

Conceituando a passagem da corrente e a resistência elétrica por meio de sensações como recurso para a formação de professores¹

Wagner Morrone¹ - Mauro Sérgio Teixeira de Araújo² - Luiz Henrique Amaral³

¹ Universidade Cruzeiro do Sul. Colégio da Polícia Militar – Unidade Penha, Escola Estadual de Segundo Grau Yervante Kyssijakian.

² Linha de Pesquisa Elementos e Metodologia de Ensino de Física e Matemática - Universidade Cruzeiro do Sul.

³ Universidade Cruzeiro do Sul.

profwagnerfisica@uol.com.br, mstaraujo@uol.com.br, luiz.amaral@cruzeirodosul.edu.br

Este trabalho foi desenvolvido em uma oficina para a formação continuada de professores, patrocinada por uma Diretoria de Ensino da Zona Leste de São Paulo, apresentando uma metodologia de ensino de Física baseada em práticas experimentais que aborda o conteúdo de eletricidade por meio de analogias que se apoiam em sensações e percepções humanas. Ao participar da atividade, que apresenta características investigativas, levantando hipóteses, manipulando os aparatos experimentais e discutindo os resultados observados de forma aberta, o aluno consegue apropriar-se de significados, construindo seu próprio conhecimento. A atividade proposta propiciou a transposição da simples matematização, uma vez que foi direcionada para a resolução de situação problema capaz de facilitar a elaboração de modelos matemáticos relacionados com a corrente e a resistência elétrica, contribuindo para a construção de conceitos, sua análise e aplicação dos resultados para outras situações.

Palavras chave: Ensino de Física, experimentação, formação de professores, analogias, eletricidade

This work was developed at a workshop for the ongoing training of teachers, sponsored by a Board of Education of the Leste Zone of Sao Paulo, with a methodology of Physics teaching based on experimental practice that addresses the content of electricity by means of analogies based on human sensations and perceptions. By participating in the activity, that features investigative, raising hypotheses, manipulating the experimental apparatus and discussing the results observed openly, students can take ownership of meanings, constructing their own knowledge. The proposed activity provided transposition of mathematization, since that allowed transposing the simple resolution of exercises once that was addressed for the development of mathematical models related to electric current and resistance, contributing to the construction of concepts, analysis and application of results to other situations.

Keywords: Physics teaching, experimentation, teachers' development, analogy, electricity.

Introdução

A maioria dos professores que atuam com a docência da Física frequentemente aponta as deficiências de aprendizagem dos alunos, considerando a Física uma disciplina difícil de ser trabalhada, em um ambiente em que o interlocutor transmite seus conhecimentos para uma platéia formada por jovens adolescentes no ensino médio ou no ensino superior. Acreditando nas metodologias utilizadas, argumenta

como causa do baixo rendimento dos estudantes a insuficiência de materiais didáticos, de laboratórios equipados, principalmente nas escolas públicas de Ensino Médio, apontando ainda como outros fatores a falta de motivação e dedicação por parte dos aprendizes.

A origem dos problemas apontados anteriormente passa pelo tipo de relação que os professores tiveram com as atividades experimentais durante a sua formação. A maioria dos professores de Física não é licenciada, mas

¹ Una versión preliminar fue presentada en el Simpósio Nacional de Ensino de Física – XVII SNEF, São Luis – Maranhão, 2007.

sim habilitada na disciplina (Santos, 2003). Desse modo, é fácil supor que o laboratório de Física não deve ter sido uma das prioridades no seu curso de formação inicial. Este problema é apontado por Barbieri (1993, p.4):

“Embora o Ensino de Ciências através de experiências seja apontado por todos (...) como condição básica para a aprendizagem, o ensino experimental não se viabiliza nas escolas. Os professores têm dificuldades de realizar experimentos principalmente porque durante a sua formação em cursos de Licenciatura não tiveram acesso a laboratórios.”

Este cenário sugere a necessidade de ruptura com os atuais paradigmas educacionais, visando uma didática alternativa transformadora e que transponha a prática tradicional do educar que valoriza excessivamente os aspectos formais, buscando assim criar um ambiente capaz de estimular a reflexão e motivar a participação interativa, que desperte o interesse dos alunos, aguçe suas curiosidades e fortaleça o lúdico e o artístico, de modo a realçar os significados dos conteúdos abordados, promovendo meios para a construção do conhecimento científico.

Dessa forma, neste trabalho apresenta-se uma atividade experimental de Física, abordando o conteúdo eletricidade, dirigida aos alunos da 3ª série do Ensino Médio, tendo caráter interdisciplinar com Biologia. Essa proposta foi desenvolvida em uma oficina para capacitação em experimentação, que contou com a participação de 18 professores e foi patrocinada por uma Diretoria de Ensino (D.E.) da Zona Leste de São Paulo, organizada pela direção da Escola Estadual Professora Ruth Cabral Troncarelli.

“Não há ensino sem pesquisa e pesquisa sem ensino. (...)

Enquanto ensino continuo buscando, reprocurando. Ensino porque busco, porque indaguei, porque indago e me indago.

Pesquiso para constatar, constatando, intervenho, intervindo educo e me educo.

Pesquiso para conhecer o que ainda não conheço e comunicar ou anunciar a novidade.” Paulo Freire (1996)

A experimentação é considerada uma importante ferramenta de ensino, sendo defendida por diferentes pesquisadores que argumentam acerca de sua relevância tanto para o Ensino de Física quanto em propostas de formação de professores (Araújo e Abib, 2003; Castro, 1992; Heineck, 1999; Moraes, 2000; Ostermann, 2001). Além desses autores, Freitas e Furtado (2005: 1) destacam que:

“A Física é uma ciência experimental e, como tal, deve estar apoiada em práticas experimentais, pois não existe ciência sem que se pratique ciência. Sendo assim, não se pode aceitar o seu ensino sem a “experimentação”, sem a pesquisa.”

Também defendendo a experimentação, Carvalho e Gil-Peréz ressaltam que (apud Tomazello e Gurgel, 2000: 15-16):

“É necessário ao professor saber que os alunos aprendem significativamente, e que isso exige que ele aproxime as atividades de aprendizagem das Ciências (introdução de conceitos, práticas de laboratório, resolução de problemas e outros) às características do trabalho científico. Os alunos necessitam compreender que os conhecimentos são respostas a questões, o que implica planejar a aprendizagem a partir de situações-problema de interesse dos alunos. É importante que o professor defina suas atividades coletivamente e integrada com outros docentes, imprimindo nas ações pedagógicas um caráter investigativo-criativo, de busca de solução de problemas.”

Acerca da percepção dos professores, Maciel e Krause (1987) afirmam haver concordância entre os mesmos de que as experiências são fundamentais no processo de aprendizagem e que muitos conseguem conjugar a teoria da Física com a experimentalidade dos fenômenos físicos, resultando uma aprendizagem de permanente significado nos seus alunos, ainda que a maioria dos docentes encontre dificuldades em transpor as aulas teóricas para atividades experimentais.

Neste contexto, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (1999: 12) estabelecem que dentre as competências e habilidades a serem desenvolvidas, o aluno deve *interpretar e criticar resultados a partir*

de experimentos e demonstrações, sugerindo assim a experimentação como uma das metodologias a serem utilizadas em Física.

Violin (1985) relata que a maior dificuldade dos professores recém formados está no fato de não acreditarem ser possível programar atividades experimentais em sala de aula comum, com materiais de simples aquisição, uma vez que sempre trabalharam com materiais sofisticados em salas especiais. Além disso, destaca-se que os professores que não possuem formação específica provavelmente nunca vivenciaram uma atividade experimental, de modo que não basta sugerir ao professor que realize atividades experimentais, sendo necessário formá-lo sobre como fazê-lo.

Neste sentido, este trabalho visa proporcionar aos professores de Física uma possibilidade de uso de materiais didáticos em uma abordagem baseada em atividade experimental demonstrativa, classificada segundo Araújo e Abib (2003: 181) como de observação aberta, que permite o aprofundamento dos conceitos envolvidos além de discussões sobre a condução e a resistência elétrica empregando-se uma analogia entre os sentidos e as sensações humanas. Para isto, utiliza-se material do cotidiano, acessíveis e de baixo custo (Santos, 2003), como canudos de plástico e copos descartáveis com água.

Dessa maneira, o experimento tem como objeto a análise das cargas elétricas em movimento e de seus efeitos ao atravessarem os condutores, permitindo o planejamento de uma aula dinâmica e envolvente, podendo ser desenvolvida em qualquer espaço, pois não necessita de laboratórios ou salas especiais. A sua aplicação pode permitir o desenvolvimento de modelos mentais pelos alunos, sendo altamente significativa para os que já conhecem os tópicos abordados, facilitando desta forma a aprendizagem (Ausubel, 1980).

Experimento baseado em sensações para conceituação da corrente e da resistência elétrica em condutores

O experimento selecionado neste trabalho foi utilizado em uma oficina realizada em 2005, destinada à capacitação de 18 professores que lecionavam Física na rede pública estadual de São Paulo, abordando um tópico da Física Clássica na área de Eletrodinâmica, visando o estudo das cargas elétricas em movimento e seus efeitos ao atravessarem os condutores elétricos, sendo utilizados os seguintes materiais: três canudos de refrigerante de bitola fina, três canudos de bitola grossa e um copo descartável grande com água.

As etapas experimentais constituem-se primeiramente em conceituar o deslocamento de elétrons livres em um meio condutor, fluxo este denominado de corrente elétrica. Para isso, utiliza-se um copo com água e um canudo plástico como meio condutor. Ao realizar uma força de sucção os educandos atuam desempenhando o papel de uma bomba e vivenciam e constatarem pelo conhecimento sensível que o fluxo do líquido se mantém enquanto houver a sucção.

Desta forma, utilizando os conhecimentos sensíveis adquiridos, procuramos evidenciar que fato análogo ocorre com os circuitos elétricos fechados onde os geradores produzem uma diferença de potencial elétrico (ΔV) entre dois pontos do circuito e, assim, mantêm e promovem o fluxo da passagem das cargas elétricas fornecendo a elas energia elétrica (E_E), em consequência da transformação de outras energias como, por exemplo, no caso da pilha², que transforma a energia química em energia elétrica.

À medida que as cargas se movimentam nos condutores com um sentido e direção preferencial estabelecido pelo campo elétrico ali criado elas se chocam com os átomos que constituem a rede cristalina do material condutor, havendo uma conversão de energia elétrica em energia térmica (efeito Joule).

² Utilizamos como exemplo a pilha por ser um gerador comum, de conhecimento popular, inclusive dos deficientes visuais pela constante utilização em seus gravadores, rádios e demais equipamentos.

Desta forma, além de permitir através das sensações e percepções que os alunos vivenciem o fenômeno análogo da passagem das cargas pelo meio condutor, obtemos subsídios para trabalhar o formalismo relacionado com a diferença de potencial elétrica (ddp) entre dois pontos, também chamado de tensão elétrica (V), dado por:

$$V = V_A - V_B$$

Na expressão a unidade de tensão elétrica no Sistema Internacional é o volt, em homenagem ao físico Italiano Alessandro Volta.

Cabe salientar que toda analogia apresenta aspectos que são alcançados satisfatoriamente, enquanto outros sofrem maiores limitações. Neste sentido, a montagem acima descrita busca apenas associar os canudos, o recipiente e a água que percorre esses canudos com o que ocorre em um meio condutor, fazendo uma comparação com componentes elétricos de um circuito simples com o objetivo de introduzir o tema e operacionalizar o método proposto neste trabalho. Podemos mencionar como um dos limites de validade da analogia utilizada o fato de que ao contrário do dispositivo experimental utilizado neste trabalho, um circuito elétrico requer que o caminho da corrente seja contínuo, ou seja, o circuito deve ser fechado. Por sua vez, o recipiente de água pode ser considerado como parte externa do análogo escolhido para conceituar a resistência, não sendo relevante a sua consideração como parte do circuito, sendo interessante apenas para analisar a circulação do líquido pelo canudo.

Tendo em vista que as analogias se originam de modelos mais elaborados e completos, podemos neste caso recorrer à Teoria de Fluidos para abordar alguns aspectos do fenômeno estudado, o que é feito no Anexo 1.

O experimento proposto visa, na fase inicial, a proporcionar condições para que por meio do conhecimento sensível, inato ao ser humano e cujas formas principais são a *sensação* e a *percepção* (Chauí, 2000), seja efetivada a percepção da passagem do fluido através dos condutores e o sentido em que o líquido é conduzido. De maneira complementar, os alunos devem construir outros conceitos ampa-

rando-se na sensação e percepção da dificuldade da passagem do líquido quando o meio condutor é duplicado e/ou triplicado em associações em série e em paralelo. Dessa forma, possibilita-se a construção, ilustração ou compreensão de um domínio científico desconhecido dos alunos e dos docentes a partir de um domínio que passa a ser familiar a eles em decorrência das atividades propostas, com base na exploração de atributos/relações comuns e não comuns de ambos os domínios, alvo e análogo (Duit, 1991; Dagher, 1995).

Portanto, tendo em vista as limitações inerentes a toda analogia (Bozelli e Nardi, 2004; Duit, 1991, Pádua, 2003), não propomos uma analogia direta e absoluta do meio hidráulico para o sistema elétrico, o que poderia levar a construção de conceitos errôneos, sendo esse tema amplamente abordado e discutido por Otero (1997), que inclusive defende, quando possível, o uso de atividades empíricas para dar suporte às conclusões decorrentes do uso de analogias, enfatizando ainda essa autora que:

“No hay que perder de vista que, si bien debe existir una similitud estructural entre el análogo y el blanco, esta no es absoluta. El alumno debe saber que toda analogía en algún momento se derrumba”. (Otero, 1997, p. 185)

Na fase experimental o professor que conduz e orienta as atividades já possui argumentos para solidificar a conceituação junto aos seus alunos da passagem das cargas elétrica pelo condutor, bem como o sentido da corrente e o conceito de resistência elétrica.

Ao repetir as etapas do experimento, agora utilizando os canudos de maior bitola, os mesmos resultados serão obtidos com a percepção de maior facilidade de passagem da água pelos sistemas hidráulicos constituídos, analogamente ao que se verifica na passagem das cargas que constitui a corrente elétrica. Uma vez que a facilidade de passagem do líquido foi percebida, a quantidade do líquido que passa pela tubulação pode ser associada com a passagem das cargas elétricas que atravessam a secção do condutor, permitindo assim conceituar a intensidade de corrente (*i*), obtendo-se

subsídios para a construção do modelo matemático que representa o fenômeno estudado:

$$i = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

Nesta equação i é a intensidade da corrente elétrica, $|Q|$ é a quantidade de carga, correspondente ao produto $|n \cdot e|$, ou seja, número de elétrons pelo valor da carga elementar $1,602 \cdot 10^{-19}$ C e Δt é o tempo em que o fenômeno ocorre.

Utilização de canudos de bitolas diferentes em associações em série e em paralelo

A segunda etapa deste experimento deve centrar-se na percepção da dificuldade da passagem do líquido comparando-se a utilização de um canudo fino com outro de bitola maior, dois canudos de bitola fina em relação a dois grossos e, por fim, quando o canal condutor for formado por três canudos de cada espessura. Desta forma deve-se salientar que fato semelhante ocorre para a corrente elétrica, sendo a associação feita em termos da percepção individual dos professores envolvidos, possibilitando que estes últimos desenvolvam o significado do conceito de resistência elétrica como medida da dificuldade que as cargas elétricas encontram para atravessar um determinado condutor.

Desse modo, constatamos pela percepção dos professores que cada bitola de canudo apresenta uma resistência diferente, de modo que o menor diâmetro corresponde à maior resistência à passagem do líquido. Portanto, os canudos apresentam uma resistência própria, característica do seu diâmetro e comprimento, da mesma forma que os condutores elétricos homogêneos e de secção transversal constante, nos quais a resistência elétrica é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente a área de sua secção transversal, dependendo ainda do material de que é feito. Representando matematicamente R para resistência elétrica, ρ para a resistividade elétrica do meio condutor, L para o comprimento do condutor e A para a área da seção reta, elaboramos junto aos professores o modelo:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Desta forma, os alunos participantes das atividades experimentais puderam construir o conceito físico relacionado com a Lei de OHM.

A terceira etapa experimental repete alguns procedimentos da primeira, porém tendo por objetivo permitir que os estudantes percebam o efeito da soma das resistências quando associadas em série. Nesta etapa os alunos foram estimulados a darem maior atenção as suas percepções e aos conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores, sendo orientados a sugarem o líquido com um canudo fino, vivenciando uma situação análoga à passagem da corrente elétrica por uma resistência elétrica. Posteriormente, emendando dois canudos de mesma bitola e acoplando um dentro do outro, proporcionou-se aos discentes a percepção da dificuldade da passagem do líquido em relação à primeira situação, fato idêntico ao da corrente elétrica quando é aumentado o número de resistências em uma associação em série. Ampliando-se o acoplamento para três canudos finos, a percepção da soma das resistências foi evidenciada.

Ao repetir as etapas do experimento, agora utilizando os canudos de maior bitola, os mesmos resultados foram obtidos, criando-se condições para que os alunos tivessem a percepção de maior facilidade de passagem do líquido comparado com a situação semelhante aos canudos finos, assim como a percepção de maior dificuldade quando o sistema hidráulico é aumentado pelo acoplamento de um número maior de canudos, analogamente ao que se verifica na corrente elétrica.

Desse modo, a análise das percepções discutidas em sala de aula permite que os estudantes compreendam o efeito da soma de resistências de menor valor.

Esta etapa experimental permitiu a obtenção de subsídios para levar os alunos à construção de um modelo matemático para a soma de resistores associados em série, cuja representação segue a equação:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Observações finais

Na investigação aqui apresentada procurou-se desenvolver um experimento significativo, dinâmico, versátil e que permite várias abordagens sobre o tema Eletrodinâmica, entendendo que essas variações e desmembramentos podem auxiliar a aprendizagem em Física, promovendo nos professores interesse e participação no desenvolvimento de atividades práticas.

Neste processo procuramos priorizar a participação ativa dos professores, chamando a atenção para que percebessem por meio dos sentidos as diferenças e semelhanças, reais e aparentes das situações propostas, facilitando a construção de seu conhecimento e buscando tornar a aprendizagem significativa.

Acredita-se na potencialidade do uso de analogias como estratégia no Ensino de Física, inclusive para promoção de uma aprendizagem significativa, o que também é defendido por Adrover e Duarte (1995):

“A estratégia analógica de instrução consiste em uma modalidade de explicação, onde a introdução de novos conhecimentos por parte de quem ensina se realiza a partir do estabelecimento explícito de uma analogia com um domínio de conhecimento mais familiar e melhor organizado, que serve como um marco referencial para compreender a nova informação, captar a estrutura da mesma e integrá-la de forma significativa na estrutura cognitiva.”

Embora o uso de analogias possa contribuir para a aprendizagem de conceitos físicos, deve-se destacar que há limitações inerentes quando se busca estabelecer comparações entre os domínios análogos e alvos (Bozelli e Nardi, 2004; Duit, 1991, Pádua, 2003), não sendo uma tarefa trivial encontrarmos situações adequadas que possibilitem esse tipo de abordagem, cuja utilidade depende da habilidade dos alunos estabelecerem relações e ajustá-las em processos cognitivos abstratos (Otero, 1997, p. 180).

Também foi sugerido aos professores participantes da oficina realizarem uma análise dos resultados obtidos em cada momento vivido. A etapa inicial, caracterizada pelo diagnóstico dos conhecimentos prévios desses pro-

fessores, deve embasar as etapas seguintes da investigação, quando então devem ser feitas avaliações para medir o grau dos conhecimentos adquiridos após cada fase experimental.

Esta proposta de atividade foi aplicada em uma oficina para formação contínua de 18 professores que lecionam aulas de Física na rede pública estadual da cidade de São Paulo, os quais relataram inicialmente não conhecer essa atividade. Foi gratificante ao final da oficina, quando solicitado que colocassem espontaneamente em uma folha de papel as suas impressões, constatar o elevado grau de satisfação dos professores por terem participado de um experimento que realmente poderiam realizar em suas salas de aulas, sendo inclusive sugeridos outros encontros semelhantes.

O trabalho ora apresentado constituiu-se de uma pesquisa contínua, iniciada no ano de 2005 com a oficina oferecida aos 18 professores da rede pública, sendo que em 2006 envolveu 115 alunos pertencentes a quatro turmas da 3º série do Ensino Médio, de uma instituição particular de ensino, localizada no município de São Paulo, abordando a temática Eletrodinâmica (Morrone, 2007). Em 2007 a aplicação foi realizada, também, para outra turma de 23 alunos do Ensino Médio. Analisando os resultados obtidos em um questionário (pós-teste) contendo sete (7) questões que abordavam os temas envolvidos (tabela abaixo) foi possível constatar que houve um ganho de conhecimento bastante expressivo em relação aos conhecimentos prévios desses alunos.

Questões aplicadas no pré e no pós-teste:

1 - O que é Eletrodinâmica?

2 - O que é um meio condutor?

3 - Como a corrente elétrica se movimenta?

4 - O que é resistência elétrica?

5 - O que significa intensidade de corrente elétrica?

6 - O que significa a representação:



7 - O que significa a representação:



Tabla: Resultados (%) para os 138 Alunos Pesquisados

Questões	1	2	3	4	5	6	7
Conhecimentos Prévios (% de acerto)	1,4	40	2,2	1,4	8,7	1,4	2,9
Conhecimento após as atividades experimentais (% de acerto)	68,8	73,9	83,3	86,2	78,3	98,6	99,3

Assim a aprendizagem conceitual, demonstrada pelos resultados observados no questionário de pós-teste aplicado nesta investigação, indica que os alunos e professores ampliaram significativamente seu nível de compreensão acerca dos conceitos trabalhados em sala, empregando sentido à estes conceitos e permitindo a aplicação na solução das questões apresentadas, bem como na análise dos resultados obtidos.

As atividades experimentais foram desenvolvidas de forma lúdica e agradável, sendo realizadas utilizando materiais de baixo custo e fácil aquisição (Santos, 2003), tendo como base o conhecimento sensível, cujas formas principais são a *sensação* e a *percepção* (Chauí, 2000). Desse modo, a analogia entre os tópicos abordados e os sentidos, as percepções e as sensações humanas, oportunizada pelo experimento proposto, proporcionou a construção do conhecimento pelos próprios alunos, assim como os docentes, uma vez que o procedimento utilizado permitiu transpor a simples matematização da Física para a resolução de uma situação problematizada, levando-os a construção dos modelos matemáticos

relacionados, por exemplo, aos conceitos de corrente e resistência elétrica e associação de resistores (Lozada et al, 2006; Morrone et al, 2007).

Por fim, salienta-se que as pesquisas relativas ao experimento aqui desenvolvido estão sendo continuadas com turmas da 9ª série do Ensino Fundamental, bem como com turmas de alunos portadores de necessidades especiais, especificamente alunos com deficiência visual, com vistas a avaliar a eficácia desta estratégia de ensino, dada as especificidades que estas turmas apresentam. Em um futuro próximo espera-se ampliar e desenvolver esta nova pesquisa na formação de professores.

Conclui-se, portanto, que esta proposta de ensino corrobora com a necessidade de serem realizadas mudanças nos paradigmas educacionais, permitindo transpor práticas tradicionais ao criar um ambiente que tende a estimular a reflexão e motivar a participação mais ativa dos aprendizes. Assim, além de aguçar sua curiosidade, a proposta contribui para mudar o comportamento e as atitudes dos docentes e dos estudantes em sala de aula, facilitando a construção do conhecimento físico.

Referências

- Adrover, J. F.; Duarte, A. (1995). *El uso de analogías en la enseñanza de las ciencias*. Programa de estudos cognitivos, Instituto de investigaciones psicológicas, Facultad de psicología, Universidad de Buenos Aires.
- Araújo, M. S. T.; Abib, M. L. V. S. (2003). Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25 (2), pp. 176-194.
- Ausubel, D. P.; Novak, J. D. E Hanesian, H. (1980). *Psicologia Educacional*, Rio de Janeiro: Editora Intermérica, 2ª Edição.
- Barbieri, M. R. (1993). Projeto USP/BID –Formação de professores de ciências. In *Boletim da Filosofia*, n.6, p.4, São Paulo.
- Bozelli, F. C.; Nardi, R. (2004). Analogias e Metáforas no Ensino de Física: o discurso do professor e o discurso do aluno. In: IX *Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Belo Horizonte. 26 a 29 out. 2004. Acesso em 07 mar. 2008. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/ix/UntitledFrame-6.htm>.
- BRASIL (1999). *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica.– Brasília.
- Castro, R. S.; Cerqueira, F. E. (1992). Atividades experimentais: canal de interlocução com professores em treinamento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 14 (4), pp. 205-208.
- Chaui, M. (2000). *Convite à Filosofia. - O conhecimento*. Capítulo 2. A percepção, São Paulo: Editora Ática, pp.151-157.
- Dagher, Z. (1995). Analysis of analogies used by Science Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 32 (3), pp. 259-270.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, v. 75, pp. 649-672.
- Freitas, L. V.; Furtado, W. W. (2005). Abordagem experimental no ensino da física – o início de um laboratório para o CEPAE. In: *Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão da UFG - CONPEEX*, Goiânia. Anais eletrônicos do II Seminário PROLICEN [CD- ROM], Goiânia: UFG.
- Lozada. C. O; Morrone, W; Araújo, M. S. T.; E Amaral, L. H. (2006). Os Modelos Matemáticos e a sua importância para o ensino de Física no Ensino Médio. Em: *Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática – III SIPEM*, Águas de Lindóia - São Paulo, pp. 154-164.
- Heineck, R. (1999). O ensino de Física na escola e a formação de professores: reflexões e alternativas. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 16 (2), pp. 226-241.
- Maciel, J. R. L; Krause, P. (1987). Como Implementar um Laboratório para Ensino de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 4 (2), pp. 61-67.
- Moraes, A. M.; Moraes, I. J. (2000). A avaliação conceitual de força e movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22 (2), pp. 232-246.
- Morrone, W; Lozada. C. O; Amaral, L. H.; Araújo, M. S. T. (2007). Conceituando Corrente e a Resistência elétrica por meio de sensações utilizando materiais do dia-a-dia: Um experimento para aprendizagem significativa de alunos do Ensino Médio. Em: *Simpósio Nacional de Ensino de Física – XVII SNEF*, São Luis – Maranhão, pp. 1-9.
- Morrone, W; Lozada. C. O; Amaral, L. H.; Araújo, M. S. T. (2007). Modelagem Matemática e a atividade experimental como um modelo de integração no ensino de Física. Em: *Simpósio Nacional de Ensino de Física – XVII SNEF*, São Luis – Maranhão, pp. 1-11.
- Ostermann, F; Moreira, M. A. (2001). Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18 (2), pp. 135-151.
- Otero, M. R., (1997). Como Usar Analogias en Clases De Física? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 14 (2), pp. 179-187.

- Pádua, I. C. A. (2003). Analogias, Metáforas e a Construção do Conhecimento: Por um Processo Ensino-Aprendizagem mais Significativo. In: *ANPED - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação*. GT-4. Poços de Caldas, 3 a 8 out 2003. Anais do Congresso. Acesso em: 7 mar. 2008. Disponível em: <<http://www.anped.org.br/reunioes/26/inicio.htm>>.
- Santos, E. I. (2003). *Atividades Experimentais Lúdicas e com Material de Baixo Custo: Uma experiência com formação continuada de professores de física*. Dissertação de Mestrado – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Tomazello, M. G. C; Gurgel, C. M. A. (2000). A prática Experimental em Física: Como ir Além? In: *A experimentação na Aprendizagem de Conceitos Físicos sob a Perspectiva Histórico Cultural*. Tomazello, M. G. C. (Org). Piracicaba: UNIMEP/CAPES/PROIN.
- Violin, A. G. (1985). *Mecânica I – programa para ensino individualizado*. 2º edição. Rio de Janeiro: FAE.

ANEXO 1

Fundamentação teórica para a analogia entre circuitos hidráulicos e elétricos

Sabe-se que as analogias se originam de modelos mais elaborados e, geralmente, mais complexos, sendo conhecidos e desenvolvidos no contexto científico. No caso particular do fenômeno empregado neste trabalho, ou seja, na comparação entre um circuito hidráulico e um circuito elétrico, podemos fazer uso da Teoria de Fluidos para abordar alguns aspectos conceituais do fenômeno, sendo relevante dizer que historicamente a eletricidade era considerada inicialmente como um tipo de fluido.

Assim, a lei de Poiseuille é uma lei que se aplica a um líquido viscoso e incompressível que flui em forma laminar e estacionária através de um tubo cilíndrico de seção circular constante e vincula a velocidade do fluido com a diferença de pressão, as dimensões do tubo (comprimento e área da seção) e o coeficiente de viscosidade do líquido. A lei de Poiseuille estabelece que o fluxo do fluido é dado por:

$$\Phi_v = \frac{dV}{\Delta t} = v_m \pi r^2 = \frac{\pi r^4}{8\eta} \left(-\frac{dP}{dz} \right) = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{\Delta P}{L}$$

Nesta equação temos:

V é o volume do líquido que circula por unidade de tempo t ;

v_m é a velocidade média do líquido ao longo do eixo z do sistema de coordenadas cilíndricas;

r é o raio interno do tubo;

Δ é a diferença de pressão entre os dois extremos;

η é a viscosidade dinâmica e

L é a distância característica ao longo do eixo z .

Da equação do fluxo resulta que a diferença de pressão pode ser expressa por:

$$\Delta P = v_m \pi r^2 \frac{8\eta}{\pi r^4} L = \left(8\eta \frac{L}{r^2} \right) v_m$$

Podemos então relacionar a lei de Poiseuille com a Lei de Ohm para os circuitos elétricos associando a diferença de pressão Δp com a voltagem ΔV e a velocidade média v_m com a corrente elétrica I e o termo $8\eta \left(\frac{L}{r^2} \right)$ com a resistência elétrica $R = \rho \frac{L}{A}$ (onde ρ é a resistividade característica do material e A é a seção reta). Portanto, há uma correspondência entre a diferença de pressão Δp e a diferença de potencial elétrico ΔV :

$$\Delta P = 8\eta \left(\frac{L}{r^2} \right) v_m \quad \rightarrow \quad \Delta V = \rho \frac{L}{A} I = RI$$

As correspondências entre o domínio analógico e alvo que estão implícitas na expressão anterior são as seguintes:

Análogo (Circuito hidráulico)	Alvo (Circuito elétrico)
Δp – diferença de pressão	ΔV - diferença de potencial ou de tensão (no circuito hidráulico o líquido flui dos pontos de maior pressão para os de menor pressão)
v_m - velocidade média do líquido	$n q v A = j A = i$ - onde $n q v = j$ é a densidade de corrente, e A é a seção do condutor elétrico (ou do canudo no caso do circuito hidráulico)
$8\eta \left(\frac{L}{r^2} \right)$	$\rho \frac{L}{A} = R$ - nesta equivalência é feita a associação entre a viscosidade do líquido η e a resistividade elétrica do material ρ .

Finalmente, é importante destacar que por se tratar apenas de uma analogia, as relações entre os valores e grandezas não são exatas, o que não invalida a analogia pretendida.