

# APRENDIZAGEM DE CONCEITOS CIENTÍFICOS EM UM CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA: O CASO DO PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO

Viviane Cota Silva<sup>a</sup>, Ricardo Hiroshi Caldeira Takahashi<sup>b</sup>, Márcia Maria Fusaro Pinto<sup>c</sup>

## RESUMO

O artigo mostra a importância do ensino e da aprendizagem de conceitos científicos dentro do contexto de um curso de Engenharia. Um estudo de caso é apresentado, em que o ensino e a aprendizagem do conceito de “Princípio da Superposição” são investigados no contexto da disciplina de Circuitos Elétricos I do curso de Engenharia Elétrica de uma instituição de ensino particular do Estado de Minas Gerais. O estudo é realizado baseando-se teoricamente nas idéias de Vygotsky e de Vinner. Foi notado que, dos conteúdos previstos na disciplina, foi possível constatar o efetivo aprendizado daqueles conceitos de cunho “instrumental”, relacionados com a realização de cálculos para a determinação de grandezas. Já conteúdos um pouco mais abstratos, relacionados com as propriedades gerais características dos circuitos lineares, aparentemente não foram de todo absorvidos. Os resultados obtidos mostram que o processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos nesta disciplina talvez não estejam cumprindo alguns dos objetivos programáticos previstos.

*Palavras-chave:* Ensino e Aprendizagem de Conceitos Científicos. Curso de Engenharia Elétrica. Princípio da Superposição.

## ABSTRACT

The paper shows the importance of teaching and learning of science concepts within the scholastic context. A case study is presented, in which teaching and learning of the concept of “Principle of Superposition” are investigated in the context of the Subject of Electrical Circuits I from the Electrical Engineering Course of a private educational institution in the State of Minas Gerais. The study performed is theoretically based on the ideas of Vygotsky’s and Vinner. The results obtained shows that the process of teaching and learning of scientific concepts in this Subject is deficient and needs to be improved.

*Keywords:* Teaching and Learning of Scientific Concepts. Electrical Engineering Course. Principle of Superposition.

---

<sup>a</sup> Professora Assistente, Doutoranda, Curso de Eng. Elétrica, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Av. Tancredo Neves, 3500, B. Universitário, Coronel Fabriciano - MG, CEP 35170-056. Fone: (31) 3846 5664. E-mail: vivianne\_cs@yahoo.com.br

<sup>b</sup> Professor Adjunto, Doutor, Dep. de Matemática, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte - MG, CEP 31270-901. Fone: (31) 3409 5974. E-mail: taka@mat.ufmg.br

<sup>c</sup> Professora Adjunta, Doutora, Instituto de Matemática, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira Ramos 149, Centro de Tecnologia - Bloco C Cidade Universitária - Ilha do Fundão. Caixa Postal 68530 21941-909, Rio de Janeiro - RJ. Fone: (21) 2562-7515. E-mail: marcia@mat.ufmg.br

## INTRODUÇÃO

Muitas são as concepções existentes sobre o que denominamos *conceito*. Na perspectiva vigotskiana, adotada neste trabalho, os conceitos são entendidos como um *sistema de relações e generalizações* contidas nas *palavras* e determinadas pela construção cultural do grupo ao qual pertence o indivíduo, que o internaliza ao longo do seu processo de desenvolvimento (VYGOTSKY, 2001). Para Vygotsky (2001), um conceito é um ato real e complexo do pensamento que não pode ser aprendido por meio de simples memorização.

De maneira simplificada, podemos dizer que o conceito é o significado de uma palavra (ou de um termo, na linguagem de especificidade (LARA, 2004)), que por sua vez, é um *signo*.

Sendo um signo, as palavras (ou termos) são artefatos mediadores entre o sujeito e o seu objeto de conhecimento do mundo. Os signos mediam a ação mental do sujeito sobre o mundo e são denominados de mediadores culturais (VYGOTSKY, 1998).

No contexto escolar encontramos os *conceitos científicos*, distribuídos nos vários conteúdos referentes às diversas áreas do conhecimento. Esses conceitos científicos, difundidos nos conteúdos escolares, são *mediadores culturais* que favorecem a formação e o desenvolvimento do pensamento teórico, isto é, do pensamento científico.

Vygotsky (2001) enfatiza que o domínio dos conceitos científicos é tão determinante de rupturas e transformações no homem quanto o domínio da escrita. A maior contribuição que o domínio de conceitos pode trazer não é a maior quantidade de conteúdos de posse do sujeito, mas a qualidade que a aprendizagem de tais conceitos confere ao pensamento. Ou seja, para Vygotsky (1982), o aprendizado de conceitos adequadamente organizado resulta em *desenvolvimento mental*. A atenção, a percepção, a memória, a imaginação e o raciocínio do homem sobre o mundo objetivo são modificados pelo conceito.

Além disso, os conceitos científicos são importantes porque compõem a linguagem científica e veiculam o conhecimento científico (FERRARI, 1982), contribuem para o sucesso escolar (BARROS, 2006) e se transformam em ferramentas mentais para o sujeito lidar de maneira prática com problemas, situações ou dilemas práticos (LIBÂNEO, 2003).

Assim, em um contexto escolar, a aprendizagem de conceitos científicos é de suma impor-

tância. Portanto, torna-se necessário promover o ensino e a aprendizagem de conceitos de uma forma adequada.

O objetivo deste trabalho é investigar *como acontece e se tem sido satisfatório* o processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos em um curso específico de Engenharia Elétrica, de uma instituição particular de Minas Gerais. Para isso, selecionamos o conceito de *princípio da superposição* e investigamos a aprendizagem deste conceito em alunos de uma turma de Circuitos Elétricos I (CE I).

O trabalho está organizado em cinco partes. Em primeiro lugar, os fundamentos teóricos utilizados no desenvolvimento da pesquisa são apresentados. Em segundo, os procedimentos metodológicos são descritos. Em terceiro lugar, apresentamos os resultados obtidos com a pesquisa, e em seguida, em quarto lugar, a discussão dos mesmos. Finalmente, as conclusões são apresentadas.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### CONCEITOS COTIDIANOS E CONCEITOS CIENTÍFICOS: AS IDÉIAS DE VYGOTSKY

Vygotsky (1993) divide os conceitos em dois grupos: os conceitos cotidianos (ou espontâneos) e os conceitos científicos.

A principal diferença que ocorre entre os processos de apropriação de conceitos cotidianos e conceitos científicos refere-se à *tomada de consciência* desses conceitos pelo sujeito. Os conceitos cotidianos são apreendidos em situações em que a consciência do sujeito se volta para o fenômeno em si, e não exatamente para o conceito presente nele. Por outro lado, os conceitos científicos contêm um grau mais elevado de abstração, e não são tão evidentes nos fenômenos. Assim, para que sejam apreendidos, é necessário que a consciência do sujeito lhes seja dirigida intencionalmente. Se isso não acontecer, corre-se o risco de se manter na superficialidade dos fenômenos e de não se apropriar dos seus conceitos (VYGOTSKY, 2000).

De acordo com Vygotsky (1987), o processo de formação de conceitos cotidianos é *ascendente*: surge impregnado de experiência, porém de uma forma não-consciente, e ascende para um conceito definido conscientemente. Por outro lado, o processo de formação dos conceitos científicos

é *descendente*: começa com uma definição verbal com aplicações não-espontâneas e posteriormente adquire um nível de concretude, por meio da experiência. Vai da esfera do caráter consciente e da intencionalidade para a esfera da experiência pessoal e do concreto. O acesso ao conceito científico se dá por meio da instrução, sendo assim um conhecimento que se adquire de forma desvinculada da experiência imediata, em momentos organizados com a finalidade explícita de ensinar e aprender.

Apesar de possuírem processos de formação diferenciados, os conceitos cotidianos e científicos fazem parte de um único processo, se relacionam e se influenciam (VYGOTSKY, 1993).

A distinção dos processos de aprendizagem de conceitos cotidianos e científicos deveria ser levada em consideração na hora de se ministrar o ensino escolar. Sforzi (2004) estuda essa questão e ressalta a importância da distinção entre os conceitos cotidianos e científicos, feita por Vygotsky. Segundo esta autora, tal distinção é importante para se repensar a didática, que é normalmente presa à psicologia tradicional e entende a formação de conceitos científicos como uma continuidade da formação dos conceitos cotidianos e, com essa compreensão, tem sido usada na organização do ensino.

## CONCEITO E IMAGEM CONCEITUAL: AS IDEIAS DE VINNER

Quando nos propomos a investigar a aprendizagem de um determinado conceito, é muito interessante considerarmos o trabalho desenvolvido por Vinner (1991). Este autor investigou o papel das *definições* no ensino e aprendizagem de Matemática.

Na seção anterior deste trabalho, foi ressaltado que Vygotsky defende a idéia de que o processo de formação dos conceitos científicos é diferente do processo de formação dos conceitos cotidianos. Semelhantemente, Vinner reconhece uma distinção entre o que ele chama de *contexto cotidiano* e o *contexto técnico*. Na visão deste autor, para aprender conceitos científicos é necessário desenvolver hábitos de pensamento diferentes daqueles utilizados na aprendizagem de conceitos cotidianos. Para Vinner, a principal diferença entre os dois contextos é o fato de se *consultar ou não definições* ao interpretar sentenças (ou os próprios conceitos) ou resolver problemas.

Segundo Vinner, muitos dos conceitos cotidianos (como casa, laranja, gato, etc.) podem ser adquiridos (e o são) sem definições. Em contextos cotidianos, na maioria das vezes, não há necessidade de consultar definições; ao passo que, em um contexto técnico, as definições devem ser consultadas, caso contrário enganos podem ocorrer.

Porém, os hábitos de pensamento cotidiano podem interferir na formação de hábitos de pensamento em um contexto técnico. Como o impacto que a vida cotidiana tem nas outras situações da vida é forte, pode-se esperar que a maioria das pessoas irão ignorar as definições também em contextos técnicos. A tendência dos alunos (ou até mesmo de todos nós, quando leigos), quando se inserem em um contexto técnico, é continuar usando os mesmos hábitos de pensamento que utilizam no cotidiano, os quais são inapropriados para este contexto.

Vinner também faz uma distinção entre o *conceito* e o que ele chama de *imagem conceitual*. O nome de um conceito, quando visto ou ouvido, é um estímulo para a memória e evoca dentro da memória a imagem conceitual. Essa imagem conceitual não é a definição do conceito, pelo contrário, é algo não-verbal associado na mente ao nome do conceito. Pode ser uma representação visual do conceito (se existir), ou algum tipo de impressão ou experiência. Tais representações visuais, impressões e experiências podem ser traduzidas em formas verbais, mas em um estágio posterior. Cada indivíduo possui uma imagem conceitual própria em relação a um determinado conceito. E mais: em situações diferentes, um indivíduo pode evocar imagens conceituais diferentes em relação a um mesmo conceito. Não obrigatoriamente tais aspectos são coerentes com a definição técnica ou entre si, podendo ser contraditórios. Tal conjunto de aspectos é denominado por Vinner de fator potencial de conflito. Um indivíduo pode não ser consciente dessa incoerência, que poderá ser evidenciada em situações em que ambos os aspectos da imagem conceitual são evocados simultaneamente.

Para Vinner, em um contexto técnico, o papel das definições não se limita a apenas formar a imagem conceitual (como acontece no contexto cotidiano), mas é muito importante em atividades cognitivas. As definições podem livrar o sujeito de *armadilhas* colocadas pela imagem conceitual. Consultar a definição pode prevenir erros.

Vinner explica que pode haver alguma interação entre a definição e a imagem conceitual.

al, embora elas possam ser formadas independentemente. Quando um conceito é introduzido pela primeira vez por meio de uma definição, a imagem conceitual ainda não existe, no início. Ela passa a existir gradualmente, após vários exemplos e explicações. Se nenhum significado for associado ao nome do conceito, ou se a definição conceitual for memorizada de um modo não significativo, a imagem conceitual não se construirá significativamente. Além disso, a imagem conceitual não reflete, necessariamente, os aspectos essenciais da definição.

Em um processo de resolução de problemas (tarefas cognitivas), espera-se que o aluno utilize tanto a imagem conceitual quanto a definição. O processo desejável é que o aluno formule a solução de um problema somente depois de consultar a definição. Na prática, porém, o processo é diferente: a maioria dos alunos não consulta a definição durante o processo de resolução de um problema (atividades cognitivas) em um contexto técnico.

Muitos professores esperam que a imagem conceitual seja formada (e controlada) pela *definição técnica*. Todavia, conforme Vinner, a definição não tem poder cognitivo sobre o pensamento conceitual do aluno. É importante notar que a reconstrução de uma definição formal nem sempre indica um entendimento do conceito, visto que tal definição pode ter sido adquirida por memorização.

Embora Vinner tenha desenvolvido estas idéias referindo-se ao contexto técnico da Matemática, estas podem ser também uma abordagem para o contexto técnico da Engenharia.

## METODOLOGIA

A fim de investigarmos como tem acontecido *o ensino e a aprendizagem de conceitos* no curso de Engenharia Elétrica da referida instituição de ensino, selecionamos o conceito de “Princípio da Superposição”, abordado na disciplina de Circuitos Elétricos I. Escolhemos este conceito por considerá-lo importante não apenas em Circuitos I, mas também em várias outras disciplinas do curso. Baseamo-nos nas idéias de Vinner para identificarmos as definições e as imagens conceituais formadas pelos alunos, e nas idéias de Vygotsky para analisarmos o modo pelo qual o conceito foi ensinado.

De acordo com Vinner (1991), uma questão que auxilia nos procedimentos metodológicos de investigação da definição e da imagem conceitu-

al é o fato de que as definições são verbais e explícitas (podem ser percebidas quando questionadas diretamente: o que é isso?). Por outro lado, as imagens conceituais podem ser não-verbais e implícitas, podendo ser percebidas por meio de questões que possam expô-las.

Tendo em vista estas considerações, a investigação sobre a definição e imagem conceitual formada sobre o princípio da superposição foi feita por meio de dois procedimentos metodológicos:

1. Entrevista, com uma pergunta direta: “O que é o princípio da superposição?”, a fim de buscar perceber a *definição conceitual* dos alunos<sup>1</sup>. Realizada no segundo semestre de 2008.
2. Resolução de um exercício: uma forma indireta de o aluno expor seu conhecimento sobre o princípio da superposição, a fim de buscar perceber a *imagem conceitual* dos alunos. Realizada no primeiro semestre de 2009.

Para aplicar estes dois procedimentos, selecionamos seis grupos dentre os alunos da turma de CE I, formados por eles mesmos, em função da afinidade. Eram grupos de alunos que de alguma forma tinham características em comum (por exemplo, trabalhar), e estavam sempre juntos, estudando fora da sala de aula e fazendo os trabalhos da disciplina juntos. Em geral, os colegas de cada grupo sentavam-se perto também na sala de aula. A seguir, informações sobre os grupos.

- Grupo 1 (G1): formado por 7 alunos. A entrevista foi realizada no dia 01/12/08, com três representantes.
- Grupo 2 (G2): formado por 5 alunos. A entrevista foi realizada no dia 02/12/08, com quatro representantes.
- Grupo 3 (G3): formado por 2 alunos. A entrevista foi realizada também no dia 02/12/08, com apenas um representante.
- Grupo 4 (G4): formado por 5 alunos. A entrevista foi realizada no dia 03/12/08, com apenas um representante.
- Grupo 5 (G5): formado por apenas 1 aluno. Este aluno já possui 2 cursos de graduação, e a Engenharia Elétrica é o seu terceiro curso. Ele não se entrosou com a turma, no sentido de fazer parte de algum grupo. Estudou sozinho, por isso se considerou um grupo. A entrevista foi realizada no dia 04/12/08.
- Grupo 6 (G6): formado por 4 alunos. A entrevista foi realizada no dia 05/12/08, com dois representantes.

Além das entrevistas e do exercício, foi feita a observação e a gravação em vídeo (com posterior transcrição) da aula em que o conceito de “princípio de superposição” foi introduzido, seguida de anotações, bem como uma inspeção do livro texto adotado pelo professor de CE I.

As seções a seguir relatam os resultados obtidos. Antes de mostrarmos os resultados, porém, apresentamos a forma pela qual o conceito de “princípio da superposição” foi abordado na disciplina de Circuitos Elétricos I.

## RESULTADOS

### A ABORDAGEM DO CONCEITO DE PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO

Matematicamente, o princípio da superposição pode ser enunciado da seguinte forma, como esclarece Aguirre (2000):

Para entender esse princípio, considere um sistema que ao ser excitado pela entrada  $u_1(t)$  produz a saída  $y_1(t)$  e quando excitado por  $u_2(t)$  produz a saída  $y_2(t)$ . Se tal sistema satisfizer o princípio da superposição então, quando excitado por  $au_1(t) + bu_2(t)$ , sua saída será  $ay_1(t) + by_2(t)$ , sendo  $a$  e  $b$  constantes reais (AGUIRRE, 2000, p.39).

Ou seja, podemos dizer que o princípio da superposição estabelece que se o sistema for excitado por uma entrada que é uma combinação linear de duas outras entradas, a saída devida a esta entrada é também uma combinação linear das saídas devidas às duas outras entradas. Esse princípio pode facilitar os cálculos das variáveis de saída do sistema, visto que uma determinada saída mais complexa pode ser obtida por meio da soma de duas saídas mais simples.

Mais do que um princípio facilitador de alguns cálculos, entretanto, deve-se dizer que o princípio da superposição é uma das formas de se expressar a propriedade da linearidade de sistemas. Pode-se afirmar que grande parte do sucesso da tecnologia desenvolvida no século XX foi obtido graças à utilização dessa propriedade pelos engenheiros projetistas de sistemas. Essa propriedade, antes de ser intrínseca aos sistemas, era obtida intencionalmente pelos seus projetistas. Por exemplo no contexto de circuitos, não existe uma tendência dos resistores, indutores e capacitores a serem lineares. Existe, ao contrário, um esforço dos fabricantes desses elementos para produzir dispositivos que garantam a linearidade.

A estratégia básica do desenvolvimento de sistemas tecnológicos ao longo do século XX foi a de procurar produzir sistemas grandes e complexos a partir de um grande número de partes constituintes simples. Um dos suportes teóricos centrais para a consecução dessa estratégia foi a construção de componentes cujo comportamento fosse o mais aproximadamente possível linear, de forma que fosse facilmente previsível o efeito da agregação de um grande número de componentes, formando um sistema de grandes proporções. Essa estratégia básica é comum ao desenvolvimento de sistemas tais como: a rede telefônica, o rádio, a televisão, o sistema de energia elétrica, etc.

Essa é a perspectiva do significado que o princípio da superposição de fato carrega. Nem sempre, entretanto, essa história é narrada nesses termos.

No livro texto adotado pelo professor de Circuitos Elétricos I (NILSSON e RIEDEL, 2009), o Princípio da Superposição é definido da seguinte forma:

Um sistema linear obedece ao princípio de *superposição*, o qual afirma que, sempre que o sistema é excitado, ou alimentado, por mais de uma fonte independente de energia, a resposta total é a soma das respostas individuais. Uma resposta individual é o resultado de uma fonte independente agindo separadamente. (...) A superposição é aplicada tanto na análise quanto no projeto de circuitos (NILSSON e RIEDEL, 2009, p. 90-91).

Na aula, o professor introduziu o conceito de princípio da superposição baseando-se na definição do livro de circuitos, por meio de uma exposição teórica, conforme mostram alguns trechos de sua fala:

Gente, existe um assunto muito importante na resolução de circuitos elétricos que se chama Teorema de Superposição. Em alguma literatura vocês vão encontrar Teorema de Sobreposição. (...) O que é, basicamente? Se nós tivermos um circuito (desenhando no quadro).  $E_1$  e  $E_2$  são as fontes, tá? Fontes de tensão. (...)  $R_1$  e  $R_2$ , resistores. (...)

Certo? Então, o que nós temos aqui? Nós temos duas fontes em paralelo, basicamente, tá? Considerando, por exemplo, esses resistores iguais, nós temos esses condutores em paralelo. Isso é o que acontece nas usinas hidrelétricas, né? Isso acontece nas usinas hidrelétricas. O que é que nós temos na usina hidrelétrica? Nós temos um barramento, tá? A partir desse barramento saem condutores pra fora. Cá fora é onde

nós temos a carga. (...) Mas aqui na usina nós temos gerador 1, gerador 2, gerador 3, etc, etc, até o último gerador da usina. (...) Agora, cá fora, nós temos cargas. Mas as cargas também são diversas. Nós temos vários consumidores. (...) Então, o que acontece? Cada vez, cada vez que nós ligamos um desses consumidores, os geradores têm que fornecer a potência (...). Então, uma miniatura dessa representação real (...) seria através de um circuito elétrico (...). Então, o teorema da Superposição estabelece que fontes em paralelo que são responsáveis por suprir a mesma carga ou conjunto de cargas, nós podemos determinar o valor total da corrente consumida por essa carga calculando separadamente a corrente devida a uma fonte sem considerar a presença da outra (apontando para o desenho do circuito no quadro) e depois calculando a corrente devida à segunda fonte sem a participação da outra, e depois somando os resultados. Então, o que é que se faz? Primeiro se calcula  $I_L$  devido a  $E_1$ , com  $E_2$  fora. (...)

$E_2$  fora, desligado. Se calcula o  $I_L$  devido a  $E_2$ , a fonte 2, tá, com  $E_1$  também desligado. E depois, os dois valores,  $I_L E_1$  e  $I_L E_2$  totalizam o valor total  $I_L$ . Então, isso aqui é que é chamado superposição.” (Excerto da transcrição de um trecho da aula ocorrida no dia 27 de outubro de 2008).

É interessante notar que o conceito de princípio de superposição foi apresentado pelo Prof. Aguirre de uma maneira que podemos chamar de *neutra*<sup>2</sup>, enquanto que tanto o livro quanto o professor de Circuitos Elétricos I o apresentaram de uma maneira *contextualizada*. Tanto os autores do livro de circuitos quanto o professor utilizam elementos próprios de circuitos elétricos (fonte de tensão, fonte de corrente, corrente) para definir o princípio de superposição. Assim, ao discorrerem sobre este princípio, foi natural que os alunos utilizassem elementos de circuitos elétricos em suas discussões, como será mostrado na próxima seção. Além disso, é importante ressaltar que o conceito foi apresentado aos alunos por meio de uma definição verbal, e em seguida trabalhado por meio de exercícios.

O princípio da superposição foi abordado na aula teórica por meio da exposição teórica, de exemplos e de exercícios e na aula de laboratório por meio de um trabalho laboratorial. Este trabalho foi realizado em grupo e consistia basicamente na montagem de um circuito elétrico e na medição de valores de corrente e tensão devidas a duas fontes. O conceito foi cobrado na segunda prova da disciplina. A questão que o abordava

apresentava um circuito elétrico com duas fontes de tensão, e solicitava *cálculos* de corrente e potência, por meio deste princípio.

Em princípio, a verificação da assimilação de conceitos é feita, em cursos como o de Circuitos Elétricos, por meio da proposição de questões cuja resolução dependesse do conhecimento desses conceitos. Pelo menos teoricamente, o aluno só conseguiria resolver o exercício se dominasse o conceito. O exercício seria uma forma de *aplicar* o conceito. O problema é que nem sempre isto acontece. Em conversa com os alunos, pude perceber que alguns deles enxergam essa cobrança por meio de exercícios de outra forma: pensam que não precisam estudar a parte teórica; basta resolver exercícios. Ou seja, ao invés de mapear o problema como um caso particular de uma situação geral, para a qual se dispõe de um arsenal conceitual que a comporte, os alunos frequentemente procuram mapear o problema como uma instância de um problema-tipo, no qual um determinado procedimento mecânico de resolução se aplica. Substitui-se um entendimento generalizante por um acúmulo de procedimentos particulares. É nesse ponto que encontramos alunos decorando procedimentos sem entendimento dos mesmos a fim de conseguir resolver exercícios para fazer provas.

## ENTREVISTA

Durante as entrevistas, perguntei aos alunos: “O que é o Princípio da Superposição?” As respostas dadas por cada grupo são apresentadas a seguir.

### Grupo 1

Dois alunos (A1 e A2) do grupo G1 responderam a pergunta:

“O princípio da superposição é, quando você tem duas fontes alimentando o circuito, uma corrente sobrepõe a outra. Então, acaba você tendo mais potência no, mais potência se tiver com a polaridade igual, e menos potência se tiver com a polaridade diferente. Se tiver com duas fontes em paralelo, ou em série com a polaridade igual, uma sobrepõe. Em paralelo, eu acho que diminui. Em série, com a mesma polaridade, você aumenta a potência do circuito. Você consegue colocar duas fontes e muito menos de resistor, muito mais carga no circuito. Uma fonte tem uma potência, elas somam as potências, então acaba... eu acho que é isso, né, fessora, se tiver errado você corrige”. (A1)

A descrição do aluno A1 sobre o princípio da superposição apresenta imprecisões. Por outro lado, a descrição do aluno A2 é errônea:

“É isso que ele falou mesmo. Se estiver em série, as potências vão somar, se estiver em paralelo vai ser igual, a corrente não vai alimentar. É isso que ele falou mesmo.” (A2)

### Grupo 2

Três alunos (A1, A2 e A3) do grupo G2 responderam a esta pergunta.

“Ah, se você quiser calcular uma corrente no circuito, usando o princípio da superposição, você tira uma fonte e calcula a corrente naquele ponto. E depois você tira a outra fonte, e calcula. E depois, a corrente total você soma. Esse é o princípio da superposição. Se for uma fonte de corrente, você tem que abrir o circuito, e se for uma fonte de tensão, você tem que fechar. Pelo menos isso aí eu aprendi. (Risos) É como se você tivesse dois circuitos. Aí você sobrepõe eles (fazendo gestos com as mãos). O circuito com duas fontes, aí você divide, calcula as duas tensões do circuito, e depois você soma. Só.” (A1)

“É quando você tira uma, ele tira sempre uma fonte, você superpôs, né, tipo assim, supostamente, a corrente que passa por fora, entendeu?” (A2)

“O princípio da superposição é acreditar que o circuito que tem duas ou mais fontes, ele é composto das somas dos circuitos, ou seja, cada fonte vai ser um circuito independente. Que no final das contas, o que vai prevalecer ali é a soma dos circuitos. Soma de correntes e tensões.” (A3)

As definições dos alunos A1 e A3 apresentam uma ideia correta sobre o conceito, mas a definição do aluno A2 apresenta imprecisão.

### Grupo 3

Apenas um aluno do grupo G3 respondeu a esta questão. E ele não soube responder. Ficou um tempinho pensando, olhando pra cima, tentando lembrar:

“É, pra te falar, na teoria assim, assim de cabeça eu não lembro não. Talvez se eu pegar o cálculo... Teorema da superposição, eu não lembro não. (...) Não, eu não lembro (ficou pensando). Eu não lembro, não estou lembrado.”

Ele disse que na semana anterior a resposta estaria na ponta da língua, porque ele estava estudando, resolvendo exercícios, e teve prova:

“Se fosse semana passada e você perguntasse, estava na ponta da língua. (risos) (...) Porque semana passada a gente estava praticando exercício, estava assim concentrado na matéria, e tal. (...)

Prova, e tal. E depois a gente vai preocupando com as outras provas, vai passando e deixa um pouquinho no esquecimento, né.”

### Grupo 4

No grupo G4, também apenas um aluno participou da entrevista. O aluno também não soube responder, apesar de ter feito prova sobre esse conteúdo na semana anterior:

“Ih, eu não sei nada (risos). Que que eu estou te falando? Eu vou ter que estudar justamente essas matérias. (...) Fiz prova, que que eu te falei? Fiz prova assim, oh (estalou os dedos) tenho que ser sincero com você. (...) em se tratando de Circuitos Elétricos, é, foi a matéria assim, que eu tive uma dedicação a mais. Mas, do segundo conteúdo, não me pergunte nada. (...) Eu fui mais ou menos (na prova). Fui razoável. Mas não sei, assim, te esclarecer detalhes não. (...) Se você puder esperar, em fevereiro eu garanto pra você e te falo (risos).”

### Grupo 5

Este aluno também não soube falar nada sobre o Princípio da Superposição. Ele perdeu a aula e não estudou sozinho.

“(risos) Ai, ai. (...) Aí que é o negócio. Eu não vou saber te responder (risos). (...) Porque esse assunto também foi, por exemplo, você teve lá, divisor de tensão, divisor de corrente, né, e sobreposição. É... eu acho também que, eu acho que tem minha falha também, porque eu acho que, não sei se lembro, eu faltei à aula nesse dia. (...) Teve uma questão na prova. Na última prova, né? E essa matéria, eu acho, como eu não vi ela em sala de aula, eu acabei também passando despercebido, e não estudei (risos). (...) Eu perdi a aula, e não estudei sozinho.”

### Grupo 6

Dois alunos (A1 e A2) participaram dessa discussão, mas somente o aluno A2 elaborou uma descrição para o que seria o princípio da superposição.

“Oh, o que eu consegui entender seria, a própria palavra já define o que seria o princípio da superposição. Só, você vai ter algum circuito, ele vai ter várias malhas independentes, então às vezes um circuito vai se sobrepor ao outro. Questão de tensão ou corrente, entendeu? Uma tensão vai estar no mesmo circuito, na mesma malha, outra tensão também, essa mesma tensão em outra, a corrente também, vai se dividir. Então esse teorema seria uma maneira de você estar tentando resolver um circuito que possui várias malhas independentes, entendeu? O que eu consegui absorver disso foi isso. É uma técnica que você consegue dividir um circuito em malhas e nós também, e através daí você consegue calcular as grandezas, as variáveis que estão atuando nesse circuito, corrente, potência, tensão.” (A2)

O aluno A1 concordou com a descrição do aluno A2, e não fez a sua descrição própria. Ele disse que não queria falar, porque o princípio da superposição seria basicamente o que o colega falou; e se ele fosse falar, a respostas seria semelhante à do colega A2. A descrição do grupo G6 apresenta verdades sobre o conceito, mas ainda está vaga, apresenta imprecisões.

Em síntese: dos seis grupos entrevistados, três conseguiram esboçar uma descrição do princípio da superposição, e três não conseguiram apresentar nenhuma definição. A definição que mais se aproxima do conceito é a do grupo G2. As definições dos grupos G1 e G6 vêm em um segundo nível de clareza, estando igualmente próximas do conceito.

## EXERCÍCIO

A fim de perceber se os alunos haviam compreendido o princípio da superposição, pedi aos mesmos alunos que haviam participado da entrevista que resolvessem um exercício. Esse procedimento foi realizado no semestre seguinte ao das entrevistas, e os alunos foram surpreendidos quanto ao conteúdo da tarefa (Combinamos com os alunos um encontro, mas não falamos o que faríamos nesse encontro.). O exercício constava de um circuito resistivo, com cinco resistores, em que se solicitava calcular a tensão no ponto P em cada um dos casos:

1. Com apenas uma fonte, à direita do circuito;
2. Com apenas uma fonte, à esquerda do circuito;
3. Com duas fontes, as mesmas dos itens 1 e 2, uma à direita e a outra à esquerda do circuito.

Em todos os casos os valores e as configurações dos resistores eram as mesmas. A seguir, os resultados obtidos com a resolução dos exercícios pelos alunos representantes de cada grupo.

### Grupo 1

Dos três alunos entrevistados do Grupo 1, dois atenderam o pedido de resolução do exercício. Os dois erraram a questão 1, acertaram a questão 2 e erraram a questão 3. Nesta última, eles não apenas erraram os cálculos, como também *não aplicaram o princípio da superposição*. Note que na entrevista, quando solicitados a falar sobre o princípio da superposição, os alunos falaram. Mas na prática, não souberam aplicá-lo.

### Grupo 2

Dos quatro alunos entrevistados, três atenderam o pedido de resolução do exercício. Desses três, a aluna A2 errou todas as questões e não aplicou o princípio da superposição na terceira, o aluno A1 acertou a questão 1, errou a questão 2 e a questão 3, e também não aplicou o princípio da superposição. O aluno A3 acertou os cálculos nas três questões e aplicou o princípio da superposição. Ou seja, de três, *apenas um aluno conseguiu aplicar o princípio da superposição no exercício*. Note que esse grupo, na entrevista, de uma maneira geral e unânime, falou com uma certa propriedade sobre o princípio da superposição, até mesmo destacando-se em relação aos outros grupos. Todavia, na hora de resolver o exercício, apenas um aluno conseguiu aplicar o princípio. *A maior parte do grupo soube falar da teoria, mas não soube aplicar o princípio da superposição*.

### Grupo 3

O aluno representante deste grupo na entrevista também resolveu o exercício. Ele acertou as questões 1 e 2. Na questão 3, ele errou os cálculos, mas aplicou o princípio da superposição. Note que, na entrevista, o aluno não soube falar nada sobre este princípio: nem o que é, e nem quando se deve usá-lo. Mas *apesar de não ter conseguido falar sobre o princípio da superposição, este aluno conseguiu aplicá-lo na resolução do exercício*. Este pode ser um exemplo de uma situação em que o aluno sabe o conceito, mas não tem consciência de que o sabe.

### Grupo 4

O aluno representante deste grupo não pôde atender a solicitação da resolução do exercício. Portanto, não pude avaliar a sua compreensão do conceito na resolução do exercício.

### Grupo 5

O aluno acertou os cálculos das três questões. Porém, na questão 3 ele *não aplicou o princípio da superposição*. A questão 3 foi resolvida analiticamente, assim como as questões 1 e 2. Note que na entrevista, o aluno disse que não sabia responder nada sobre o princípio da superposição. Ele não soube falar sobre, e nem aplicar o princípio da superposição na resolução do exercício.

## Grupo 6

Os dois alunos representantes desse grupo atenderam a solicitação de resolução do exercício. O aluno A1 não conseguiu resolver as questões 1 e 3, e errou a questão 2. Na questão 3 ele anotou a observação de que não conseguiu resolver porque tinha dúvida em circuito misto com duas fontes de tensão. O aluno A2 errou as três questões, e não aplicou o princípio da superposição. Note que na entrevista esses alunos falaram sobre o princípio da superposição. Mesmo que tenham falado sobre ele de uma forma superficial, eles falaram aspectos pertinentes a este princípio. Entretanto, na hora de aplicá-lo na resolução do exercício, não conseguiram fazê-lo.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Primeiramente, vamos discutir a resolução dos exercícios pelos alunos. Dos nove alunos que resolveram o exercício, sete não aplicaram o princípio da superposição e apenas dois o aplicaram.

Comparando as respostas dos alunos na entrevista e no exercício, pudemos perceber as seguintes situações:

1. O aluno *definiu corretamente* o conceito, e *soube aplicá-lo* no exercício: foi o caso de 1 aluno do grupo G2;
2. O aluno *definiu corretamente* o conceito, mas *não soube aplicá-lo* no exercício: foi o caso de 1 aluno do grupo G2;
3. O aluno definiu o conceito de *maneira confusa, imprecisa, e não soube aplicá-lo* no exercício: tivemos 4 alunos nessa situação (1 do G1, 1 do G2 e 2 do G6);
4. O aluno *definiu incorretamente* o conceito e *não soube aplicá-lo* no exercício: 1 aluno do grupo G1;
5. O aluno *não soube definir* o conceito, mas *soube resolver* o exercício: foi o caso de 1 aluno, do Grupo G3;
6. O aluno *não soube definir* o conceito, e *nem resolver* o exercício: houve 1 aluno do Grupo G5.

Retomando Vinner (1991) para analisar estes resultados, é interessante notar que:

- Somente um aluno conseguiu formar a definição e a imagem conceitual de maneira satisfatória (situação 1). Esta é a situação desejável; é o que nós, professores, esperamos de um aluno.

- É possível que um aluno consiga definir corretamente o conceito mas não consiga aplicá-lo. Ou seja, a definição conceitual está correta, mas a imagem conceitual não se constituiu a partir desta, ou não se reconstruiu de modo a garantir sua aplicação. Provavelmente este aluno não usou a definição para resolver o exercício. O fato de um aluno definir corretamente um conceito não garante que ele o tenha aprendido, visto que esta definição pode ter sido obtida por memorização (situação 2).
- Nenhum aluno com uma definição incorreta ou imprecisa conseguiu resolver o exercício. Ou seja, nenhum aluno com uma definição conceitual incorreta ou imprecisa conseguiu evocar aspectos consistentes em sua imagem conceitual (situações 3 e 4).
- Um aluno pode ter a imagem conceitual consistente, sem contudo ter a definição (situação 5). De acordo com Vinner, a definição e a imagem conceitual podem ser formadas independentemente.
- O aluno pode não ter conseguido formar nem a definição e nem a imagem conceitual relacionadas ao conceito (situação 6).

Dos nove alunos que participaram tanto da entrevista quanto da resolução do exercício, somente um atingiu a expectativa destes pesquisadores, como professores. Os resultados sugerem uma *deficiência na aprendizagem do conceito*.

Fica claro, com os resultados obtidos, que o ensino e a aprendizagem de conceitos não se resumem a repetir palavras, conforme já previsto por Vygotsky (2001). Um conceito não pode ser aprendido por meio de simples memorização. O fato de o sujeito conseguir reconstruir a definição não garante que ele tenha aprendido o conceito.

Fica claro também que os alunos não usaram a definição conceitual quando resolviam o exercício proposto, em que se esperava que ela tivesse sido usada. Tais alunos podem não estar desenvolvendo os hábitos de pensamento próprios de um contexto técnico. Provavelmente, como disse Vinner (1991), estes alunos continuam utilizando, dentro do contexto acadêmico, os hábitos de pensamento cotidiano.

## CONCLUSÕES

Diante desse panorama, podemos inferir que três aspectos no ensino e aprendizagem de conceitos devem ser revistos e aperfeiçoados:

1. O ensino de conceitos deve ser revisto, de modo a não se restringir à repetição de palavras, mas sim a alcançar o nível de concretude, de experiência, como proposto por Vygotsky em seu estudo sobre a aprendizagem de conceitos científicos.
2. É preciso desenvolver nos alunos o pensamento adequado a um contexto técnico. Eles precisam desenvolver o hábito de consultar definições para resolver atividades cognitivas e problemas relacionados aos conceitos em estudo. Talvez fosse necessário criar condições no próprio curso para que experiências neste sentido aconteçam. Porém, Vinner afirma que isso não pode ser feito em um período curto, e pode ser que não seja bem sucedido com todos os alunos. Segundo este autor, devem-se evitar conflitos desnecessários com os alunos.
3. O ensino de conceitos deve prover condições para que a imagem conceitual seja construída consistentemente. Somente a definição não é capaz de criá-la. Segundo Vinner, é necessário fornecer ao aluno vários exemplos e explicações para que esta imagem conceitual seja construída gradualmente. Esta não é uma tarefa trivial, visto que, na aula estudada neste artigo, vários exemplos e exercícios foram fornecidos pelo professor. E mesmo assim, a imagem conceitual não foi consistentemente formada, na maioria dos alunos.

Como conjecturas a serem exploradas na continuidade desta pesquisa, pretendemos investigar a possibilidade de elaborar estratégias específicas para o ensino e a avaliação do aprendizado de conceitos de maior abstração, tais como o do *princípio da superposição*. Tais estratégias deverão criar uma separação mais clara entre esses conceitos abstratos e aqueles procedimentos mais rotineiros, ligados à execução de cálculos, que muito facilmente tendem a monopolizar o processo de ensino-aprendizagem.

## NOTAS

- <sup>1</sup> Neste trabalho, a definição conceitual é entendida como sendo uma definição individualizada, ou seja, forma de palavras usada pelo indivíduo para expressar a sua definição sobre o conceito. E definição técnica é a definição aceita pela comunidade científica.
- <sup>2</sup> Denominamos “neutra” à forma matematizada de se enunciar o princípio da superposição.

## REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. A. **Introdução à Identificação de Sistemas:** técnicas lineares e não lineares aplicadas a sistemas reais. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.
- BARROS, L. A. Aspectos epistemológicos e perspectivas científicas da terminologia. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.58, n.2, 2006.
- FERRARI, A. T. **Metodologia da Pesquisa Científica.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.
- LARA, M. L. G. Diferenças conceituais sobre termos e definições e implicações na organização da linguagem documentária. **Ciência da Informação**, v.33, n.2, p.91-96, 2004.
- LIBÂNEO, J. C., Questões de metodologia do ensino superior: a teoria histórico-cultural da atividade de aprendizagem. Escrito para a XIII Semana do Planejamento Acadêmico Integrado da UCG, Goiânia, 2003.
- NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. **Circuitos Elétricos.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- SFORNI, M. S. F. **Aprendizagem conceitual e organização do ensino:** contribuições da Teoria da Atividade. Araraquara: JM Editora, 2004.
- VINNER, S. The Role of Definitions in the Teaching and Learning of Mathematics. In: TALL, D. **Advanced Mathematical Thinking.** Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 65-81. Tradução de Márcia Pinto e Jussara Araújo.
- VYGOTSKY, L. S. **Obras Escogidas II.** Madri: Visor, 1982.
- VYGOTSKY, L. S. The collected works of L. S. Vygotsky. In: RIEBER, R. W.; CARTON, A. S. **Problems of General Psychology.** New York: Plenum Press, 1987. v.1.
- VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem.** São Paulo: Martins Fontes, 1993.
- VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente:** o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem.** São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- VYGOTSKY, L. S. **Psicologia Pedagógica.** São Paulo: Martins Fontes, 2001.

## DADOS BIOGRÁFICOS

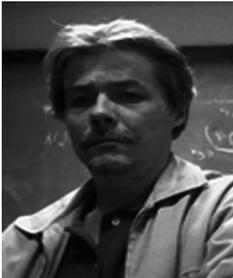
### Viviane Cota Silva



Possui graduação em Engenharia Elétrica (2002) pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (Unileste-MG), e Mestrado em Engenharia Elétrica (2004) pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

É Professora Assistente do Unileste-MG desde 2004. Atualmente tem desenvolvido pesquisas (doutoramento) na área de ensino e aprendizagem em Engenharia, área pela qual tem grande interesse.

### Ricardo Hiroshi Caldeira Takahashi



É Engenheiro Eletricista (1989) e Mestre em Engenharia Elétrica (1991) pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e Doutor em Engenharia Elétrica (1998) pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). É Professor Associado do Departamento de Matemática da UFMG, instituição em que atua desde 1993. Tem trabalhado predominantemente em temas na área da Otimização que incluem a *Computação Evolutiva*, a *Otimização Multiobjetivo/Vetorial*, a *Teoria de Controle baseada em Otimização*, e a *Inteligência Computacional baseada em Otimização*. Também possui interesse pela *Filosofia da Ciência e da Tecnologia*.

### Márcia Maria Fusaro Pinto



Possui graduação em Matemática (1972) e mestrado em Matemática (1976) pela Universidade Federal de Minas Gerais, e doutorado em Educação Matemática (1998) pela University Of Warwick. Realizou dois cursos de Pós-

-Doutorado: um na área de Ensino e Aprendizagem (2004), pela University Of Warwick e o outro, na área de Educação Matemática (2008), pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atualmente é Professora Adjunta do Instituto de Matemática da UFRJ, e também desenvolve projetos em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), instituição em que atuou de 1974 a 2009. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Educação Matemática, atuando principalmente nas áreas de pesquisa em novas tecnologias na educação matemática e psicologia da educação matemática.