositam o cálcio nos corais, mas da estrutura do meio (disponibilidade de cálcio, temperatura, geografia do litoral, etc.). Da mesma forma, a influência do meio sobre os seres vivos será influenciada pela estrutura interna desses seres vivos.

Como os autores estão trabalhando na perspectiva de que aprender = viver, tal fato tem implicações sobre o processo de aprendizagem. Segundo os autores (*Op. Cit.*), há duas tendências no que diz respeito ao entendimento do papel dos seres humanos no mundo: o *Representacionismo*, no

qual somos representação do mundo e o *Solipsismo*, no qual somos determinados apenas pela nossa estrutura interna. Em termos populares, na primeira perspectiva, somos apenas fruto do meio e, na segunda, apenas de nossa carga genética. Os autores criticam a crença exclusiva em cada uma das duas perspectivas. Em contraposição ao Representacionismo, eles citam os experimentos com globos oculares em sapos. Num desses experimentos, retira-se o globo ocular de um jovem sapo, sem destruir os nervos ópticos e costura-se novamente o olho em posição invertida. O resultado é que, quando o sapo vê uma mosca, ele projeta a língua numa direção invertida. Ou seja, a ação do sapo é influenciada pela sua estrutura interna. Em contraposição ao Solipsismo, os autores citam o famoso caso das crianças indianas que foram criadas por lobos. Mesmo quando as crianças voltaram ao convívio humano, elas ainda passaram a se comportar como lobas, revelando a importância da influência do meio. Assim sendo, nenhuma das duas perspectivas, tomadas individualmente, pode descrever o processo da aprendizagem, que seria fruto do acoplamento estrutural do indivíduo com o meio.

O processo de aprendizagem, portanto, se dá por uma terceira via, que não pode ser reduzida nem ao Solipsismo puro, nem ao Representacionismo. Essa via é chamada de “acoplamento de terceira ordem” por parte dos autores:

*O que a biologia nos mostra (...) é que a unicidade do ser humano, seu patrimônio exclusivo, está num acoplamento estrutural social em que a linguagem tem um duplo papel. Por um lado, gerar as regularidades próprias do acoplamento estrutural social humano, que inclui, entre outros, o fenômeno das identidades pessoais de cada um. De outra parte, constituir a dinâmica recursiva do acoplamento estrutural social, que produz a reflexividade que conduz ao ato de ver sob uma perspectiva mais ampla. Trata-se do ato de sair do que até esse momento era invisível ou inamovível, o que permite ver que como seres humanos só temos o mundo que criamos com os outros. (Ibid).*

Assim, o acoplamento de terceira ordem, via por onde se processa a aprendizagem, é desenvolvido por meio da linguagem, a qual estabelece o contato necessário entre o indivíduo e uma componente especialmente importante do meio: os outros indivíduos da mesma espécie. Tal acoplamento estrutural social, por um lado, permite a interação do ser humano com outros e, por outro, ratifica dos parâmetros para o estabelecimento de sua própria identidade pessoal.

A aprendizagem como um acoplamento estrutural social tem duas conseqüências. O primeiro é que se deve aceitar uma identidade entre ação e conhecimento. A segunda é que, já que a aprendizagem se dá em interação com outros de nossa espécie (mesmo que ela ocorra pela leitura de um livro, foi um ser humano quem o escreveu), pode-se dizer que, utilizando os termos dos autores, sem amor, sem a aceitação do outro, não há fenômeno social. Tal asserção estabelece evidentemente um componente moral no ato de aprender, conforme melhor explorado adiante.

### **A mente incorporada**

A palavra “incorporada”, segundo Varela e colaboradores (Varela *et al.*, 1999), significa que a aprendizagem não pode ser resumida a um mero processo cerebral. O termo significa que tanto cérebro quanto corpo como um todo devem ser considerados. A interação do indivíduo com o meio

e com seus semelhantes não se dá pelo estabelecimento de elos mentais, mas pela ação de todo o aparelho neurofisiológico dos indivíduos.

É bom lembrar que uma das especialidades de Francisco Varela é a neurofisiologia, assim, suas afirmações se baseiam em experimentos concretos envolvendo o funcionamento do sistema neurofisiológico do ser humano. Ele e seus colaboradores citam, por exemplo, casos que podem ser caracterizados como aprendizagem e que não têm o cérebro como protagonista central, como no caso da aprendizagem de que o fogo queima, ou que devemos levar as mãos à frente quando caímos. Os experimentos com pessoas ligadas a eletrodos, nessas situações, demonstram que a resposta do organismo se dá antes que a informação da queda ou da presença da chama chegue ao cérebro. Contudo, a construção da linha de argumentação desse autor em *The Embodied Mind*, se dá justamente através da descrição de algumas características da mente e da consciência humana.

Segundo Varela e colaboradores (*Op.Cit.*), a consciência humana é fundamentalmente desunificada e a origem do sofrimento humano está justamente na tendência de se apegar e construir um senso de *self*, ou ego, onde não há nenhum. Dentro do acoplamento estrutural de terceira ordem entre o indivíduo e o meio, o sistema neurofisiológico humano funciona de tal forma que faz com que as nossas experiências pessoais sejam fragmentárias. O cérebro, por exemplo, um dos principais elementos desse sistema sensorial, funciona em *frames* com duração entre 0,1 e 0,2 segundos. E a nossa psique, como um todo, é constituída por uma sequência de diferentes consciências. Dessa forma, um momento de consciência surge, parece durar por um instante e então desaparece, sendo substituído pelo próximo momento. Consequentemente, nossa memória é fragmentada, bem como nossas idéias, sentimentos e, enfim, percepções.

Dessa forma, a consciência humana é fundamentalmente um conjunto complexo de diferentes momentos de percepção, formando uma estrutura. Assim, somos constituídos por um *agregado* de experiências. Cada agregado, embora seja pleno em experiências, é vazio de *self*. É tal fragmentação que causa sofrimento ao ser humano e boa parte de suas dificuldades de melhor progredir no processo de ensino-aprendizagem. E a essência do sofrimento vem da **necessidade** de possuir uma identidade própria, ou seja, de um *self*.

Nesse aspecto, a teoria de Francisco Varela, se ela puder ser chamada assim, tem implicações concernentes à área da psicologia. Segundo esse autor e seus colaboradores, ao longo da história da psicologia, os seus construtores se basearam na perspectiva da existência de *drives*, ou elementos que direcionam as atitudes humanas. Freud defendia que o sexo era o principal *drive* da psique humana. Adler, que é a *vontade de poder*. Já Jung defende o ponto de vista que é o *Processo de Individuação*. Contudo, Varela se baseia em teorias de psicólogos modernos, tais como Greenberg e Mitchell. A teoria desses autores (*Object Related Theory*), estabelece como principal drive da espécie humana a necessidade de se estabelecer relações sociais (Greenberg and Mitchell, 1983).

A busca de estabelecer relações sociais se dá pela ansiedade de se definir uma identidade própria, um *self*. Daí, tem-se diversos fenômenos sociais próprios dos jovens em idade escolar, como a formação de “tribos” e vestimentas, atos e aparências próprias de grupos específicos, como roqueiros, skin-heads, moicanos, “darks” e “emos”.

É nesse contexto que o sofrimento ocorre porque em nossa psique não há propriamente um *self*, uma identidade, mas sim um aglomerado de experiências fragmentárias associadas numa estrutura fractal, ou seja, com forma complexa.

Contudo, é nesse contexto que aprendizagem ocorre. É nesse contexto que a aprendizagem surge, tal qual uma forma definida no meio do caos. Tal qual a própria forma humana, que surge da associação aparentemente aleatória de átomos e moléculas a partir do óvulo fecundado. Então, para descrever o processo de como a aprendizagem ocorre, de como um conceito é construído a partir de uma miríade de fragmentos agregados de experiências, é que os autores se utilizam de elementos da Teoria da Complexidade.

Então, seguindo essa linha de raciocínio, Francisco Varela e colaboradores definem a aprendizagem como uma *propriedade emergente* (termo da Teoria da Complexidade) do processo de *auto-organização* (outro termo dessa teoria) dos agregados.

## Enação

Chega-se, então, ao âmago da teoria de Varela: a própria mente incorporada. E, como esclarecem os autores (Varela *et al.*, 1999), o termo *incorporada* envolve dois pontos: Primeiro, a cognição depende dos tipos de experiência que resultam do fato de possuímos um corpo com várias capacidades sensório-motoras. Segundo, tais capacidades individuais sensório-motoras estão embebidas num contexto biológico, psicológico e cultural mais amplo. Novamente, a aprendizagem não pode ser reduzida a um processo que envolvem apenas o cérebro, mas, antes, todo o aparato neurofisiológico humano, incluindo, é claro, o próprio cérebro.

Outro aspecto fundamentalmente importante é a caracterização da ação como elemento essencial da cognição. Varela e colaboradores, ao longo de toda a obra (*The Embodied Mind*) revelam que a aprendizagem não seria possível sem a ação em nenhuma circunstância. Ou seja, em qualquer que seja a aprendizagem, mesmo nas tidas como passivas, que ocorrem em decorrência da aula expositiva ou da leitura de um livro, existe uma ação, uma ação incorporada, e essa ação tem características bem definidas na visão de Varela. Fundamentalmente, trata-se de uma *ação guiada perceptualmente*. Este termo decorre do fato de que a aprendizagem não se dá apenas pelas características da informação que vem de fora, mas também pela própria estrutura interna do aprendiz. Assim, a aprendizagem se caracteriza pela emergência de estruturas cognitivas, ou seja, conhecimento organizado, a partir de perfis sensório-motores recorrentes que tornam possível que as ações sejam guiadas perceptualmente. Desta forma, não é suficiente que a informação esteja disponível ao aprendiz, para de fato aprender ele precisa contar com uma ação guiada perceptualmente para que ele assimile as informações disponíveis.

Para ilustrar esse processo, Varela e colaboradores citam algumas situações experimentais realizados por pesquisadores da área de neurofisiologia. Na primeira, gatos foram criados no escuro, em condições de luminosidade controlada. Nessas condições, um grupo de gatos era colocado numa sala para se mover livremente, mas cada um deles era atrelado a uma gaiola com rodas, no interior da qual havia outro gato. Assim, ambos os gatos estavam submetidos às mesmas condições visuais, ou seja, podiam ver a mesma coisa, contudo, apenas um deles podia se mover por vontade própria, o outro estava sujeito a uma observação passiva do ambiente. Após várias vezes em que os animais

eram submetidos a essa situação, ambos eram soltos no ambiente. Constatou-se que apenas os que se moveram podiam se deslocar de maneira normal. Aqueles que estiveram presos nas gaiolas, se chocavam contra objetos e se atrapalhavam ao andar. No outro experimento, pesquisadores adaptaram uma *câmara tátil* para ser usada por seres humanos cegos. A câmara convertia imagens que captava em toques físicos na pele do paciente, em padrões pré-definidos. Um grupo de cegos podia mover a câmara por sua própria vontade, estando ela acoplada as suas cabeças ou aos braços. O segundo grupo não tinha a liberdade de mover as câmeras. Os membros do primeiro grupo, após algumas horas de utilização do dispositivo, conseguiram “ver” o que estava ao seu redor, ou seja, identificar objetos e o entorno através das sensações táteis, enquanto que os membros do segundo grupo não o conseguiram.

Ao processo segundo o qual a aprendizagem ocorre, que envolve tanto a disponibilidade da informação quanto a ação guiada para percebê-la, Varela dá o nome de *enação*. Essencialmente, aprendizagem seria enação.

No processo de enação, contudo, a informação disponível do meio não é assimilada pelo aprendiz de maneira invariável. Aprendizes diferentes em contato com a mesma situação de ensino-aprendizagem aprenderão de maneira diferente. Isso ocorre, na visão de Varela, por que a estrutura cognitiva emergente também depende da estrutura interna do aprendiz. Assim, a cognição não pode ser vista como representação, mas como ação incorporada. O mundo que cognizamos não é pré-definido, mas *enatido* através de nossa história de acoplamentos estruturais. Sendo assim, a forma como aprendemos é claramente dependente de nossa história pregressa, de experiências fragmentárias.

Finalmente, o aspecto central da posição enativa está na contradistinção à visão de que percepção é fundamentalmente a reconstrução verdadeira de uma porção do mundo físico através do registro da informação ambiental existente. Na abordagem enativa, a realidade não é dada: é dependente do perceptor, não porque o perceptor a constrói da maneira que lhe agrada, mas porque o que ele conta como relevante do mundo é inseparável de sua própria estrutura.

### **Uma experiência de ensino com um estudante com déficit de aprendizagem**

Bill (nome fictício) é um aluno do Ensino Fundamental de uma escola pública do interior do Mato Grosso que, devido a complicações no parto, ficou com múltiplas deficiências, de ordem motora (membros inferiores e superiores), baixa visão e alto grau de déficit de aprendizagem.

A experiência de ensino descrita aqui foi realizada num único dia, numa sala relativamente confortável da escola, num encontro entre Bill e uma das autoras deste trabalho, em torno de uma mesa. O objetivo do encontro era a aprendizagem do conceito e operação matemática da raiz quadrada. Para isso, foi confeccionado um material concreto, feito de madeira (Figura 1), que consistia de cem peças, cada uma indicando um número diferente. A título de descrição do encontro, passamos, em seguida, à reprodução das notas de campo da pesquisadora:

*Ele entrou na sala um pouco receoso e cismado, mas depois relaxou e ficou mais tranquilo. A experiência foi iniciada explicando para ele o conceito de raiz quadrada, pois, em encontros anteriores, o mesmo não soube definir esse conceito. Então foi mencionado que a frase raiz quadrada*

vem do latim *radix quadratum*, que surgiu em 1202 em livro intitulado “Ábaco de Leonardo de Pisa” e que essa frase significa “o lado do quadrado”. Assim, toda vez que ele ouvir falar em raiz quadrada, está referindo-se a medida do lado de uma figura plana quadrada, que no cotidiano poderia ser: uma sala, o assento de um tamborete, um quadro...então ele disse (apoiando as duas mãos sobre), a mesa. Como a mesa que estávamos ocupando tem formado retangular e não quadrado, tive que retomar e explicar para ele, que poderia ser a mesa se ela fosse um pouco menor, se caso ela tivesse os lados iguais, a medida dos lados iguais. Então ele disse “se tivesse quatro cadeiras né?”. Pensei um pouco e concordei, afirmando que não podia ser mesa redonda. Na verdade, nem todas mesas que tem quatro cadeiras são quadradas, mas como percebi que ele entendeu esse conceito, concordei. Em seguida posicionei os blocos sobre a mesa de modo a formar um quadrado de lado 10. Apresentei a ferramenta a ele e, enquanto arrumava a sequência numérica dos blocos (do quadrado), disse o nome e como foi feito. Nesse momento ele pegou algumas peças e ficou a olhar curiosamente. Então, como o quadrado estava pronto, expliquei para ele que esse material poderia ajudá-lo nos cálculos tanto de raiz quadrada, quanto na multiplicação de números inteiros. Ele apenas sorriu timidamente.

Então comecei a demonstrar a ele que aquele quadrado tinha dez peças (blocos) de cada lado, ele se pôs a contar. Esperei-o terminar e voltei a explicar que se multiplicasse os lados do quadrado  $10 \times 10$ , daria a quantidade de peças que tinha sobre a mesa, ou seja, 100 peças. Assim se me perguntasse qual seria a raiz quadrada de 100, seria o mesmo que perguntar qual a medida do lado de um quadrado com a área de 100. Depois disso, diminuí o quadrado, tirando algumas peças, e demonstrei um quadrado com 81 peças, questionando sobre a quantidade de peças que tinha em cada lado. Ele se pôs a contar, e nesse momento desfez acidentalmente o quadrado. Ele usava luva, devido à baixa temperatura na sala em função do ar condicionado, e se atrapalhou um pouco, espalhando e derrubando as peças da mesa e desmanchando o quadrado.



**Figura 1.** Bill manipulando as peças do material didático.

Refiz e ele voltou a contar e logo em seguida respondeu: nove. Então reforcei: qual o valor da raiz quadrada de 81? E ele novamente repetiu: nove.

E assim fui colocando todos os quadrados possíveis com os 100 blocos: 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64 e 81. Expliquei para ele que esses números são chamados “quadrados perfeitos”, isso porque com essa quantidade de peças, é possível construir um quadrado. Após isso solicitei que o aluno construísse um quadrado usando 11 peças. Ele tentou construir, mas logo conseguiu perceber que era impossível, pois sobrava ou faltava peça. Então expliquei que, com alguns números (algumas quantidades de blocos), não é possível construir um quadrado. Somente é possível com os números “quadrados perfeitos”.

Dessa forma, apresentei a lista 1 de atividades monitoradas e pedi que solucionasse. Essa lista consistia na determinação da raiz quadrada de alguns números. Solicitei que fizesse a leitura em voz alta e questionei sobre seu entendimento do enunciado. A atividade culminava no preenchimento de uma cruzadinha. O aluno teve mais dificuldades em escrever os resultados devido a sua coordenação motora fina não ser bem desenvolvida. Conforme ele lia as questões, para achar o resultado, ia montando os quadrados contando as laterais, os lados.

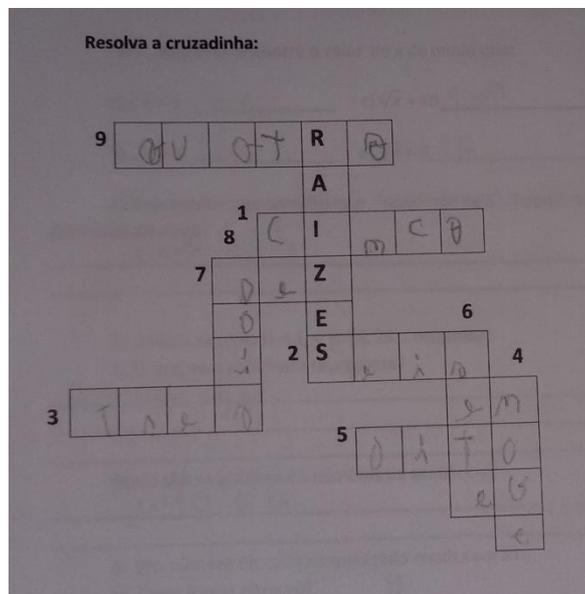


Figura 2. Atividade realizada por Bill durante a experiência.

Na raiz quadrada de 100, ele demorou mais para achar o resultado. Acredito que deve ser pela quantidade de peças, então necessitou do meu auxílio, pois estava ficando um tanto angustiada por não conseguir. O encorajei e propus que realizássemos junto aquela tarefa. Ele, então, conseguiu concluir a atividade.

A segunda lista versou sobre uma série de questões onde ele deveria desenhar os blocos, ou seja, manipular mentalmente os objetos de forma a completar quadrados de tamanhos diferentes (Figura 3). Limitado apenas por suas dificuldades em desenhar, Bill conseguiu completar satisfatoriamente a tarefa.

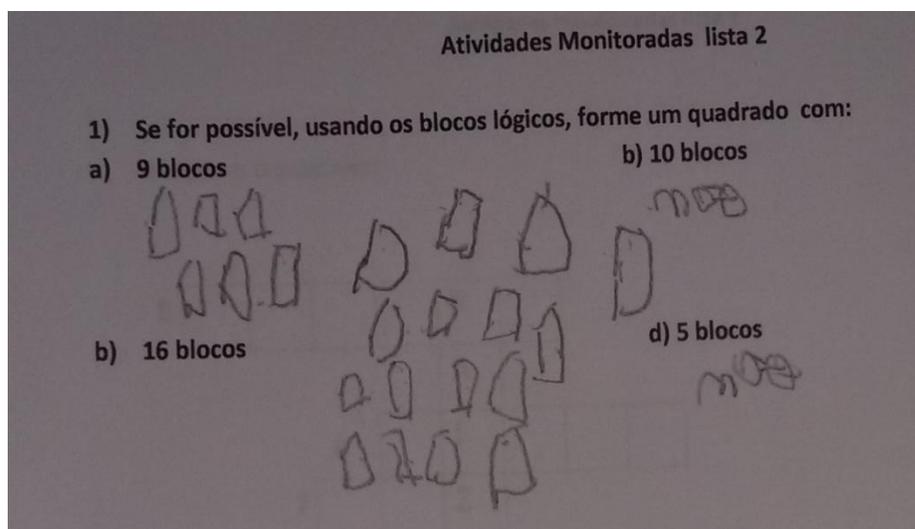


Figura 3. Atividade desenvolvida por Bill

*Durante a realização das atividades pude perceber que apesar desse conteúdo já ter sido trabalhado, o aluno desconhecia o procedimento envolvido nos cálculos, o que nos permite concluir que o ensino anteriormente desenvolvido durante o seu histórico na escola não foi eficiente para uma aprendizagem significativa.*

*Durante uma entrevista que realizei anteriormente com o aluno ficou perceptível que sua socialização no âmbito escolar é mínima, apesar da monitora relatar que há interação do aluno com o resto da turma. Durante as aulas, foi observado que a monitora de alunos com necessidades especiais acabava fazendo as atividades para Bill, sendo que as aulas conduzidas pelos professores não se diferenciavam de uma aula normal, ou seja, não levava em conta que, dentre os alunos, havia um indivíduo com particulares dificuldades de aprendizagem.*

*A despeito disso, conforme demonstra essa experiência, acreditamos que o aluno tem capacidade de aprendizado, e os testes aplicados reforçam e demonstraram isso.*

Do ponto de vista da teoria de Francisco Varela, há alguns pontos importantes a acrescentar com relação à atividade de Bill utilizando os cubos de madeira. Se fizermos uma comparação entre a Teoria dos Estágios do Desenvolvimento Cognitivo de Piaget e a hipótese da Enação de Varela, encontraremos algumas diferenças fundamentais. Enquanto que, para Piaget a manipulação concreta dos objetos é base da aprendizagem e, portanto, deve se constituir numa etapa **anterior** com relação do desenvolvimento cognitivo, para Varela a **manipulação** do objeto de aprendizagem sempre está presente. Para o neurobiólogo, o sistema neuroperceptivo humano – do ponto de vista físico, ou seja, do ponto de vista da atividade elétrica transmitida através do sistema neurológico – reage sempre da mesma maneira durante a aprendizagem: reage como se estivesse manipulando um objeto (VARELA et al., 1999). Isso é válido independentemente da natureza do objeto. Dito de outra forma, o sujeito deve ter a oportunidade de **manipular** o objeto mesmo que ele tenha uma natureza completamente abstrata. Somente dessa maneira ele conseguirá garantir uma *ação guiada perceptualmente* (nas palavras de Varela). Objetos abstratos podem ser manipulados mentalmente. E, de qualquer forma, não pode haver aprendizagem sem a manipulação do objeto de aprendizagem por parte do aluno, pois aprendizagem é *enação*, envolve a ação sobre o objeto. Assim, Varela contradiz Piaget no aspecto que o concreto não é simplesmente a base do desenvolvimento cognitivo. As pessoas têm sempre que manipular os objetos para assimilá-los (como temos a necessidade de pegar os objetos em uma loja para “vê-los”), mesmo que eles não tenham materialidade. Assim, mesmo na aprendizagem de objetos puramente abstratos, a enação é necessária.

A operação *raiz quadrada* é um objeto abstrato, embora, como foi feito neste trabalho, ela pode ser traduzida em termos concretos. Entretanto, aqui o sujeito da pesquisa (Bill) possui limitações motoras. O interessante é que, mesmo possuindo limitações motoras no sentido de pegar os objetos concretos, Bill quis usar luvas durante o experimento, pois estava muito frio na sala, pois essa contava com um ar condicionado forte. Obviamente, as luvas limitaram ainda mais sua capacidade de manipular os blocos de madeira. Do ponto de vista de Piaget, essa condição introduziria sérias limitações no processo de aprendizagem. Contudo, nossos resultados mostram que Bill assimilou efetivamente a operação matemática da raiz quadrada a despeito de sua limitação motora (amplificada pelo uso das luvas). É claro que ele derrubou os cubos em alguns momentos e não conseguiu fazer belos desenhos durante o teste escrito, mas isso não o impediu de aprender.

A aprendizagem de Bill pode ser compreendida na perspectiva da teoria de Varela. O propósito da manipulação dos cubos de madeira não é concretizar o objeto de aprendizagem em si (ou seja, transformar uma operação matemática abstrata em uma operação concreta com objetos físicos), mas sim fazer com que Bill guiasse a sua própria percepção. A Enação, que viabiliza a aprendizagem, acontece quando o sujeito efetivamente guia a sua própria percepção sobre o objeto, manipulando-o, quer seja puramente mentalmente ou mentalmente e concretamente.

Se for possível que o aprendiz guie, ele mesmo, a sua percepção em torno do objeto de aprendizagem, não importa se ele tem limitações motoras, ou visuais, ou auditivas, será possível ensinar honestamente, como diria Brunner (Moreira, 1999), qualquer coisa a qualquer portador de necessidades especiais.

Do ponto de vista da teoria de Francisco Varela, há alguns pontos importantes a acrescentar com relação à atividade de Bill utilizando os cubos de madeira. Se fizermos uma comparação entre a Teoria dos Estágios do Desenvolvimento Cognitivo de Piaget e a hipótese da Enação de Varela, encontraremos algumas diferenças fundamentais. Enquanto que, para Piaget a manipulação concreta dos objetos é base da aprendizagem e, portanto, deve se constituir numa etapa **anterior** com relação do desenvolvimento cognitivo, para Varela a **manipulação** do objeto de aprendizagem sempre está presente. Para o neurobiólogo, o sistema neuroperceptivo humano – do ponto de vista físico, ou seja, do ponto de vista da atividade elétrica transmitida através do sistema neurológico – reage sempre da mesma maneira durante a aprendizagem: reage como se estivesse manipulando um objeto (VARELA et al., 1999). Isso é válido independentemente da natureza do objeto. Dito de outra forma, o sujeito deve ter a oportunidade de **manipular** o objeto mesmo que ele tenha uma natureza completamente abstrata. Somente dessa maneira ele conseguirá garantir uma *ação guiada perceptualmente* (nas palavras de Varela). Objetos abstratos podem ser manipulados mentalmente. E, de qualquer forma, não pode haver aprendizagem sem a manipulação do objeto de aprendizagem por parte do aluno, pois aprendizagem é *enação*, envolve a ação sobre o objeto. Assim, Varela contradiz Piaget no aspecto que o concreto não é simplesmente a base do desenvolvimento cognitivo. As pessoas têm sempre que manipular os objetos para assimilá-los (como temos a necessidade de pegar os objetos em uma loja para “vê-los”), mesmo que eles não tenham materialidade. Assim, mesmo na aprendizagem de objetos puramente abstratos, a enação é necessária.

A operação *raiz quadrada* é um objeto abstrato, embora, como foi feito neste trabalho, ela pode ser traduzida em termos concretos. Entretanto, aqui o sujeito da pesquisa (Bill) possui limitações motoras. O interessante é que, mesmo possuindo limitações motoras no sentido de pegar os objetos concretos, Bill quis usar luvas durante o experimento, pois estava muito frio na sala, já que essa contava com um ar condicionado forte. Obviamente, as luvas limitaram ainda mais sua capacidade de manipular os blocos de madeira. Do ponto de vista de Piaget, essa condição introduziria sérias limitações no processo de aprendizagem. Contudo, nossos resultados mostram que Bill assimilou efetivamente a operação matemática da raiz quadrada a despeito de sua limitação motora (amplificada pelo uso das luvas). É claro que ele derrubou os cubos em alguns momentos e não conseguiu fazer belos desenhos durante o teste escrito, mas isso não o impediu de aprender.

A aprendizagem de Bill pode ser compreendida na perspectiva da teoria de Varela. O propósito da manipulação dos cubos de madeira não é concretizar o objeto de aprendizagem em si (ou seja, transformar uma operação matemática abstrata em uma operação concreta com objetos físicos), mas sim fazer com que Bill guiasse a sua própria percepção. Assim, o que importa não é a

dificuldade na manipulação, mas sim que ela ocorra a partir do próprio aprendiz. A Enação, que viabiliza a aprendizagem, acontece quando o sujeito efetivamente guia a sua própria percepção sobre o objeto, manipulando-o, quer seja puramente mentalmente ou mentalmente e concretamente, aspectos esses que são, fundamentalmente, inseparáveis.

Se for possível que o aprendiz guie, ele mesmo, a sua percepção em torno do objeto de aprendizagem, não importa se ele tem limitações motoras, ou visuais, ou auditivas, será possível ensinar honestamente, como diria Brunner, qualquer coisa a qualquer portador de necessidades especiais.

### Considerações finais

Neste trabalho, procurou-se expor alguns elementos da obra de Francisco Varela que podem contribuir para a área de Ensino de Ciências. Alguns desses elementos são concordantes com algumas teorias de aprendizagem construtivistas já bem sedimentadas, com a dependência da aprendizagem com as construções cognitivas prévias do aprendiz. Contudo, há outros elementos que focam o processo de ensino-aprendizagem sob um novo ângulo, tais como a visão da aprendizagem como um processo de enação, a utilização de conceitos que a ciência tem utilizado recentemente no estudo de processos complexos, como acoplamento estrutural, auto-organização e emergência, e, também, implicações éticas. Conforme apontado em algumas obras (Maturana e Varela, 2005; Varela *et al.*, 1999), nosso conhecimento é construído num meio em que outros seres humanos têm um papel relevante. Sendo a mente incorporada um sistema essencialmente social, a melhor aprendizagem acontecerá sob a circunstância em que respeitamos os demais seres humanos, e, com eles, construímos uma estrutura cognitiva mais relevante para a sociedade.

### Referências

Barcelos, V. (2006) – Por uma ecologia da aprendizagem humana – o amor como princípio epistemológico em Humberto Ramesín Maturana - *Revista Educação* (PUCRS), ano XXIX, n.3 (60), p.581-597.

Greenberg, J.R. and S.R.Mitchell (1983) – *Object Relations in Psychoanalytic Theory* – Harvard University Press, Cambridge.

Lovelock, J. (1995) – *The Ages of Gaia* – W.W.Norton and Company - New York.

Maturana, H. e F.Varela (1997) – *De Máquinas e Seres Vivos* – Artes Médicas, Porto Alegre.

Maturana, H. e F.Varela (2005) – *A Árvore do Conhecimento* – Palas Athena, S.Paulo, 5ª. Ed.

Moreira, M.A. (1999) – *Teorias de Aprendizagem* – EPU Editora, Porto Alegre.

Moreira, M.A. (2004) – A Epistemologia de Maturana – *Ciência & Educação*, Vol.10, N.3.

Nicolis, G. and I. Prigogine (1989) – *Exploring Complexity* – W.H. Freeman and Company, New York.

Varela, F., E. Thompson and E. Rosch (1999) – *The Embodied Mind* – MIT Press, Cambridge.