



A APRENDIZAGEM E O ENSINO DO ELETROMAGNETISMO: DIALOGANDO COM PIAGET E DAMÁSIO

Loder, Liane Ludwig – lludwig@eletro.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica

Av. Osvaldo Aranha, nº 103 – Centro

90035-190 – Porto Alegre - RS

Resumo: *Este artigo é parte de um estudo em que se pretende investigar algumas hipóteses acerca das dificuldades apresentadas pelos alunos na aprendizagem do Eletromagnetismo, assunto constitutivo da Engenharia Elétrica e, por isso, presente em todos os cursos de formação dessa modalidade nos dias de hoje. Este artigo se concentra na reflexão sobre a aprendizagem da noção de campo eletromagnético pois adota como pressuposto que o entendimento desse conceito é fundamental para a aprendizagem do Eletromagnetismo como um todo. Tomando por base as concepções sobre os fundamentos biológicos e epistemológicos do conhecimento humano em geral, extraídos das obras de Jean Piaget e de Antônio Damásio, este trabalho aponta algumas possíveis razões das dificuldades de aprendizagem do Eletromagnetismo e encaminha sugestões a serem apreciadas pelos Professores dessa área de conhecimento.*

Palavras-chave: *Ensino em Engenharia, Ensino e Aprendizagem do Eletromagnetismo.*

1. INTRODUÇÃO

Este ensaio, se insere em um contexto maior de estudos sobre o ensinar e o aprender em Engenharia, em especial, em Engenharia Elétrica, em que se tem sistematicamente procurado discutir o desenvolvimento cognitivo do sujeito da aprendizagem com o objetivo de sugerir estratégias de ensino adequadas. Neste ensaio, focaremos nossa investigação em uma área do conhecimento específica e importante de cursos de Engenharia Elétrica – o Eletromagnetismo.

2. O ESTUDO

O estudo, apresentado parcialmente neste artigo, parte do pressuposto de que as estruturas lógico-matemáticas são fundamentais e estruturantes do desenvolvimento cognitivo do sujeito da aprendizagem no campo das Ciências Exatas e, por extensão, da Engenharia. No caso específico do Eletromagnetismo, esse estudo se desenvolve também a partir do pressuposto de que a noção do campo eletromagnético é fundamental. Na seqüência, tomando por base conceitos da Epistemologia Genética e da Neurociência, são feitas reflexões a respeito das dificuldades observadas na prática do ensino e da aprendizagem do Eletromagnetismo como um todo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Ao buscar entender a gênese dos processos cognitivos que envolvem estruturas lógico matemáticas, partiu-se dos textos: *Biologia e Conhecimento* e *O desenvolvimento do pensamento, Equilíbrio das Estruturas Cognitivas* de Jean Piaget. O texto de Antônio Damásio - *O erro de Descartes*, serviu para ampliar a abrangência do estudo realizado.

A leitura desses textos resultou em um “diálogo imaginário” que a autora desse ensaio trava com Piaget e com Damásio e que serviu de subsídios para as considerações apresentadas ao longo do texto. As pretensas "respostas" apresentadas aos questionamentos que constituem esse diálogo são transcrições *ipsis litteris* extraídas dos textos supracitados.

3.1 DIALOGANDO COM PIAGET

Senhor Piaget seria possível afirmar que o desenvolvimento cognitivo que se dá na infância e na adolescência habilitaria o adulto a perceber uma realidade, como o fazem os cientistas, e aí então teríamos a validade da premissa de que ao ser estimulado o indivíduo aprende?

Conhecer não consiste, com efeito, em copiar o real mas em agir sobre ele e transformá-lo, na aparência ou na realidade, de maneira a compreendê-lo em função dos sistemas de transformação aos quais estão ligadas estas ações.

Para conhecer os fenômenos, o físico não se limita a descrevê-los tal como aparecem, mas atua sobre os acontecimentos de modo a dissociar os fatores, fazê-los variar e assimilá-los a sistemas de transformações lógico-matemáticas.

O objeto de um conhecimento nunca é completamente independente das atividades do sujeito, no sentido em que se a objetividade constitui naturalmente o ideal de toda a ciência, em particular da ciência experimental, esta objetividade acha-se, no entanto, subordinada a três condições. Em primeiro lugar, a objetividade é um processo não um estado, isto é não existem intuições imediatas que atingem o objeto de maneira válida, mas a objetividade

supõe um encadeamento de aproximações sucessivas. Em segundo lugar, as aproximações que conduzem ao objeto não de natureza puramente aditiva, isto é, efeito cumulativo de informações simplesmente somadas ou encadeadas mas contêm ademais um processo essencial de descentralização, no sentido de libertar-se de aderências subjetivas ou de pre-noções julgadas exatas de início, unicamente pelo fato de serem mais simples para o sujeito. Em terceiro lugar, em todas as ciências naturais avançadas, cujo protótipo é a Física, a conquista da objetividade não consiste em atingir o objeto no estado puro mas em explicá-lo e descrevê-lo já por meio de quadros lógico-matemáticos, isto é, através de classificações, estabelecimento de relações, medidas, funções, etc., fora dos quais é impossível qualquer assimilação cognoscitiva.

De certa forma, isto não se contrapõe à idéia de que a Física é uma Ciência Natural pois descreve a realidade do mundo físico usando a Matemática como linguagem para essa finalidade?

O positivismo lógico quis reduzir a Física a um conjunto de constatações perceptivas e a Matemática a uma simples linguagem que exprime, de maneira exata, o conteúdo dessas constatações. Convém lembrar, em primeiro lugar, que a própria percepção já contém uma organização geométrica e lógica. Enfim, a Matemática, longe de se reduzir a uma linguagem, é o próprio instrumento de estruturação que coordena já essas ações e as prolonga em seguida em teorias dedutivas e explicativas. A união da Matemática e da Física não é, portanto, a do sinal com o significado mas da atividade estruturadora com um dado, que sem ela permaneceria caótico, ininteligível e, sobretudo, saturado de elementos subjetivos, no sentido da subjetividade deformante e egocêntrica do eu, por oposição à atividade do sujeito epistêmico.

Desse modo, poder-se-ia dizer que a Matemática tem um papel fundamental e não acessório no desenvolvimento das Ciências como um todo?

A Matemática, não se reduz de modo algum, à descrição do real embora se adapte a ele com exatidão; ultrapassa-o, com efeito, por todos os lados e consiste numa teoria de todas as transformações possíveis e não somente as reais .

Por outro lado, um número considerável e crescente de fenômenos revelam-se dedutíveis. E, apesar de que nem tudo é dedutível, é preciso notar que no amplo setor dos fenômenos que são dedutíveis, às vezes acontece que a dedução tem lugar antes e não depois da experiência. Os exemplos mais conhecidos são os da descoberta de Netuno por Leverrier ou da maneira como as casas vazias da classificação de Mendeleev foram preenchidas depois da revolução da Física Contemporânea.

Estes encontros que se produzem ora depois ora por antecipação, mesmo antes dos acontecimentos experimentais entre a dedução matemática e a realidade física, levantam um problema essencial que questiona por que isso acontece. A solução empirista resolve fácil demais o problema admitindo que as matemáticas nasceram da experiência física ou constituem uma linguagem destinada a descrevê-la. É preciso, com efeito, explicar por que essa linguagem é tão excelente que, contrariamente aos idiomas habituais chega, às vezes, a relatar de antemão o que ainda não foi percebido. Nossa hipótese é que as estruturas lógico-matemáticas não seriam devidas nem à experiência física nem à transmissão instintiva ou hereditária, mas seriam tiradas, por abstrações reflexivas das coordenações gerais da ação e, além disso, das coordenações nervosas e assim por diante, até as formas mais gerais dos funcionamentos organizadores da vida.

Sendo assim, seria possível afirmar que o indivíduo que estiver geneticamente dotado de estruturas cognitivas lógico-matemáticas mais complexas será mais inteligente que os demais?

Os conhecimentos lógico-matemáticos não são hereditários porque são adquiridos e dão lugar, assim, a uma espécie de aprendizagem freqüentemente confundida com as aprendizagens autênticas. Não se reduzem, todavia, a estas últimas no sentido de serem tirados da experiência exterior e distinguem-se desta por uma série de caracteres endógenos. As estruturas lógico-matemáticas, por exemplo, não estão nem pré-formadas no estado de estruturas acabadas no interior do sujeito nem são tiradas dos objetos, mas supõem, nas fases iniciais, um período inteiro de ações sobre os objetos e de experiências, no curso das quais estes são indispensáveis. Essas estruturas não são tiradas dos próprios objetos, porque se constroem por meio de elementos operatórios abstraídos das ações do sujeito sobre os objetos, e não destes, assim como também não das coordenações entre ações ao mesmo tempo progressivas e necessárias desde o início. Encontramo-nos dessa maneira em presença de um funcionamento organizador e regulador, que o apriorismo erroneamente quis traduzir em estruturas acabadas de uma só vez ignorando que a construção delas é irrealizável sem um conjunto de interações entre o sujeito e os objetos, no curso das quais as reações destes últimos constituem a ocasião (mas não a causa) das regulações formadoras.

No terreno da inteligência, o exercício e a construção dos esquemas supõem a contínua interação entre o sujeito e os objetos. Em todo o conhecimento físico adaptado, quer se trate de inteligência sensório-motora quer da operatória é preciso distinguir entre os dados da experiência e a atividade coordenadora do sujeito. Mesmo no que se refere aos esquemas lógico matemáticos como tais, a experiência é necessária, porque, embora tirando estes esquemas da coordenação geral de suas ações, o sujeito tem de agir para fazer essa abstração e agir sobre os objetos.

O que significa dizer que nada está pré-determinado? E a herança genética?

Do ponto de vista biológico, há três formas do conhecimento. Em primeiro lugar, há uma imensa categoria de conhecimentos adquiridos graças à experiência física. Em segundo lugar, há uma categoria notavelmente estreita, e de extensão real muito discutível, dos conhecimentos estruturados por uma programação hereditária, como é o caso, talvez, de algumas categorias perceptivas. Em terceiro lugar, há uma categoria tão extensa quanto à primeira, dos conhecimentos lógico-matemáticos que se tornam rapidamente independentes da experiência e que, se no início procedem delas, não parecem tirados dos objetos como tais mas das coordenações gerais das ações exercidas pelo sujeito sobre os objetos.

3.1 DIALOGANDO COM DAMÁSIO

Como deve ser de seu conhecimento, para Piaget, a aprendizagem se dá como resultado de uma construção endógena do sujeito na sua interação com o meio. Essa construção se efetiva como uma regulação cognoscitiva que está associada, por sua vez, ao funcionamento geral do organismo enquanto ser vivo. Nesse particular, as estruturas lógico-matemáticas endógenamente construídas adquirem papel fundamental no processo de aprendizagem do sujeito. Qual a sua opinião a respeito?

O cérebro e o corpo encontram-se indissociavelmente integrados por circuitos bioquímicos e neurais recíprocos dirigidos um para outro. Se o corpo e o cérebro interagem intensamente entre si, o organismo que eles formam interage de forma não menos intensa com o ambiente que o rodeia. Suas relações são mediadas pelo movimento do organismo e pelos aparelhos sensoriais.

O ambiente deixa sua marca no organismo de diversas maneiras. Uma delas é por meio da estimulação da atividade neural dos olhos, dentro dos quais está a retina, dos ouvidos, dentro dos quais está a cóclea, um órgão sensível ao som, e o vestibulo, um órgão sensível ao equilíbrio, e das miríades de terminações nervosas localizadas na pele, nas papilas gustativas e na mucosa nasal. As terminações nervosas enviam sinais para pontos de entrada circunscritos no cérebro, os chamados córtices sensoriais iniciais da visão, da audição, das sensações somáticas, do paladar e do olfato.

Numa primeira aproximação, a função global do cérebro é estar bem informado sobre o que se passa no resto do corpo, sobre o que se passa em si próprio e sobre o meio ambiente que rodeia o organismo, de modo que se obtenham acomodações de sobrevivência adequadas entre o organismo e o ambiente. De uma perspectiva evolutiva, nada está em contradição com isso. Se não tivesse havido o corpo não teria surgido o cérebro. Os organismos simples que possuem apenas corpo e comportamento, mas estão desprovidos de cérebro ou de mente, ainda existem e são, de fato, bastante mais numerosos que os seres humanos em várias ordens de grandeza.

Pelo que posso perceber, o senhor não se contrapõe à idéia da construção de conhecimento. No entanto, peço-lhe para detalhar melhor como, na sua visão de neurologista, o conhecimento se efetiva em nível do indivíduo.

O conhecimento é incorporado em representações dispositivas. O que eu chamo de representação dispositiva é uma potencialidade de disparo dormente que ganha vida quando os neurônios se acionam em um determinado padrão, a um determinado ritmo, num determinado intervalo de tempo e em direção a um alvo particular, que é outro conjunto de neurônios. As representações dispositivas constituem o nosso depósito integral de saber e incluem tanto o conhecimento inato como o adquirido por meio da experiência. O conhecimento inato baseia-se em representações dispositivas existentes no hipotálamo, no tronco cerebral e no sistema límbico. Podemos concebê-lo como comandos da regulação biológica necessários para a sobrevivência, isto é, o controle do metabolismo, impulsos e instintos. Eles controlam muitos processos mas, de um modo geral, não se transformam em imagens na mente.

As imagens são, provavelmente, o principal conteúdo de nossos pensamentos, independentemente da modalidade sensorial em que são geradas e de serem sobre uma coisa ou sobre um processo que envolve coisas; ou sobre palavras ou outros símbolos, numa dada linguagem, que correspondem a uma coisa ou a um processo. Escondidos atrás dessas imagens, raramente ou nunca chegando a nosso conhecimento, existem, de fato, numerosos mecanismos que orientam a geração e o desenvolvimento de imagens no espaço e no tempo. Esses mecanismos utilizam regras e estratégias incorporadas em representações dispositivas. Eles são essenciais para o nosso pensar mas não constituem o conteúdo dos pensamentos.

O conhecimento adquirido baseia-se em representações dispositivas existentes tanto no córtices de alto nível como ao longo de muitos núcleos de massa cinzenta localizados abaixo do nível do córtex. Algumas dessas representações dispositivas contêm registros sobre o conhecimento imagético que podemos evocar e que é utilizado para o movimento, o raciocínio, o planejamento e a criatividade; e outras contêm registros de regras e de estratégias com as quais manipulamos essas imagens. A aquisição de conhecimento novo é conseguida pela modificação contínua dessas representações dispositivas.

Entendendo que os circuitos cerebrais, assim como as operações que executam, dependem do padrão das conexões entre neurônios e qualidade das sinapses que constituem essas conexões, como esses padrões de conexão são estabelecidos nos nossos

cérebros e quando? Eles são simultâneos para todos os sistemas existentes no cérebro? Uma vez estabelecidos, permanecem para sempre?

Não existem respostas definitivas para essas questões . Embora o conhecimento do assunto esteja em constante alteração e pouca coisa deva ser dada como certa, a hipótese que apresento a seguir não deve estar muito longe do que realmente se passa:

Em primeiro lugar, o genoma humano não especifica toda a estrutura do cérebro. Não existem genes disponíveis, em número suficiente, para determinar a estrutura precisa e o local de tudo em nossos organismos, muito menos no cérebro, onde bilhões de neurônios estabelecem os contatos sinápticos. A desproporção não é sutil, transportamos provavelmente da ordem de 100 mil genes mas possuímos mais de 10 trilhões de sinapses no cérebro.

O que se pode dizer é que muitas das especificidades estruturais são determinadas pelos genes mas um grande número de outras especificidades pode ser determinado apenas pela atividade do próprio organismo vivo à medida que se desenvolve e continuamente se modifica ao longo do seu tempo de vida.

Em segundo lugar, o genoma ajuda a estabelecer a estrutura exata ou próxima da exata de determinados sistemas e circuitos importantes nos setores evolutivamente antigos do cérebro humano, tais como o tronco cerebral, o hipotálamo e o prosencéfalo basal. Partilhamos a essência desses setores cerebrais com indivíduos de muitas outras espécies. O principal papel dessas estruturas é o de regular os processos vitais básicos sem recorrer à mente e à razão. Esses circuitos inatos intervêm não só na regulação corporal como também no desenvolvimento e na atividade adulta das estruturas evolutivamente modernas do cérebro. A atividade dos circuitos nos setores cerebrais modernos e estimulados pela experiência, o neocórtex, por exemplo, é indispensável para a produção de uma classe particular de representações neurais nas quais se baseiam a mente (imagens) e as ações intencionais. Contudo, o neocórtex não pode produzir imagens se o subterrâneo antigo do cérebro, o hipotálamo, o tronco cerebral, não se encontrar intacto e cooperativo.

Assim, à medida que progredimos da infância para a idade adulta, o design dos circuitos cerebrais que representam o nosso corpo em evolução e sua interação com o mundo parecem depender tanto das atividades em que o organismo se empenha como da ação dos circuitos biorreguladores inatos, à medida que os últimos reagem a tais atividades. Essa abordagem sublinha a inadequação de conceber cérebro, comportamento e mente em termos de natureza versus educação, ou de genes versus experiência. Nossos cérebros e nossas mentes não são tabulae rasae quando nascemos. Contudo, também não são, na sua totalidade, geneticamente determinados. A sombra genética tem um grande alcance mas não é completa. Os genes proporcionam a um dado componente cerebral sua estrutura precisa e a outro componente uma estrutura que está para ser determinada. No entanto, a estrutura a ser determinada só pode ser obtida sob a influência de três elementos: a estrutura exata, a atividade individual e as circunstâncias nas quais o meio e o acaso têm o seu papel, e as pressões da auto organização que emergem da extraordinária complexidade do sistema. O perfil imprevisível das experiências de cada indivíduo tem influência no design dos circuitos.

E a herança genética? No seu entendimento, que influência tem no desenvolvimento cognitivo do sujeito. Existe uma pré-determinação genética?

O organismo humano surge para a vida dotado de mecanismos automáticos de sobrevivência e ao qual a educação e a aculturação acrescentam um conjunto de estratégias de tomada de decisão socialmente permissíveis e desejáveis, os quais , por sua vez, favorecem a sobrevivência, melhorando de forma notável a qualidade dela e servem de base à construção de uma pessoa. Ao nascer, o cérebro humano inicia seu desenvolvimento dotado de impulsos e instintos que incluem não apenas um kit fisiológico para a regulação do

metabolismo mas também de dispositivos básicos para fazer face ao conhecimento e ao comportamento social. Ao terminar o desenvolvimento infantil, o cérebro encontra-se dotado de níveis adicionais de estratégias para a sobrevivência . A base neurofisiológica dessas estratégias adquiridas encontra-se entrelaçada com a do repertório instintivo e não só modifica seu uso como amplia seu alcance.

4. A NOÇÃO DE CAMPO ELETROMAGNÉTICO – UM OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICO PARA O ENTENDIMENTO DO ELETROMAGNETISMO?

4.1 Perspectiva histórica

A noção de campo eletromagnético remonta aos primórdios do Eletromagnetismo, área do conhecimento cuja paternidade é atribuída ao cientista inglês Michael Faraday (1791-1867) e cuja sistematização é atribuída a outro igualmente renomado cientista inglês James Clerck Maxwell (1831- 1879).

A definição de campo, atribuída à Faraday, representou, à época, uma forma de expressar a influência de uma carga elétrica, em repouso ou em movimento, sobre outras cargas vizinhas (em repouso ou em movimento) considerando que o meio onde estavam imersas essas cargas poderia ter influência nessa interação. O modelo anterior proposto por Charles Coulomb previa a interação à distância entre as cargas mas não era capaz de expressar a influência do meio. A explicação dada por Faraday para esse fenômeno de atração e de repulsão entre cargas elétricas estava baseada na idéia de que uma carga, ao ser colocada em uma região do espaço, produz uma “emanação” elétrica, isto é, um campo elétrico e esse atua sobre cargas que venham a ser inseridas nessa região de tal forma que essas novas cargas sejam atraídas ou repelidas pela carga original. Em função do caráter eminentemente experimental de seu trabalho como pesquisador, Faraday, para explicar sua noção de campo, lançou mão de uma representação pictórica do mesmo. Imaginou linhas que “retratariam” o campo no espaço que ele denominou de “linhas de força”. Estas representariam o caminho a ser percorrido por uma partícula carregada positivamente ao ser colocada nas proximidades de uma carga-fonte de campo elétrico sob a ação de uma força provocada pelo campo sobre a partícula.

A noção de campo, apesar de ter sido importante para a constituição do Eletromagnetismo como uma Teoria, não foi, no entanto, a maior contribuição de Faraday à Ciência. Sua maior contribuição foi a descoberta do fenômeno da indução. Após quase uma década de trabalho intenso em seu laboratório Faraday descobriu esse fenômeno que acabou dando à James C. Maxwell elementos suficientes para conceber o Eletromagnetismo como uma Teoria, inaugurando, dessa forma, uma nova área do conhecimento humano.

Os resultados advindos do trabalho de Michael Faraday deram início também ao surgimento das máquinas elétricas e marcaram o início da Engenharia Elétrica como uma área importante da atividade humana.

Maxwell, por sua vez, com uma formação acadêmica de nível superior, possuía familiaridade¹ com o Cálculo Integral e Diferencial de Newton e Leibniz e conseguiu sistematizar os fenômenos elétricos e magnéticos conhecidos até então e condensou-os na forma de uma grande teoria – Teoria Eletromagnética, na qual, utilizando a linguagem do Cálculo, descreveu esses fenômenos e a inter-relação entre eles na forma de equações integro-diferenciais.

¹ Na visão da Epistemologia Genética, essa familiaridade deve ser entendida, na sua essência, como uma capacidade cognitiva construída capaz de operar com totalidades e diferenciações em nível infinitesimal, isto é, com uma complexidade de grau superior.

Não obstante esse grandioso trabalho de condensação dos avanços obtidos na área até então, que resultou nas suas famosas quatro leis, Maxwell, a partir de cálculos teóricos, conseguiu prever a possibilidade da existência de uma onda eletromagnética, o que foi comprovado vinte anos mais tarde por Heinrich Hertz, isto é, em 1888.

Podemos destacar esse fato como mais um exemplo da capacidade de antecipação e das operações lógico-matemáticas como instrumento de acomodação antecipadora. Para Piaget (*Biologia e Conhecimento*, 1973:213):

Se a adaptação da inteligência fosse limitada ao domínio do presente imediato e da reconstrução do passado, malograria no terreno da experiência muito mais frequentemente do que costuma acontecer. Mas há uma quantidade de acontecimentos que o pensamento pode prever e o simples fato da Matemática ter por objeto o conjunto de transformações possíveis, e não somente seu setor de realização efetiva, mostra bem a potência dedutiva do espírito.

A descoberta de Hertz marcou o início da Era da Radiocomunicação. Daí se originou uma grande área de especialização da Engenharia Elétrica – a de Telecomunicações que, já no início do século XX, dedicou-se ao desenvolvimento das técnicas de geração e transmissão de sinais radioelétricos que sustentam a imensa rede de comunicações que temos nos dias de hoje.

4.2 A visão contemporânea

O Eletromagnetismo estudado nas Escolas de Engenharia em cursos de graduação é o chamado Eletromagnetismo Clássico, é o Eletromagnetismo fundamentado nas equações de Maxwell que descrevem as relações entre campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo (dinâmicos) ou não (estáticos) para situações do mundo macroscópico (em nível de estrutura da matéria, as relações têm que contemplar as questões relativísticas que são peculiares). Nesse contexto, a noção de campo é fundamental. A carga é considerada a fonte do campo e, a partir daí, se estabelecem e se estudam as relações entre os campos e as possíveis conseqüências de suas existências em alguma região do espaço. Para exemplificar, no interior de um motor elétrico, temos campos eletromagnéticos, e o estudo de sua configuração é que permite o projeto de uma máquina elétrica para uma aplicação específica. Ao falarmos em um telefone móvel, estamos emitindo, a partir do aparelho, e recebendo, de uma central, ondas eletromagnéticas (ou sinais radioelétricos) que, quando decodificados, permitem que estabeleçamos um contato de voz à distância (*tele-fonia*). O mesmo se dá no caso da televisão, que nos permite, por sinais de rádio gerados por uma emissora e recebidos e decodificados em um receptor adequado, ter uma visão à distância (*tele-visão*).

Por tudo o que foi dito, o estudo do Eletromagnetismo e a compreensão dessa teoria passa por uma compreensão fundamentalmente de campo eletromagnético. E aí reside uma dificuldade que é radical nas dificuldades enfrentadas pelo estudante que visa aprender a Teoria Eletromagnética para bem utilizá-la como ferramenta de seu trabalho como engenheiro eletricista.

4.3 As dificuldades de aprendizagem

Quais são as razões das dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos estudantes no estudo do Eletromagnetismo? Razões é que parecem não faltar uma vez que a noção de campo eletromagnético é resultado de uma construção da mente humana amparada em evidências empíricas de difícil acesso ao indivíduo no seu dia-a-dia pois não são perceptíveis pelos seus órgãos sensoriais. O campo não é visível, não tem cheiro nem paladar, não tem solidez que permita ser sensível ao tato! O mais que percebemos são suas manifestações

como, por exemplo, uma lâmpada que se acende, um ferro que se aquece e não muito mais que isso, uma vez que o rádio que escutamos, a televisão que vemos e ouvimos, as telecomunicações de maneira geral são tão incompreensíveis ao leigo, do ponto de vista de seu funcionamento, que imaginar que o aprendiz tenha algum conhecimento prévio da noção de campo passa a ser algo improvável.

Como não bastassem essas razões iniciais, a formulação matemática que consegue dar conta de descrever esses fenômenos empíricos do Eletromagnetismo, de grande complexidade e de difícil compreensão, acaba sendo uma formulação muito complexa. Por exemplo, não se conseguiria estimar o sinal recebido por uma estação terrena a partir do sinal emitido por um satélite trabalhando com operações matemáticas elementares. Esse tipo de problema, que acaba sendo trivial para o engenheiro de telecomunicações, envolve não só cálculo diferencial e integral mas também cálculos de probabilidade e estatística que permitem fazer estimativas e projetar os radioenlaces que vão propiciar a comunicação entre as estações.

A par dessas considerações de cunho geral, um exame mais cuidadoso dos estudos de Piaget sobre Abstração Reflexionante e sobre as Estruturas Cognitivas nos fornecem um rico material para substanciar e justificar as razões das dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos estudantes quando o assunto é a construção da noção de campo e, por extensão, o aprendizado do Eletromagnetismo.

Para Piaget, no domínio físico, os observáveis (os fenômenos ou objetos da realidade de interesse) são dados, mas devem ser ultrapassados, em larga escala, para atingir as ligações objetivas das quais esses observáveis manifestam apenas um aspecto parcial. Esse processo envolve abstrações reflexionantes e refletidas.

Antes de tudo, existe um tipo de abstração que denominaremos empírica porque extrai sua informação dos objetos em si. Além dessa primeira forma, que corresponde em geral ao que se denomina "abstração", existe uma segunda que é fundamental porque abarca todos os casos de abstrações lógico-matemáticas: a denominaremos de abstração reflexionante porque se extrai não dos objetos e sim das coordenações das ações (ou operações) e, portanto, das próprias atividades do sujeito. (PIAGET, 1974:138)

A abstração reflexionante supõe sempre um processo de reflexão em um plano superior daquilo que se toma de um plano inferior. Essa abstração implica uma reflexão no sentido de uma reorganização mental. (PIAGET, 1974:139)

O Eletromagnetismo opera com o domínio espacial físico e com o domínio matemático quando o assunto é campo eletromagnético. O fato desse observável não ser perceptível constitui um obstáculo epistemológico que deve ser superado. Entendemos que o aprendiz, a partir disso, tenha condições de construir a noção de campo e, a partir dessa noção, tenha condições de reconstruir endogenamente toda a Teoria do Eletromagnetismo. Dessa forma, no nosso entendimento, ele constrói uma capacidade de engendrar soluções no campo das telecomunicações, isto é, de *engenheirar* nesse campo do conhecimento.

A superação desse obstáculo pressupõe uma dissociação progressiva entre forma e conteúdo, uma vez que o observável (campo) não é diretamente observado, isto é, na melhor situação, podemos observar seus efeitos. Esses efeitos não são o campo "em si" mas manifestações das correntes elétricas provocadas pelo campo (por exemplo, geração e recepção de uma onda de rádio, aquecimento térmico, acionamento de um motor) circulando em circuitos e equipamentos especialmente projetados para os diferentes fins a que se destinam (por exemplo, respectivamente, antenas, cafeiteiras elétricas, enrolamentos de motores elétricos em geral).

4.3 Como superar as dificuldades de aprendizagem?

Tendo em mente que, em sua dupla natureza, de extensão dos objetos e de geometria do sujeito, o espaço constitui desde o nível sensório-motor o ponto de junção entre a realidade exterior e as operações do sujeito, de onde surge a união particular entre Abstração Reflexionante e Abstração Empírica, quer nos parecer que o conhecimento construído a partir dos observáveis tende a se desenvolver sem sobressaltos. Isto é, através de uma incorporação progressiva do real acompanhada, ao nível das ações do sujeito, de uma assimilação recíproca, cada vez mais estreita, entre as estruturas geométricas e as estruturas algébricas. Este processo revela uma integração operatória cada vez mais desenvolvida e, por consequência um jogo cada vez mais complexo de Abstrações Reflexionantes.

A estratégia de ensino a partir de uma representação figurativa dos campos parece ser compatível com as necessidades cognitivas que naturalmente acabam se impondo no processo de aprendizagem.

E nesse caso, passa a ser de maior importância as relações entre os aspectos figurativo (representação) e operativo (ações e operações) do conhecimento. Em que pese não ser o nosso problema de ordem espacial física, é na verdade, um problema matemático que envolve operações lógico-aritméticas e sua representação em um espaço matemático, nos parece razoável supor que as Abstrações que se dão nos dois casos, no espaço físico e no espaço matemático, são similares e nessa linha seguiremos em nossa análise em trabalhos futuros.

Se o espaço constitui um ponto de junção entre as propriedades do objeto e as operações do sujeito, sua evolução não é menos instrutiva pois que toda a evolução da geometria é a de uma formalização progressiva que dissocia as formas operatórias de seu conteúdo figurativo.

Aparentemente, essa estratégia de ensino beneficia-se de um duplo privilégio: os observáveis figurativos inserem-se nas transformações racionais e estas são representáveis, sob uma forma figurativa, fazendo uma mistura entre capacidade operatória e de representação visual, o que os matemáticos chamam de intuição geométrica. Essa forma de abordagem, utilizada em paralelo com a execução de experimentos fatuais ou virtuais, parece atender às necessidades do aprendiz e propiciar as abstrações que, por fim e ao cabo, o levarão a um patamar de conhecimento de ordem superior, isto é, à aprendizagem, ou, em outras palavras, à capacidade do sujeito teorizar a respeito e, conseqüentemente, operar com a conceituação do Eletromagnetismo por ele reconstruída endogenamente.

Ainda, tomando por base do “diálogo” com Piaget e com Damásio, sugerimos estratégias de ensino com foco no aprendizado do aluno e que sejam resultado de uma tomada de consciência do professor para os aspectos de que:

- 1º A aprendizagem é, em quase sua totalidade, em extensão e complexidade, construção cognitiva e, por isso mesmo, endógena, e, por consequência, singular;
- 2º Não existe pré-determinação genética, apesar de existir herança genética no que diz respeito às estruturas orgânicas destinadas, fundamentalmente, à sobrevivência do indivíduo e, por extensão, à preservação da espécie. O genoma humano não especifica nem determina toda a estrutura do cérebro do indivíduo adulto e, por extensão, do sistema nervoso. Conseqüentemente, o indivíduo não nasce pré-destinado a ser, por exemplo, um profissional competente. A competência é resultado de uma construção;
- 3º O conhecimento, mesmo o perceptivo, é resultado de uma aprendizagem. Isto é, o conhecimento é construção endógena que pode se dar a partir dos dados percebidos mas não se reduz a uma simples leitura da realidade que cerca o indivíduo. A percepção é resultado de uma construção, é resultado de uma ação do indivíduo. A “realidade” não é algo que se impõe mas é objeto de uma construção do sujeito epistêmico;

4º O conhecimento é um processo que tem substrato biológico como qualquer outro processo próprio do organismo;

5º O conhecimento, para Piaget, é resultado de um desequilíbrio cognoscitivo causado pela novidade. O indivíduo enquanto ser biológico, na sua dinâmica interna própria de um organismo vivo, isto é, de regulações que se estabelecem com o objetivo permanente de manter, em última instância, a própria vida, acaba sendo palco de um processo contínuo e sucessivo de assimilações convergentes e de acomodações reconstrutivas. Esse processo leva o sujeito epistêmico a um novo patamar de equilíbrio cognoscitivo e que aí permanece até ser desequilibrado por outras novidades;

6º O conhecimento, para Piaget, é fundamentalmente de origem lógico-matemática. A Matemática, tanto para o indivíduo como, por extensão, para o pensamento científico, é estrutura e função;

7º A inteligência superior na cadeia biológica (humana), para Piaget, é resultado de uma construção cognoscitiva que tem sua gênese na formação das estruturas cognoscitivas que, por sua vez, resultam da ação do sujeito apoiado nas suas estruturas inatas, estas radicalmente vinculadas e responsáveis pela sobrevivência do organismo desse sujeito;

8º O conhecimento é, basicamente, ação;

9º O sistema nervoso, substrato da inteligência, e o corpo encontram-se indissociavelmente integrados, segundo Damásio, contrapondo-se a Descartes: “*Existo, logo penso*”

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem do conceito de campo através, inicialmente, de uma representação figurativa, como proposto por Faraday através das *linhas de força*, parece se constituir numa primeira abordagem valiosa do ponto de vista pedagógico.

Essa estratégia de ensino, quando complementada pela realização de experimentos reais (em laboratório) ou pela observação de situações que ocorrem no cotidiano da Engenharia, através, por exemplo, do expediente das chamadas visitas técnicas (no caso de telecomunicações, a visita e observação *in loco* de uma estação radiodifusora em operação é um bom exemplo de atividade) parecem propiciar experiências que interessem ao aprendiz a partir do que ele se mobiliza e se movimenta cognoscitivamente na direção do aprendizado.

Em caráter mais geral, a aprendizagem do Eletromagnetismo em nível de sujeito epistêmico, pelas razões expostas ao longo desse trabalho, envolve operações lógico-matemáticas de até enésima potência. Envolve, igualmente, abstrações das mais diversas categorias. Requer, por isso mesmo, aproximações e afastamentos do sujeito do problema concreto na busca de uma formalização que o habilite a operar com as noções de campo e desenvolver sua capacidade de fazer previsões, estabelecer planejamentos e executar obras de engenharia na área da eletricidade. Acreditamos que a tomada de consciência sobre esses aspectos são fundamentais para o sucesso das estratégias de ensino na área do Eletromagnetismo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DAMÁSIO, Antonio. *O erro de Descartes*. São Paulo: Ed. Companhia das Letras, 2001.
2. PIAGET, Jean. *Biologia e conhecimento*. São Paulo: Vozes, 1973.



3. _____. *Adaptación vital e psicología de la inteligencia*. Madrid: Siglo Veintiuno, 1974.
4. _____. *O desenvolvimento do pensamento, Equilíbrio das Estruturas Cognitivas*. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1977.
5. _____. *Abstração Reflexionante - Relações Lógico-Aritméticas e Ordem das Relações Espaciais*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

LEARNING AND TEACHING ELECTROMAGNETICS: A DIALOG WITH PIAGET E DAMÁSIO

Abstract. This paper results from our interest in investigating some hypothesis for the reasons of the difficulties students have in learning Electromagnetics, a topic which is fundamental in the professional career of Electrical Engineers and is presently part of curricula in all undergraduate courses of electrical engineering worldwide. This paper reflects on the learning of the electromagnetic field concept, which we consider is fundamental for the learning of electromagnetism as a whole. We proceed our paper discussing this learning process on the basis of the biological and epistemological foundations of the human knowledge, taken from the works of Jean Piaget and Antônio Damásio. At the end we offer suggestions to be appreciated by the Professors of this domain of knowledge.

Key words: *Engineering Teaching, Teaching and Learning Electromagnetics.*