



• A GÊNESE DO CONCEITO DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO NO LABORATÓRIO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Sergio Luiz Schubert Severo – sergiosevero@pelotas.ifsul.edu.br
Instituto Federal Sul-rio-grandense, Engenharia Elétrica, Campus Pelotas
Praça Vinte de Setembro 455.
CEP 96015-360 – Pelotas - RS

Fernanda Oliveira Rezende – fernandarezende91@gmail.com
Instituto Federal Sul-rio-grandense, Engenharia Elétrica, Campus Pelotas
Praça Vinte de Setembro 455.
CEP 96015-360 – Pelotas - RS

***Resumo:** O projeto pedagógico do curso de engenharia elétrica do Instituto Federal sul-rio-grandense enfatiza fortemente as atividades práticas de laboratório. Propõe também que a pesquisa seja utilizada como meio de ensino. Buscando atender essas demandas, este trabalho apresenta uma proposta de laboratório de ondas eletromagnéticas de caráter construtivista. Procura-se investigar o processo de aprendizagem dos conceitos relacionados a propagação de ondas eletromagnéticas em linhas de transmissão. Utiliza-se para tal os pressupostos da teoria de Piaget sobre a equibração das estruturas cognitivas. Um roteiro de laboratório na forma de questionário é aplicado aos alunos. Apresenta-se a análise de algumas das respostas. O trabalho de pesquisa evidencia que praticamente todos os alunos apresentam sérias dificuldades na tematização da noção de velocidade de propagação de onda. Analisa-se as possíveis origens para essas dificuldades.*

***Palavras-chave:** aprendizagem, laboratório, eletromagnetismo, epistemologia genética.*

1. INTRODUÇÃO

O projeto pedagógico do curso de engenharia elétrica do Instituto Federal Sul-rio-grandense (IF-SUL, 2012) contempla um total de 23,8% de atividades práticas nos seus ciclos profissionalizante e específico. A disciplina de ondas eletromagnéticas, de uma carga total de 80 h.a. possui 10 h.a. de prática (12,5%). O documento define atividade prática como “ATIVIDADE PRÁTICA – AP – LABORATÓRIO/PROJETO/SIMULAÇÃO”. Sugere também que as disciplinas incluam, na sua metodologia de ensino, “elementos práticos” que poderão ocorrer através do uso dos laboratórios da instituição.

O mesmo projeto propõe ainda, nos seus pressupostos metodológicos, a “Pesquisa como elemento educativo”. Diz:

“A velocidade com que ocorrem as mudanças tecnológicas impõe ao ensino de graduação o desafio de buscar formas através das quais a teoria e a prática se encontrem de forma harmoniosa. Assim, toma-se por pressuposto que a formação, a prática profissional e a pesquisa, componham a base de uma profissão...A pesquisa



deverá ser incluída como um meio de ensino que permita a união do fazer com o teorizar, levando o aluno a observar, a refletir, a dialogar com a realidade e agir sobre ela, nas mais diversas atividades relacionadas ao Curso. Salienta-se que esta visão transcende à concepção usual de que a pesquisa seja utilizada apenas em atividades de iniciação científica, sendo aplicável como estratégia pedagógica para a competência profissional, em todos os níveis de atuação da EE.”(IF-SUL, 2012)

Buscando atender tal demanda estuda-se, dentro do contexto da disciplina de ondas eletromagnéticas, uma forma de atuação no laboratório de ondas onde se possa harmonizar “teoria” e “prática” através da “pesquisa” como “meio de ensino”. Tal estudo, formatado em um roteiro de laboratório na forma de questionário semi-estruturado, busca verificar a adequação de uma atividade exploratória na solução de problemas específicos para a construção e consolidação dos conceitos chave da disciplina. Além disso os resultados devem servir como meio de avaliação do progresso do aluno na compreensão dos fenômenos físicos e no emprego adequado dos modelos matemáticos. Finalmente, e não menos importante, pesquisa-se a ontogênese do conhecimento relacionado a esses conceitos segundo os pressupostos da epistemologia genética de Piaget. Não é senão em situações experimentais complexas, onde as estruturas cognitivas do sujeito são insuficientes, que se pode observar a construção de um novo conhecimento. O estudo de ondas eletromagnéticas, apesar de aplicado a sujeitos adultos, é rico em elementos desafiadores a modelos previamente construídos e resulta em constatações imediatas e transparentes dos processos de aprendizagem. Tais observações permitem qualificar a adequação da atividade laboratorial para o estudo da disciplina.

2. A PESQUISA COMO MEIO DE ENSINO.

É digna de nota a preocupação a respeito da necessidade de união entre “teoria” e “prática”, no projeto pedagógico do curso. Como proposta de solução para tal união entra a inclusão da “pesquisa” como meio de ensino. Meio de ensino para levar o aluno a “observar, a refletir, a dialogar com a realidade”. O mesmo projeto não detalha, entretanto, o que se entende por “pesquisa”, apenas afirma que não é aquela da iniciação científica. O documento também não especifica quem seria o autor da referida pesquisa. Estar-se-ia falando do emprego do “método científico” pelo aluno, após, certamente, um “treinamento” prévio no mesmo? Ou, quando se emprega o termo “levar o aluno”, se está falando de pesquisa em educação? Ou se quer do professor uma atuação científica de ponta para que suas aulas se tornem mais interessantes através da apresentação das últimas novidades científicas?

É consenso, do qual faz parte até mesmo a instituição quando nomeia os professores como “pesquisadores formadores” nos diários eletrônicos, que a pesquisa deva sim atuar como meio de ensino. Resta apenas definir qual pesquisa. Este estudo propõe que a pesquisa epistemológica seja o meio adequado, não exatamente para amalgamar “teoria” e “prática”, mas sim para construir um ensino de engenharia onde ambas estão absolutamente relacionadas como se dá no exercício da profissão. A pesquisa epistemológica é entendida tanto como teoria do conhecimento quanto como gênese. O agente dessa pesquisa é o professor. Permanentemente atuando no recorte daquilo que crê ser importante que seu aluno aprenda ele é o pensador preocupado com a validade e, no caso da engenharia, com a utilidade do que ensina. Permanentemente preocupado com a aprendizagem do seu aluno, ele busca compreender como está se dando a psicogênese do conhecimento selecionado.



3. O CARÁTER CONSTRUTIVISTA DA ENGENHARIA.

O Exercício da engenharia é caracterizado pela criação do artificial. Desde Arquimedes, engenheiros são aqueles que, fazendo uso da ciência, agem sobre a natureza com a intenção de transformá-la. Eles projetam máquinas, ferramentas, instrumentos e estruturas, respeitando a racionalidade econômica e ambiental. Agir sobre os objetos e transformá-los, esse é o trabalho do engenheiro. Curiosamente essa também é uma definição de Piaget para o pensamento: "*Pensar não se reduz, acreditamos, em falar, classificar em categorias, nem mesmo abstrair. Pensar é agir sobre o objeto e transformá-lo.*" (PIAGET, 1978)

A engenharia, segundo Loder (LODER, 2009), se apresenta como uma ciência da invenção ou do engenho. A autora afirma podermos reconhecer, na engenharia, um caráter construtivista. Ela diz:

"A ação do engenheiro, como possibilidade, principalmente na sua atividade como projetista, ultrapassa as atividades de análise para se lançar às de síntese ou de composição. As soluções não estão dadas a priori, mas devem ser encontradas ao longo do processo-projeto de engenharia – que identifica um problema e constrói a solução. A cognição pura ou articulada com a empiria são os instrumentos do engenheiro ao projetar e, nessa perspectiva, o seu fazer engenharia pode se apresentar como ação subjetivada de caráter construtivista..." (LODER, 2009).

A utilização da epistemologia genética como fundamento para o ensino de engenharia foi empregada pelo Núcleo de Multimídia e Ensino a Distância da Escola de Engenharia da UFRGS (SCHNAID et al., 2003). Os autores propõem um "construtivismo modular" que, segundo eles, seria mais adequado às características do ensino de engenharia. Eles definem:

"...um modelo pedagógico misto, peculiar ao ensino de engenharia, no qual os alunos tem objetivos definidos (em cada módulo ou unidade de conteúdo), são expostos a alguma forma de acesso às informações (aulas expositivas ou pesquisa bibliográfica) e depois se lançam a utilização desse conteúdo, por conta própria, seja através de exercícios ou de práticas de laboratório." (SCHNAID, 2003)

A justificativa para tal proposta é que "*cada unidade de conteúdo seria a estrutura cognitiva que o aluno deve assimilar, acomodar e organizar no conjunto de suas estruturas prévias*". Note-se que o conteúdo é visto como uma "estrutura cognitiva" pronta que o aluno irá acomodar em suas estruturas prévias. Tal justificativa parece estar fundamentada nos postulados da teoria da equilíbrio:

"Todo esquema de assimilação..."

1 ...tende a alimentar-se, isto é, a incorporar elementos que lhe são exteriores e compatíveis com sua natureza.

2 ...é obrigado a se acomodar aos elementos que assimila."(PIAGET,1975)

Os autores equivocam-se, entretanto, ao não observarem que os elementos a serem, eventualmente, incorporados nas estruturas cognitivas prévias do sujeito, não são senão resultados interiorizados das suas ações sobre os objetos, sobre as estruturas lógico-matemáticas previamente formalizadas ou sobre os sistemas físicos e seus observáveis. Não faz sentido, portanto, falar-se em "unidade de conteúdo" como uma "estrutura cognitiva".

Ademais, é preciso ver que o desenvolvimento cognitivo do sujeito, quer de forma ampla, quer restrita a um determinado assunto, "*não procede nem da experiência única dos objetos, nem de uma programação inata pré-formada no sujeito, mas de construções sucessivas com elaborações constantes de estruturas novas*" (PIAGET, 1975). Ou seja, não se trata somente de reorganização dentro de uma estrutura cognitiva existente mas também, e principalmente,



da criação de estruturas novas, na medida em que o sujeito responde, acomodando-se, ao inusitado daquilo que assimila.

Voltando ao texto de Loder, é a “*ação subjetivada de caráter construtivista*” que define o trabalho do engenheiro. Os requisitos de um projeto apresentam problemas não resolvidos e não pensados. O profissional precisa então lançar-se a um processo de aprendizagem para encontrar uma solução adequada. O “construtivismo modular” de Schnaid é uma forma bastante adequada de transpor esse universo para a aprendizagem da engenharia. Deve-se porém, retirar o foco do conteúdo e destacar o processo de aprendizagem; isso não significa que o conteúdo perde significado. Ao contrário, ele é ressignificado, aumentando sua importância. Não é imaginando uma “estrutura cognitiva”, mas sim organizando um processo de interação para que o aprendiz desenvolva uma estrutura cognitiva capaz de dar conta de módulos-problema a serem resolvidos.

Note-se também que nomear “conteúdo” como “estrutura cognitiva” não irá desfazer a concepção de educação “bancária”, definida e criticada por Paulo Freire (FREIRE, 1987). No mesmo livro ele afirma: “Só existe saber na invenção, na reinvenção, na busca inquieta, impaciente, permanente, que os homens fazem no mundo, com o mundo e com os outros”.

Assim, acredita-se que o método psicogenético de investigação dos processos de aprendizagem não é uma forma de reorganizar conteúdos mas sim uma forma de abordagem para a construção de conhecimentos complexos, principalmente aquelas capacidades relacionadas à atividade de engenharia em laboratório.

4. A PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO.

Conforme Piaget, diferente da matemática que, na sua forma científica, não necessita recorrer à experiência, a física repousa na experiência. O objetivo dessa última é “*atingir as relações, objetos e acontecimentos tal como são na realidade*” (PIAGET, 1981).

Para o autor “*experiência é uma ação exercida sobre o objeto*”, ou seja, supõe interação entre sujeito e objeto. Assim, ele infere que o problema que o físico deve resolver é duplo ao mesmo tempo em que utiliza as ações do sujeito deve discernir as relações que independem dele. Assim, qualquer estudo que supõe a ação de um sujeito é, não só um estudo formal, mas também um estudo psicológico. O sujeito epistemológico piagetiano no desenvolvimento da física é o cientista no ato da descoberta. Nosso sujeito epistêmico é o aluno no ato de aprendizagem do conhecimento físico (no nosso caso em particular: ondas eletromagnéticas).

Nesta marcha em direção à objetividade, neste processo no qual o aluno é obrigado a abandonar suas opiniões, seu senso comum ou até mesmo explicações e conceitos prévios, obtidos como verdades, é necessário um método capaz de analisar como se constituem “os conceitos e os comportamentos a que o físico é levado”. Ora, se conforme Piaget, os dados psicogenéticos podem dar conta do comportamento do físico mais ainda pode dar conta do nosso sujeito.

O primeiro laboratório a ser desenvolvido na disciplina de ondas eletromagnéticas do curso trata da propagação de ondas eletromagnéticas em linhas de transmissão. Segue a linha de Ulaby (ULABY & HAUCK, 2000) e de Lumori (LUMORI & KIM, 2010) que apresentam suas propostas de laboratórios de ondas eletromagnéticas iniciando com linhas de transmissão. É proposto um experimento bastante simples: Um gerador de sinais, na frequência de 80 a 100 MHz, é conectado a um osciloscópio de 300 MHz através de cabo coaxial RGC 58. No canal 1 utiliza-se um conector “T” que encaminha o sinal para o canal 2 do osciloscópio através de um trecho de cabo com aproximadamente 30 a 50 cm (cada



bancada possui um trecho de cabo diferente). A impedância de entrada do canal 2 é ajustada para 50 ohms. Na tela do osciloscópio são apresentados os dois sinais senoidais com uma diferença de fase entre eles devida ao tempo de propagação que o sinal leva de um canal ao outro.

Aos alunos são dadas as informações a respeito do trabalho de pesquisa por escrito, garantido o sigilo dos dados, informado que o aluno já está com a nota do laboratório garantida e o professor não estará presente na sala, apenas a aluna bolsista ficará responsável pelo acompanhamento dos alunos.

O roteiro de laboratório é composto por um conjunto de questões em grau crescente de dificuldade e com diferentes objetivos para a investigação epistemológica. São elas:

- 1) *O que o osciloscópio mostra? Desenhe e descreva as formas de onda na tela.*
- 2) *Se o sinal é o mesmo nos dois canais porque não se apresentam um sobre o outro?*
- 3) *Qual(is) o(s) fator(es) abaixo que influencia(m) na diferença de posição dos dois sinais? Em caso afirmativo de algum item, responda por que e como uma alteração no fator altera a diferença entre os sinais?*
 - a. *A forma de onda?*
 - b. *A frequência do sinal?*
 - c. *O tipo do cabo?*
 - d. *A impedância característica do cabo?*
 - e. *A impedância de entrada do osciloscópio?*
 - f. *O comprimento do cabo?*
- 4) *Passa a impedância de entrada do canal 2 do osciloscópio para “alta impedância”. Observe a variação da amplitude da onda no canal. Por que isso acontece?*
- 5) *Determine o valor do comprimento de onda no cabo a partir das observações.*
- 6) *Determine a permissividade do cabo e a velocidade de propagação da onda no mesmo.*
- 7) *Localize na internet a folha de dados do cabo (datasheet) e compare seus resultados com os valores obtidos.*

A questão 1 visa estabelecer a capacidade de abstração empírica dos sujeitos. Apesar de simples o equipamento apresenta inúmeros observáveis. A frequência do gerador, o cabo que conecta ao primeiro canal, o tipo dos cabos, os conectores, as impedâncias de entrada, a base de tempo e o ganho dos amplificadores do osciloscópio, os sinais na tela e os valores medidos apresentados pelo instrumento.

A questão 2 objetiva apresentar o problema que irá eventualmente provocar o desequilíbrio no esquema cognitivo prévio do sujeito. Aqui o objetivo é que o sujeito atente para a contradição entre o fato de um sinal simultâneo não se apresentar no mesmo lugar na tela do osciloscópio. Um único sinal de alta frequência é conectado aos dois canais disponíveis. Se ambos são iguais, deveriam apresentar-se um por sobre o outro. Isso não acontece pois entre os dois canais existe um trecho de cabo que, apesar de relativamente curto, faz com que o sinal demore mais para chegar ao segundo canal. Isso se apresenta na tela do osciloscópio como dois sinais defasados. Ao aluno resta explicar, com o auxílio do que já foi explicado em sala de aula porque isso acontece. Essa é a questão que visa colocar o aluno em processo de aprendizagem. Como refere Piaget: “*Numa perspectiva de equilíbrio uma das fontes de progresso no desenvolvimento dos conhecimentos deve ser procurada nos*



desequilíbrios como tais, que por si sós obrigam um sujeito a ultrapassar seu estado atual e a procurar o que quer que seja em direções novas” (PIAGET, 1975).

A questão 3 reduz as possibilidades de explicação para aqueles que o universo dos fatores do que pode afetar os sinais é amplo demais. Ou seja, procura-se estabelecer um conjunto de afirmações possíveis, todas dentro dos aspectos tratados na disciplina, que possam ajudar o sujeito a compensar adequadamente as afirmações e as negações. Uma lista de possíveis joga para as negações todas as outras alternativas. Assim, um aluno que eventualmente atribua a causa da diferença de posição entre os sinais à presença de elementos reativos discretos irá colocar esse modelo, ao menos temporariamente, no universo das causas improváveis.

A questão 4 motiva o aluno a utilizar a ação como forma de reduzir ainda mais o conjunto dos possíveis. Uma combinação adequada de impedância de entrada para o osciloscópio faz com que ambos os sinais apareçam com a mesma amplitude. Assim, com o canal 1 em alta impedância e o canal 2 na impedância característica do cabo, o conjunto não apresenta onda refletida (ou apresenta pequenas diferenças devido ao casamento de impedâncias nem sempre perfeito). A presença de onda estacionária, quando uma alta impedância é aplicada no canal 2, muda o quadro perceptivo ao apresentar sinais com amplitudes muito diferentes. Ressalte-se, novamente, que todas essas questões foram debatidas exaustivamente em sala de aula.

A questão 5 coloca de maneira clara o objetivo do laboratório: a determinação do comprimento de onda no cabo. Esse é um conceito fundamental da propagação de ondas eletromagnéticas – elas são sinais variáveis no tempo que se propagam no espaço. Se fixamos a variável espaço temos um sinal variável no tempo e se fixamos o tempo ainda temos um sinal que varia com a posição na direção da propagação. O osciloscópio “congela” o tempo e o trecho de cabo nos mostra o sinal em dois pontos diferentes do espaço. O aluno precisa observar a variação do tempo entre os dois canais para um ponto de fase constante e a distância entre os dois canais, ou seja, medir o comprimento do cabo. Só assim, estabelecendo a razão entre o espaço e o tempo, determinar a velocidade de propagação e então, utilizando a frequência que é vista no gerador de funções, determinar o comprimento de onda.

A questão 6 procura criar, como na questão 2, um desequilíbrio no sujeito que, eventualmente, tenha utilizado a velocidade da luz como velocidade de propagação no cabo. A determinação da permissividade do cabo se dá através do quadrado da razão entre a velocidade da luz e a velocidade de propagação. Ora, se o sujeito utiliza a velocidade da luz como velocidade de propagação verá que a razão é 1 e o dielétrico do cabo deveria ser o vácuo, o que, obviamente, não é o caso.

Finalmente, a questão 7 faz o sujeito buscar a confirmação para as suas medidas. Em caso de falha ele pode retornar ao experimento e verificar se as diferenças são devidas aos eventuais erros de medida ou aplicação equivocada do modelo. O cabo utilizado é um RGC 58 de marca conhecida e tabelado.

5. ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ALUNOS

Buscando ilustrar a aplicação da metodologia apresenta-se parte da análise feita das respostas dos alunos.

1) O que o osciloscópio mostra? Descreva e desenhe as formas de ondas na tela.

“A1: CH2 está atrasado de 90° em relação ao CH1.

A2: Essas formas de ondas são obtidas quando o canal 2 e o canal 1 estão com a impedância de 50Ω, com a amplitude de 100 mV/div.



A5: - CH1: 50Ω 100mv/div \rightarrow 0mV - CH2: 50Ω 100mv/div \rightarrow 4mV - O canal 2 está atrasado de 80° em relação ao canal 1 e com uma amplitude de tensão menor.

B1: O sinal senoidal mostrado no canal 1, é o que tem maior amplitude, o que é explicado pelo fato de que o pedaço de cabo coaxial, que vai do CH1 ao CH2, atenua e defasa a senóide ao longo de sua propagação até o canal 2.

B2: O osciloscópio mostra duas ondas senoidais, uma do canal 1 e outra do canal 2, uma está defasada em relação a outra. Frequência: 80Mhz Amplitude: (3,4 divisões) X (200 mV/divisões) = 680 mV.

B3: O osciloscópio mostra duas senóides defasadas uma da outra. Além disso, a segunda senóide está com uma amplitude um pouco menor que a primeira.

B5: O osciloscópio mostra como são geradas as ondas pelo canal 1 e pelo canal 2. Mudando-se a tensão no osciloscópio, alteramos a amplitude de onda. O pico de tensão do canal 1 (350 mV) é maior do que o pico de tensão do canal 2 (=290 mV) porque a impedância do canal 2 é maior. Há também a reflexão da onda no canal 2. Tem uma onda que volta por causa desta reflexão.

B6: Dois sinais com a mesma frequência. O sinal do canal 1 apresenta um sinal de amplitude maior do que o sinal do canal 2. O período dos sinais é de 12,6 nS. A defasagem é de aproximadamente $91,43^\circ$.

B7: O osciloscópio mostra duas ondas defasadas do mesmo sinal.

B8: A onda do canal 1 está defasada da onda do canal 2, as ondas tem período de aproximadamente 12 nS. A onda do canal 1 tem amplitude aproximada de 340 mV. A onda do canal 2 tem amplitude aproximada de 300 mV. O osciloscópio mostra o mesmo sinal, entretanto entre o canal 1 e o 2 existe um certo comprimento de cabo, o que gera a diferença entre as ondas.”

ANÁLISES

Todas as respostas, quando manifestadas, falam em “defasagem” entre os sinais. Na maior parte delas (A1, A5, B2, B3, B6, B7) essa é a única explicação acrescida por alguns sujeitos (A2, A5, B2, B6) de um melhor detalhamento do quadro perceptivo. O conhecimento apresentado do experimento por esses sujeitos é adquirido através de abstração empírica dos observáveis. Eles observam corretamente a impedância de entrada, a forma dos sinais, a frequência, a amplitude e a diferença de fase entre os mesmos. Obviamente o quadro experimental apresentado, por si só, é insuficiente para que o aluno veja, de imediato, o que causa os sinais na tela, principalmente a defasagem entre eles.

Apesar da questão não solicitar nenhuma espécie de explicação para o fenômeno B1, B5 e B8 vão bem além do simples detalhamento dos observáveis. B1 e B5 buscam a explicação para a defasagem entre os sinais nas explicações apresentadas previamente em sala de aula. O termo “atenua e defasa”, empregado por B1, foi utilizado extensivamente em sala de aula na explicação da propagação de ondas eletromagnética em meios com elevadas perdas. A qualidade sofrível do cabo empregado criou atenuação perceptível entre os dois canais. Isso fez com que o aluno assimilasse imediatamente o quadro experimental aos seus esquemas cognitivos previamente construídos. Entretanto, veremos a seguir, a afirmativa que o cabo atenua e defasa o sinal não dá conta de fornecer um modelo capaz de quantificar a causa de tal defasagem e atenuação. O sujeito B5 apresenta uma curiosa percepção deformada do experimento. Ele fala em ondas “geradas” pelo canal 1 e 2! Esse tipo de explicação é próprio da ausência de um esquema cognitivo capaz de assimilar a situação onde um mesmo sinal se apresenta de forma diferente em cada canal. Assim, o sujeito entende que sejam dois e não um



só sinal. Apesar do gerador de sinais estar conectado ele imagina que o osciloscópio gere o sinal. Esse é um curioso caso de assimilação deformante da realidade apresentada. Além disso B5 busca o conceito de reflexão de onda, previamente visto em sala de aula, para dar conta das diferenças de amplitude. Esse conceito, entretanto, não dá conta da defasagem, daí o emprego do osciloscópio “gerador” de sinais.

As observações e antecipações de B8 mostram um sujeito com um esquema cognitivo que atribui, adequadamente, ao comprimento do cabo entre os canais a diferença entre os sinais apresentados. É importante notar que ele emprega o termo “diferença” além do termo “defasada”. Os sinais se apresentam defasados no espaço da tela do osciloscópio como uma representação da defasagem dos mesmos no tempo. Essa defasagem é causada pelas diferentes posições do cabo onde os sinais são amostrados. A maioria dos sujeitos está, entretanto, recorrendo ao modelo de circuitos concentrados, onde toma-se sinais em um mesmo ponto (por exemplo, sobre um capacitor) e se apresenta no osciloscópio os sinais de tensão e corrente. Claro, o modelo concentrado irá falhar em algum momento quando tratamos de linhas de transmissão, ou circuitos distribuídos. É exatamente essa limitação que cria a necessidade da aprendizagem de ondas eletromagnéticas.

2) Se o sinal que chega aos dois canais é o mesmo, porque eles não se apresentam um sobre o outro na tela do osciloscópio?

A1: Isto acontece porque o coeficiente de reflexão varia ao longo da linha, assim fazendo a impedância se comportar como um capacitor no canal 2.

A2: Porque a defasagem aumenta com o aumento da frequência e com o aumento do comprimento do cabo.

A3: Devido ao comprimento existente entre os dois canais variando a fase.

A4: não respondeu.

A5: Porque possuem impedâncias diferentes. E o comprimento extra de cabo está produzindo um efeito capacitivo a mais no canal 2.

A6: Porque ocorre uma defasagem no ângulo de fase ao passar o sinal pelo terminal “T” devido à frequência alta (80Mhz).

B1: Porque o cabo entre os dois canais pode ser considerado como uma linha de transmissão, que tem R,G,L e C distribuídas e que causam portanto atenuação e defasagem no sinal. Deve-se notar que se o sinal tivesse uma frequência menor a defasagem seria menor como percebe-se pela solução analítica do problema.

B2: Porque o sinal coletado pelo canal1 não é coletado no mesmo ponto do cabo coaxial no canal 2, a onda então tem que se propagar por um trecho de cabo de comprimento diferente gerando a defasagem.

B3: Porque um sinal chega primeiro ao osciloscópio do que o outro.

B4: Os sinais estão defasados devido a Z_0 do cabo e também do seu comprimento.

B5: Porque tem outro cabo na conexão do canal2, ou seja uma nova impedância. Há também um coeficiente de reflexão.

B6: Devido a constante de fase que o cabo possui, no qual atrasa a onda em aproximadamente -51° .

B7: Por causa da impedância do cabo e pela constante de atenuação.

B8: Porque entre o canal 1 e o canal 2, existe um cabo com certa impedância característica e certo comprimento, assim a constante de propagação é alterada em relação ao sinal 1, onde o aumento de α provoca atenuação do sinal (menor amplitude) e β alterado provoca a defasagem no sinal.“



ANÁLISES

Os sujeitos A1, A5, B5, B7 mostram claramente estarem empregando o modelo de parâmetros concentrados. O sujeito B5 transforma o trecho de cabo em uma “impedância”. O sujeito A6 é mais preciso ao afirmar que um elemento discreto, o conector “T”, é “o responsável pela defasagem”. Um modelo misto parece ser empregado por B4 ao afirmar que a impedância característica “ Z_0 ” e o comprimento do cabo são responsáveis pela defasagem.

Os sujeitos A2, A3, B2, B3 inferem corretamente, ainda que de forma aproximada, a respeito da influência do comprimento do cabo. Isso mostra que a questão 2 provocou a ação dos sujeitos na busca de uma justificativa para a defasagem. Já B8 reapresenta sob outra forma o já visto na questão anterior, rememorando todos os elementos do modelo que podem alterar a diferença entre os sinais. Essa volta ao modelo, entretanto, cria uma interpretação a respeito de uma “alteração da constante de propagação” em relação ao sinal 1. Ou seja, ele parece relacionar a constante de propagação como uma propriedade do sinal e não do cabo. Ora, em circuitos a defasagem modifica-se se estamos medindo tensão ou corrente, ou seja, é uma propriedade do tipo do sinal. Ao que parece, pelo menos para B8, a questão 2 provoca um desequilíbrio cognitivo por sua redundância. Se ele já sabe que é o cabo que produz a diferença entre os sinais porque o professor está perguntando novamente?

Por último resta comentar a interessante explicação de B1. O modelo de altas perdas, apresentado em sala de aula previamente, fornece a atenuação e a variação da fase do sinal ao longo da linha. O osciloscópio fornece o tempo que um ponto de fase constante leva para chegar de um canal até o outro. A variação da frequência altera a constante de fase mas não modifica o tempo para a onda se propagar de um canal até o outro. O uso que B1 faz do modelo matemático mostra a insuficiência de uma aplicação simples de uma equação matemática em um experimento, mesmo que a equação seja a correta. Nas palavras de alerta de Feynman: “*Estas equações são complicadas, mas são apenas equações matemáticas, se eu entendê-las matematicamente em profundidade, entenderei a física. Todavia as coisas não funcionam assim...*” (FEYNMAN, 2008).

A questão 2 parece plenamente capaz de alcançar seu caráter desequilibrador. Esse foi exatamente o objetivo da sua formulação. Provoca-se o desequilíbrio no esquema de assimilação do sujeito, visando torná-lo progressivamente mais incapaz de se acomodar aos novos fenômenos apresentados pelo experimento. Os mais diversificados conceitos ensinados em sala de aula são empregados na tentativa de responder a questão. Coeficiente de reflexão, impedância, constante de fase, atenuação e frequência, além do comprimento do cabo são apresentados como resposta. Esse apelo, quase desesperado, a partes do modelo novo atesta plenamente o estado de desequilíbrio cognitivo dos sujeitos. Note-se o cuidado de B6 quando afirma a defasagem ao passar pelo terminal “T” (esquema cognitivo aplicável aos circuitos concentrados) é devida à frequência alta (modelo de altas frequências). Ele está, na verdade, buscando acomodar seu esquema de assimilação a uma nova realidade. Piaget afirma, no segundo postulado da teoria da equilibração:

“*todo esquema de assimilação é obrigado a se acomodar aos elementos que assimila, isto é, a se modificar em função de suas particularidades, mas sem com isso, perder sua continuidade, nem seus poderes anteriores de assimilação*” (PIAGET, 1975).

Assim, utilizando o argumento da frequência alta (que realmente torna o efeito de qualquer eventual capacitância parasita do conector T muito mais pronunciado) impõe uma não solução de continuidade no esquema de assimilação empregado. Isso preserva o esquema conservando a estrutura pois a acomodação foi bem sucedida para o sujeito.



ANÁLISES (questões 3 a 6)

As respostas da questão 3 vão mostrar, de forma geral, os alunos buscando nas informações da sala de aula, por vezes de forma bastante equivocada, explicações para o experimento. Dos 14 sujeitos, 11 atribuem ao comprimento do cabo a variação na posição dos sinais, embora A3 explique que tal fator afeta o coeficiente de reflexão, B5 fala em aumento de impedância e B8 em atenuação.

Na questão 4, 9 dos 14 sujeitos referem adequadamente que a amplitude dos sinais se modifica por um problema no casamento da impedância do cabo com a impedância do osciloscópio. Isso mostra que a maioria observa a necessidade do casamento de impedâncias e a presença de apenas uma onda viajante no cabo.

Com esses dados, a expectativa para as questões 5 e 6 era que, ao menos metade dos sujeitos determinasse a velocidade de propagação (e conseqüentemente o comprimento de onda e a permissividade do cabo). Afinal, todos eles assistiram às aulas teóricas e, pelo menos, a metade percebeu a importância do comprimento do cabo para a diferença de posição entre os sinais. Surpreendentemente esse não foi o caso. Nenhum dos sujeitos sequer cogitou em medir o comprimento do cabo, ação imprescindível para a determinação desses valores. B2 estabelece corretamente um comprimento em relação ao comprimento de onda e termina afirmando a impossibilidade da determinação pois “não tem o comprimento do cabo que liga o trecho do “T” até o canal 2. Ele afirma isso no final da aula e não foi capaz de medir o cabo com a régua que estava à disposição sobre a mesa.

6. RESULTADOS

As respostas dos alunos às questões propostas, principalmente para as questões de 1 à 4, mostram a adequação dessa forma de “roteiro” para que se faça da pesquisa, e no caso específico, pesquisa em epistemologia genética, um “meio de ensino”. Elas trouxeram uma riqueza de detalhes a respeito do processo de aprendizagem do aluno dos conceitos relacionados à propagação de ondas eletromagnéticas que não se conseguiria obter através de avaliações de conteúdo. Além disso foi possível determinar as dificuldades do aluno na construção do conhecimento específico criando a necessidade de novas formas de explicação para a aula expositivo-dialogada. Mais importante ainda é notar que o tempo gasto no laboratório foi extremamente produtivo pois claramente os sujeitos se colocaram em atividade de investigação. O progresso cognitivo é rápido e visível nas respostas. Havia busca constante aos livros e anotações. No final do laboratório, várias foram as manifestações para que houvesse mais aulas com a mesma metodologia.

Restou, porém, o fracasso nas questões 5 e 6. Esse fracasso é exatamente o que dá importância ao estudo. Os alunos, embora no sexto semestre de um curso de engenharia elétrica, todos com muito pouca ou nenhuma reprovação (são as primeiras turmas a serem formadas pelo curso), restantes de 100 alunos ingressantes, não foram capazes de construir o conceito de velocidade de propagação de onda. Na verdade é o próprio conceito de velocidade como razão do espaço sobre o tempo que está em jogo. Após o final do laboratório esse fato era comentado com os alunos e eles ficavam espantados com a facilidade da solução do problema. Diziam incrédulos: “Poxa, mas era só medir o cabo e dividir pelo tempo entre as duas ondas!”.

“Para tematizar a velocidade é preciso extrair, por abstração reflexionante, relações de intervalos coordenando os sistemas simétricos (até então considerados como separados) dos espaços (ou frequências) e das durações como tais. Reencontramos aqui as combinações habituais das abstrações empíricas e das abstrações reflexionantes....ainda que seja geral a



relação velocidade = espaço / tempo, os seus termos devem reconstruir-se em cada um dos domínios e sub-domínios considerados.”(PIAGET & GARCIA, 1982)

Ora, no caso específico, o aluno deve coordenar o atraso de propagação da onda (que resulta em sinais diferentes dependendo da posição do cabo), a frequência de oscilação (que resulta em diferentes “comprimentos elétricos”) e o tamanho do percurso entre os dois canais. Tornando ainda a situação mais complexa, o trabalho de Casassanto (CASASSANTO, 2010) irá afirmar uma assimetria entre as relações espaço-tempo. Diz a autora: “*Os sujeitos não são apenas bons em julgar o espaço e maus em julgar o tempo... eles são particularmente ruins em julgar o tempo na presença de interferência espacial, mas não o contrário*”. Ora, o experimento exige que se julgue ser necessário algum tempo para que a onda vá do canal 1 ao canal 2. Esse julgamento deve ser feito a partir de representações espaciais do tempo. O osciloscópio “congela” o tempo e a frequência de variação do sinal. Não há nenhum observável direto (sob a forma de um intervalo de som ou silêncio, por exemplo) da passagem do tempo. Estamos falando de décimos de nanosegundos. Tudo então é interferência espacial e não é surpreendente que um aluno acredite que os sinais “saíam” do osciloscópio.

Não que os alunos não tenham construído o conceito de velocidade ou um esquema cognitivo para dar conta dela. Apenas, eles mostram que o processo de abstração reflexionante se faz novamente necessário para chegar-se a uma síntese capaz de determinar a velocidade nesse caso. Como comenta Piaget “*Existem domínios múltiplos nos quais uma mesma lei pode tomar formas diferentes, o que cria dificuldades na síntese. O exemplo mais notável constitui a noção de velocidade*”(PIAGET & GARCIA, 1982).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASASSANTO, D.; FOTAKOPOULOU O.; BORODITSKY L. Space and time the child's Mind: Evidence for a Cross Dimensional Asymmetry. **Cognitive Science**. V. 34, p. 387-405, 2010.

FEYNMAN, Richard P. Lições de física de Feynman. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FREIRE, Paulo. Pedagogia do oprimido. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987. 184 p.

GELLON, Gabriel; FURMAN, Melina, Feher, ELSA Rosenvasser; GOLOMBEK, Diego. La Ciencia en el aula: lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla. Buenos Aires: Paidós, 2010.

IF-SUL. Instituto Federal Sul-rio-grandense, Campus Pelotas - Projeto pedagógico do curso de graduação em Engenharia Elétrica. Disponível em: <http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/engenhariaeletrica/resources/files/PPC_EngEletrica_junho_2011.pdf> Acesso em: 12 de maio de 2012.

LODER, Liane Ludwig; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Faculdade de Educação. Engenheiro em formação: o sujeito da aprendizagem e a construção do conhecimento em engenharia elétrica, 2009. 341p, il. (Tese Doutorado).

LUMORI, M.L.D, KIM, E.M. Engaging Students in Applied Eletromagnetics at the University of San Diego. **IEEE Transactions on Education**, 2010: 419-429.



PIAGET, Jean. Problemas de epistemologia genética. In: Piaget J. Os pensadores. São Paulo: Abril Cultural; 1978.

PIAGET, Jean. A equilibração das estruturas cognitivas: Problema central do desenvolvimento. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1975.

PIAGET, Jean; GARCÍA, Rolando. Psicogénesis e historia de la ciencia. Mexico: siglo ventuino editores,sa, 1982.

PIAGET, Jean et al. Lógica e conhecimento científico Vol. 2. Minho, Portugal: Barcelos; 1981.

SCHNAID, F.; TIMM, M. I.; ZARO, M. Considerações sobre uso de modelo construtivista no ensino de Engenharia: disciplina de projeto com graduandos e mestrands. **Revista RENOTE Novas tecnologias na educação**. v.1, n.1, Fevereiro 2003. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/renote/issue/view/744>>

SENAC. DN. **Laboratórios : função pedagógica e perspectivas atuais**. Rio de Janeiro : SENAC / DIPLAN / GAB, 2009. 42 p. Disponível em:<http://www.senac.br/pesquisa/perfil_laboratorios.pdf> Acesso em: 12 de maio de 2012.

MAXWELL, James Clerk; A dynamical Theory of the Electromagnetic Field, **Phil. Trans. R. Soc. London**. 1865 155, 459-512

ULABY, F. T.; HAUCK. B. L. Undergraduate electromagnetics laboratory: An invaluable part of the learning process. **Proceedings of the IEEE**, 2002: 55-62.

GENESIS OF WAVE SPEED CONCEPT IN UNDERGRADUATE ELECTROMAGNETICS LABORATORY

Abstract: *The electrical engineering course at the Federal Institute Sul-rio-grandense strongly emphasizes practical activities in laboratories. It also proposes that research be used as a teaching medium. Seeking to meet these demands, this paper proposes a constructivist electromagnetic waves laboratory. It seeks to investigate the learning process of concepts related to transmission lines electromagnetic wave propagation. It is applied Piaget's theory of equilibration. Applies a script lab in form of a questionnaire. It presents the analysis of some of the answers. The research shows that almost all students have serious difficulties in the thematization of the concept of wave propagation speed. We analyze the possible sources for these difficulties.*

Keywords: *learning, laboratory, electromagnetics, genetic epistemology.*