

Metodologia Pluralista Racional de Ensino envolvendo Robótica Educacional LEGO® aos avanços conceituais dos Estudantes sobre Calor e Temperatura

Osmar Henrique Moura da Silva – osmarh@uel.br – UEL (Londrina-PR)

Wesley Olivatto – wesleyolivatto@uol.com.br – SESI (Londrina-PR)

Resumo: Caracteriza-se a aplicação de uma particular metodologia de ensino aos conceitos de calor e temperatura com parte de atividades experimentais envolvendo a robótica educacional LEGO® em estudantes do nível médio. Para tanto, o estudo empenhou-se em estruturar: uma estratégia pedagógica, no caso, construtivista e baseada num pluralismo metodológico com orientação racional; uma sequência de atividades experimentais, de caráter qualitativo, abrangendo a robótica LEGO® em meio a outras de baixo custo. Como forma de representar alguns típicos avanços conceituais dos aprendizes, uma análise integral dos dados de um estudante é exemplificada. Além da estratégia pedagógica que se contribui como alternativa à situação, espera-se que a presente reunião dos desenvolvimentos demonstrativos se mostre proveitosa e convidativa àqueles que buscam vincular essa robótica em suas aulas acerca dos conceitos físicos então focados.

Palavras chave: Robótica educacional LEGO®, metodologia pluralista de ensino, orientação racional, calor e temperatura, ensino médio.

Pluralistic Methodology Rational Education involving Educational Robotics LEGO® the conceptual advances students over Heat and Temperature

Abstract: The application of a particular teaching methodology to heat and temperature concepts of experimental activities involving the educational robotics LEGO® in high school students is characterized. To this end, the study endeavored to structure: a pedagogical strategy, in this case, constructive and based on a methodological pluralism with rational guidance; a series of experimental activities, qualitative, covering robotics LEGO® amid other low cost. In order to represent some typical conceptual advances of apprentices, a comprehensive analysis of data from a student is exemplified. In addition to this teaching strategy that contributes as an alternative to the situation, it is expected that the meeting of developments statements will prove fruitful and inviting those who seek to link robotics in their classes about so focused physical concepts.

Keywords: Educational Robotics LEGO®, pluralistic teaching methodology, rational orientation, heat and temperature, high school.

1. Introdução

Por volta de uma década atrás se podia dizer, de uma forma geral, que projetos realizados pela Robótica Educacional (RE) no Brasil não passavam de iniciativas isoladas por centros de pesquisa, principalmente universidades. Nos dias de hoje, de acordo com Chitonila e Scheid (2015, p. 284), ainda são tímidos os resultados desse “*olhar que direcione esforços para que robôs possam apoiar o cenário escolar*”, em especial na educação científica, na medida em que se aposta beneficiarem a realização de trabalhos em grupo e a resolução de problemas com estimulação da criatividade e participação (ROUXINOLL et al., 2011). Nesse contexto e como um caso à parte, em 2003, todas as escolas municipais de Curitiba (PR) receberam kits tecnológicos LEGO®

robótica como mais um recurso para ser utilizado no processo educacional (LABEGALINI, 2007), tendo cerca dos 7000 profissionais existentes na rede municipal de ensino participando de capacitações para uso de tal material (CURITIBA, 2005). Entretanto, as pesquisas realizadas pela Gerência de Tecnologias da SME¹ permitiram concluir que aquelas capacitações não foram suficientes para garantir a utilização dessas ferramentas pelos professores que, muitas vezes, ainda se sentiam inseguros ao trabalhar com seus alunos envolvendo os kits LEGO[®] robótica (LABEGALINI, 2007, p. 99).

Tendo isso em conta, o presente trabalho intenciona elaborar e aplicar uma estratégia pedagógica construtivista baseada num pluralismo metodológico (LABURÚ & CARVALHO, 2005), e de orientação racional (SILVA, 2008), aos conceitos de calor e temperatura, vinculando o emprego de kits LEGO[®] robótica em aulas com alunos do ensino médio. Alguns fenômenos físicos aqui selecionados permitem um desafio aos alunos: a produção de montagens novas, sem a utilização dos protocolos do kit. Em outras palavras, almeja-se durante esta aplicação que, depois de desafiados, haja inclusive o desenvolvimento de novas montagens pelos grupos de alunos até então inexistentes nas revistas do kit LEGO[®] robótica. De uma forma mais ampla, espera-se contribuir com o estudo de tal aplicação na qual a reunião desses desenvolvimentos se mostre proveitosa como um exemplo convidativo ao educador que busque iniciar um vínculo dessa robótica em suas aulas, situação apreciável até se particularmente ele não vir a se identificar com a opcional estratégia pedagógica construtivista aqui sugerida.

2. Referenciais teóricos à estratégia pedagógica

Inicialmente à exposição da estratégia pedagógica propriamente dita, é preciso esclarecer alguns entendimentos educacionais construtivistas que ela carrega (SILVA, 2008, p. 81): 1) os estudantes possuem concepções de senso comum que diferem (e até rivalizam) daquelas que o educador objetiva ensinar; 2) o aprendizado destas últimas pode ser acelerado pela interação social (vigotskiano), ainda que ele seja basicamente individual. Educar, nessa visão, envolve momentos com aulas expositivas, de transmissão direta da informação organizada, em que métodos mais próximos ao didatismo tradicional são também valorizados. Conforme Mortimer e Scott (2002, p. 302): *“Os estudantes podem discutir por uma eternidade as formas pelas quais carrinhos descem um plano inclinado e nunca chegarem às grandes ideias contidas nas Leis de Newton para o movimento”*. Baseados em exemplos semelhantes a esse, esses autores (ibid.) asseguram que o educador deve *“intervir e introduzir novos termos e ideias”*, e ressaltam: *“intervenções de autoridade² são igualmente importantes e parte fundamental do ensino de ciências”*. Contudo, frisa-se que a estratégia aqui estruturada, ao aderir um pouco desse espírito, não se torna um didatismo tradicional e se preserva construtivista, na medida em que considera os pensamentos dos estudantes permitindo envolvê-las nas reflexões juntamente com as científicas.

Ressonante com a visão construtivista, nesta última década, vários estudos caminharam em defesa do emprego de uma orientação pluralista para o ensino de ciências (LABURÚ & CARVALHO, 2005) pela qual, em virtude da complexidade das variáveis envolvidas numa sala de aula, se assume que *“o mecanismo de ensino-aprendizagem é capaz de ser mais bem equacionado quando uma prática instrucional pluralista estiver em jogo”* (ibid., p. 79); o que implica à prática, que objetiva transmitir um determinado conteúdo escolar, o dever do professor de esforçar-se para escolher formas variadas de apresentá-lo (ibid., p. 89). Nessa consideração, algumas táticas para

¹ Secretaria Municipal de Educação.

² Termo pertencente ao conceito de discurso dialógico-de autoridade, no qual se valorizam também os momentos “de autoridade”, que diz respeito à “única voz”, à voz científica, imposta pelo professor (ibid.).

uma proposta pluralista em sala de aula são: favorecer leituras; questionamentos; gerar conflitos cognitivos, utilizando contradições empíricas e conceituais em nível individual ou, na esfera coletiva; a discussão; propiciar o levantamento e o teste de hipóteses; fazer o uso do recurso de analogias; estudo em grupo; estabelecer momentos para que sejam transmitidas informações que precisam ser memorizadas, ordenadas, estruturadas e organizadas através de aulas expositivas, de vídeos, de textos; etc (ibid.). Como será mostrado na próxima seção, referente aos detalhes da aplicação da presente estratégia, boa parte dessas recomendações da proposta pluralista encontra-se atendida na medida em que serão englobados nas discussões: um vídeo educacional, leitura extraclasse, demonstrações experimentais, desenhos no quadro negro, entre outros. Tudo isso a favor da compreensão de um mesmo assunto estudado.

Diante das exposições de concepções alternativas dos estudantes que diferem e conflitam com as científicas a serem ensinadas, a tomada de consciência estudantil dessas últimas envolve comparações que caem no âmbito da racionalidade, “*tópico central em filosofia da ciência importante ao ensino de ciências*” (MATTHEWS apud SILVA, 2008, p. 84). Não é de hoje que inspirações filosóficas lakatosianas são tipicamente indicadas nesse sentido, sendo mantidas na presente estratégia. Mais precisamente, intenciona-se realizar uma conduta pedagógica influenciada de uma analogia com a racionalidade de Lakatos³ (LAKATOS apud SILVA, 2008) para favorecer o consentimento das concepções científicas, quando discutidas com as concepções alternativas. Nessa conduta, os conflitos cognitivos e as controvérsias constituem instrumentos indispensáveis desta estratégia que, embora sejam explorados em muitas técnicas de ensino, serão aqui empregados em situações específicas de reflexão para „rejeição“ ou „aprovação“ de teorias. Por semelhança com o entendimento lakatosiano, tentar-se-á transpor um critério de avaliação e escolha de teorias ao julgar seus méritos relativos para percepção de uma dada concepção degenerativa, cedendo espaço a uma rival mais progressiva. Isso na medida em que se busca criar uma dinâmica de discussões sobre as explicações e previsões das teorias, acreditando que isso possa ser uma ferramenta que melhor subsidie uma aceitação racional dos novos conceitos pelos alunos. Silva (2008) indica diversas pesquisas que estabelecem a possibilidade de concepções alternativas serem classificadas em programas alternativos que competem em termos explicativos com as rivais que o educador almeja ensinar, classificadas em programas científicos. Acerca disso, um paralelismo encontra-se estruturado a partir das heurísticas negativa (núcleo do programa) e positiva (cinturão de hipóteses auxiliares). Aliás, Silva (ibid.) sugere uma aproximação mais completa na qual uma estratégia deva seguir o critério de eliminação de teorias proposta por Lakatos que diz que a razão objetiva para uma escolha entre programas de pesquisa é proporcionada por um programa que explica o êxito anterior de seu concorrente e o suplanta por uma demonstração adicional de força heurística. Mais ainda, se de um lado essa demonstração de força heurística permita um programa ser visto como progressivo, de outro, uma analogia pode ser estabelecida, segundo Silva (2008, p. 86), avaliando um programa como degenerativo pelo sinal típico da proliferação de fatos contraditórios⁴.

Pelo exposto acima e rearranjando alguns dos sete passos da estratégia de Silva (2008)⁵, a estrutura da presente proposta pedagógica é constituída genericamente de cinco passos, que de forma sucinta são: 1) Revelação de concepções alternativas em determinado conteúdo para encará-las como “programas”; 2) Instrução de duas teorias científicas rivais (podendo ser sucessivas historicamente ou não), em que uma delas seja

³ Inspiração no falseacionismo metodológico.

⁴ Os limites dessa inspiração filosófica à educação científica também podem ser vistos em Silva (ibid.).

⁵ A presente estratégia não objetiva inserir a Reconstrução Racional Didática da história proposta por Silva (ibid.).

a atual que se pretende ensinar. Neste passo é interessante que o educador selecione os fenômenos que ambas as teorias explicam, para que inicialmente os alunos as vejam igualmente fortalecidas; 3) Avaliação dos conhecimentos aprendidos no passo anterior, para se ter garantia de que esse passo anterior tenha sido bem arquitetado pedagogicamente de modo a possibilitar um nível satisfatório de conhecimento aprendido para dar continuidade aos demais passos; 4) Realização de experiências com interpretações teóricas dos resultados de forma problemática a uma das teorias e aceitável à teoria almejada educacionalmente. Deve-se explicitar um confronto dos méritos explicativos das teorias para o julgamento da melhor⁶. Também se resgatam as noções intuitivas reveladas no passo 1 e, da mesma forma que se conduziu racionalmente a discussão acerca dos méritos explicativos das teorias rivais (instruídas no passo 2), realiza-se uma reflexão entre aquelas noções dos estudantes com a teoria científica que se mostrou vencedora, então inteligível. Nesse confronto são realizadas explicações e previsões que as noções intuitivas e a teoria científica atual fazem acerca dos fenômenos físicos até então tratados, buscando clarear as interpretações de ambas; 5) Uma nova avaliação é feita para averiguar os conhecimentos dos aprendizes.

3. Metodologia: aplicação da estratégia⁷

Pela sintética estrutura didática mencionada acima, unida às recomendações pedagógicas discutidas, a aplicação dessa estratégia ocorreu nos seguintes detalhes⁸. Na primeira aula (duração de 50 minutos), o professor iniciou aplicando a pré-avaliação (Anexo A) para obter quais noções prévias sobre calor e temperatura estariam na mente dos alunos (sendo mais à frente resgatadas no quinto passo da estratégia). Após o término desse primeiro passo, restando 25 minutos da aula, o professor aproveitou para programar três demonstrações com o material LEGO[®] robótica com os alunos, de modo a deixá-las prontas a outros momentos de reflexão dos fenômenos abordados. No caso, a turma foi dividida em oito grupos de quatro integrantes cada. Destes, três grupos foram desafiados a montar uma inovadora e simples demonstração⁹ que permitisse girar um eixo cilíndrico de ferro para posteriormente ser atritado com uma cinta de alumínio adaptada (folhas de papel alumínio superpostas), segura pelos dedos do indivíduo que então experimenta o aquecimento da cinta (APÊNDICE). Já outras duas atividades com a robótica educacional LEGO[®] seguiram-se das principais sugestões do manual ZOOM (2013), ali denominadas de *Atividade 1* (“o equivalente mecânico do calor”), direcionada a três grupos, e de *Atividade 2* (“o modelo cinético molecular da matéria”) (ibid., ps. 68-71), direcionada aos dois grupos restantes de estudantes. Essas três demonstrações experimentais envolveram o material LEGO[®] Mindstorms NXT 9797 e 9695. Finalizadas as montagens, o professor terminou a aula entregando a cada aluno uma folha (ANEXO B) para leitura extraclasse, cujo texto apresentava uma sintética explicação das teorias do calórico e cinético-molecular a fim de realizarem um estudo preliminar. Tal procedimento já desencadeou o segundo passo da estratégia, que, no caso, foi de tornar inteligíveis essas teorias rivais, na medida em que os alunos foram direcionados a um estudo paralelo que os subsidiou a um melhor acompanhamento dos entendimentos relativos na próxima aula.

⁶ Isto, conforme Silva (2008), é necessário como preparação dos estudantes a um segundo debate racional entre a concepção científica e as que eles possuem. É importante previamente exemplificar uma competição e um critério para julgamento de uma teoria vencedora para, posteriormente, poderem comparar igualmente está última com aquelas reveladas por eles, subsidiando-os a melhor acompanharem tal critério pelo qual se está indicando a superior.

⁷ A amostra investigada constitui-se de 32 alunos pertencentes a uma turma do nível médio de ensino, do segundo ano da escola particular SESI (Londrina-PR), que adere tecnologias educacionais como a LEGO[®] robótica.

⁸ As avaliações estão baseadas em três questionários (disponíveis em anexos), adaptados de Silva (2008).

⁹ Isto é, que não se encontra entre aquelas atividades sugeridas no manual ZOOM (2013).

Na segunda aula (duração de 50 minutos), o professor alertou os alunos para prestarem atenção e pedirem explicações para suas dúvidas, na consideração da leitura prévia do texto explicativo entregue anteriormente, dizendo que no final da aula eles deveriam entregar ao professor, novamente por escrito em novo questionário avaliativo, o que entenderam sobre as teorias¹⁰. Com o emprego do discurso de autoridade (no sentido de uma aula mais tradicional), o professor então começou pela apresentação dos postulados da teoria calórica, explorando os entendimentos dessa teoria em relação aos conceitos de calor e temperatura. Discutiu no quadro negro a situação de dois corpos idênticos no estado sólido, cujo desenho os deu formas cúbicas, porém, especificando que estavam a diferentes temperaturas. Comentou por meio da teoria calórica como se explicaria o fenômeno de, após algum tempo de interação (colocados em contato físico), os corpos atingirem a mesma temperatura. Ainda dentro de um discurso de autoridade, o professor estabeleceu um ambiente para diálogos com os alunos¹¹, procurando assim esclarecer, repetidas vezes, o conceito de calor e temperatura por essa teoria e sua aplicação naquele fenômeno do equilíbrio térmico, explicando-o.

Também reproduziu o mesmo desenho dos corpos em contato do outro lado do quadro para argumentar (e comparar) sobre as explicações da teoria cinético-molecular naquela mesma circunstância. Em direção aos esclarecimentos dos conceitos de calor e temperatura por essa teoria, discutiu, em termos qualitativos, como o modelo teórico explica a constituição da matéria no estado gasoso. No caso, o professor pediu aos estudantes responsáveis pela *Atividade 2* demonstrarem-na aos demais para que ele estabelecesse analogias entre as energias cinéticas das partículas (átomos e moléculas) com o movimento aleatório das pequenas “bolinhas” no interior do tubo adaptado, discutindo o conceito de temperatura ao variar as agitações dessas “bolinhas”. Depois de realizar reflexões com entendimentos de a temperatura depender, de forma proporcional, do nível de agitação das partículas de um gás, partiu para as constituições da matéria no estado líquido e sólido com equivalentes reflexões, direcionando a discussão para o fenômeno do equilíbrio térmico daqueles corpos desenhados no quadro e aplicando os conceitos de calor e temperatura da teoria cinética. Nesse momento da aula, sempre respeitando a necessidade de abertura para dúvidas dos alunos, já haviam decorrido aproximadamente 25 minutos. Para reforçar ainda mais a compreensão dos alunos dos conceitos de calor e temperatura da teoria cinético-molecular, o professor apresentou um filme que ilustrava o comportamento das partículas de um corpo em altas e baixas temperaturas. O filme, de 5 minutos, também mostrou uma representação da transferência da energia cinética entre as partículas de dois corpos, inicialmente a temperaturas diferentes, até atingirem o equilíbrio térmico.

Até então, dentro dessa metodologia pluralista de ensino com discurso de autoridade¹², viram-se delongar cerca de 30 minutos da aula. Com os restantes 20 minutos da aula, o professor iniciou o terceiro passo da estratégia, que é o de avaliar a inteligibilidade dos alunos sobre os conceitos em foco, aplicando a primeira avaliação (terceiro passo no ANEXO C) para poder averiguar a produtividade das discussões do segundo passo. Tal aplicação finalizou a segunda aula.

O quarto passo ocorreu na terceira aula (geminada de 100 minutos). O professor então tratou de conduzir à realização de experiências com interpretações teóricas dos

¹⁰ Essa avaliação da inteligibilidade no final dessa aula refere-se ao terceiro passo da estratégia.

¹¹ Sem referir-se à vocalização em si, mas, sim, ao que é tomado como coerente à construção de um conceito a ser ensinado, diversas opiniões e ideias podem ser expressas por uma classe se conduzida por um discurso de autoridade, excluindo-se as reflexões com noções do senso comum ou incompatíveis à objetivada educacionalmente.

¹² Em que foram envolvidas reflexões do conteúdo por meio do anterior texto extraclasse, aula expositiva tradicional, atividade experimental com a robótica LEGO® que os próprios estudantes montaram, além do filme educativo e desenhos ilustrativos de fenômenos explorados pelo educador no quadro negro.

resultados de forma problemática à teoria do calórico, mas não à teoria cinético-molecular. Intencionou-se nesse sentido confrontar os méritos dessas teorias para julgamento da melhor. Para isso, o professor realizou com os estudantes uma rápida e simples demonstração de baixo custo, conhecida por martelar repetidas vezes a cabeça de um prego até observar o aquecimento da mesma¹³. Verificado tal aquecimento, o educador refletiu com os estudantes como se poderia explicar esse fenômeno por ambas as teorias, almejando influenciá-los com uma interpretação problemática com a teoria do calórico com entendimentos de uma insustentabilidade do surgimento do calórico ao caso, por respeito aos postulados dessa teoria¹⁴. Ainda experimentalmente, também direcionou atenção dos estudantes àquela inovadora demonstração desenvolvida com eles no fim da primeira aula por meio do kit LEGO[®] robótica a fim de estabelecer um aquecimento por atrito, ora sentido por eles segurando a cinta de papel alumínio envolvida no eixo metálico girante, adaptado no kit (APÊNDICE). Reunindo os resultados qualitativos desses dois experimentos (de aquecimento por atrito) com o da água aquecida da *Atividade 1*, o professor então reconstruiu pedagogicamente alguns argumentos semelhantes aos do Lord Kelvin, historicamente contados em livros didáticos, reflexão essa dirigida educacionalmente como problemática à teoria do calórico, mas não à teoria cinético-molecular. Tais procedimentos pedagógicos estenderam-se por 45 minutos da aula, permitindo o educador conduzir o julgamento da teoria cinético-molecular como superior em termos explicativos dentro desse contexto e nível de estudo.

Restando 55 minutos dessa aula geminada, coerentemente a essas comparações ainda frescas na mente dos estudantes, o educador foi à lousa e escreveu as noções intuitivas encontradas no primeiro passo (pré-avaliação), numerando-as por N1, N2, Em seguida, entregou a cada aluno aquela sua pré-avaliação já analisada (passo 1), e discutiu os entendimentos e comparações de calor e temperatura em cada uma dessas noções intuitivas por cerca de 20 minutos dentro do discurso dialógico¹⁵.

Retornando ao discurso de autoridade e como complemento às discussões até aqui, o professor comentou sobre a organização das partículas da matéria nos estados sólido, líquido e gasoso, de acordo com o modelo cinético-molecular. Por meio de desenhos na lousa, idealizou as ligações entre os átomos de uma rede cristalina no estado sólido e retomou a discussão do aumento da vibração dessas partículas durante um aquecimento devido a uma diferença de temperatura. Comentou com os alunos que o aumento das vibrações ocorre até um limite possível das vibrações no estado sólido devido à energia potencial de interação entre as partículas, relacionada à energia que proporciona as ligações entre elas naquele estado. Exemplificou o caso da água em ebulição que, na mudança de estado, não há variação de temperatura e que, por coerência com o que eles haviam discutido até o momento, não deveria haver variação da agitação das partículas. Então, questionou com os alunos para onde poderia estar sendo aproveitada a energia em forma de calor¹⁶, acrescentada na matéria num processo de aquecimento durante uma mudança de fase. Argumentou que a energia interna do corpo (ou sistema) é formada pela soma das energias cinética e potencial, procurando concluir com os alunos, conforme o modelo teórico, que se não há variação de energia cinética no processo de mudança de fase, a energia em forma de calor deve ser

¹³ Enquanto isso ocorria, os alunos deixaram funcionando, desde o início da aula, o motor da *Atividade 1* por 25 minutos (ZOOM, 2013, p. 68). Cabe dizer que não se propôs efetuar cálculos do equivalente mecânico do calor, mas refletir entendimentos do aquecimento da água de forma qualitativa por meio das teorias rivais em questão.

¹⁴ Na inspiração filosófica lakatosiana, implícita na estratégia, violar um postulado é destruir o núcleo da teoria.

¹⁵ Inclusive, realizando comparações de algumas dessas ideias prévias com a teoria do calórico.

¹⁶ Logo, por diferença de temperatura.

acrescentada à energia potencial, acarretando rompimentos nas ligações entre as partículas. Esses discursos de autoridade delongaram outros 15 minutos da aula.

Com 20 minutos restantes, o professor aplicou o quinto passo (ANEXO D). Juntamente com tal questionário, o professor forneceu aos estudantes pedaços de arame de ferro para que rapidamente flexionassem e percebessem um aquecimento nos pontos de flexão; situação equivalente a de uma das questões. Analisando as respostas desse questionário final, o objetivo principal foi de averiguar como os aprendizes mencionavam ou não o conceito calor em ocasiões de aquecimento com ou sem diferença de temperatura.

4. Referenciais para interpretação dos dados

4.1 Noções intuitivas de calor e temperatura (SILVA, 2008)

Segundo Burghi e Soussan (apud SILVA, 2008), após a idade de treze ou quatorze anos, a noção única de calor e temperatura começa a separar-se. Silva (2008) destaca quatro noções intuitivas dos estudantes numeradas sem ordem conceitual de complexidade, mas aleatoriamente, quais sejam: 1) Noção intuitiva que admite calor como parte quente da temperatura, em que esta engloba o calor (parte quente) e as demais sensações; 2) calor é um aquecimento (processo) e a temperatura é a medida do calor; 3) a noção de que calor como algo contido nos corpos e a temperatura mede a quantidade de calor; 4) calor é energia e a temperatura mede a quantidade de calor.

Em termos de consistência explicativa, educacionalmente cabe notar que a segunda noção intuitiva mostra-se até mais confusa que a primeira pelo fato de não se observar a ideia de calor como substância (semelhante a um fluido) quando unida ao entendimento de temperatura indicando a quantidade de calor. Por outro lado, as terceira e quarta noções apresentam semelhanças com a teoria do calórico¹⁷. A saber: a ideia de calor como algo contido nos corpos; o calor pode passar de um corpo para outro; a temperatura mede a quantidade de calor. Silva (2008) chega a classificar pedagogicamente tais noções intuitivas como “programas alternativos” que rivalizam em termos explicativos com o “programa científico” que o professor quer ensinar.

4.2 Reflexões educacionais sobre calor e temperatura (SILVA et al., 2008)

Cabe notar que uma considerável concentração se vem a fazer ao se responder corretamente, por exemplo, uma questão aparentemente trivial levantada por Sears (apud SILVA et al., 2008, p. 385): “*Não é correto se afirmar que um corpo tem uma quantidade de calor, embora o seja dizer que este corpo transferiu calor para outro. Como é possível um corpo fornecer algo que não tem?*”. Logo, um cuidado educacional deve existir para que a dúvida sobre esse conceito não ocorra entre: “*um processo de transferência de energia; a forma em que a energia se manifesta em tal processo; a quantidade de energia transferida nesse processo*” (URIA apud SILVA et al., 2008, p. 384). Aprende-se facilmente que calor é energia e, ao passo que a associação esteja correta, pode assim haver uma insuficiência de clareza do conceito. Para exemplificar essa dificuldade, pela questão acima, ao se admitir que um corpo transfere energia (calor) para outro, segue intuitivamente desse raciocínio que, se o corpo transferiu uma energia que possuía é porque possuía calor, associado de modo confuso como a energia que foi transferida por inicialmente se encontrar no corpo¹⁸.

¹⁷ Mesmo com a quarta noção associando calor à energia de uma forma equivocada, aparentando energia interna.

¹⁸ Silva et al. (2008, p. 387-388) faz uma reunião das definições presentes em vários livros de Física destinados à graduação acerca desse conceito e evidencia como elas se confundem ora como a energia transferida ora como a transferência de energia (processo), devido à existência de uma diferença de temperatura. Por sua vez, a temperatura

Como formas de instrução e avaliação, as experiências demonstrativas selecionadas à presente estratégia pedagógica caracterizam fenômenos de aquecimento que se distinguem por poderem ou não ser explicados mencionando o conceito de calor. Como um exemplo físico à parte¹⁹, é possível acrescentar uma mesma quantia de energia interna num sistema (gás) tanto por fluxo de calor quanto por trabalho realizado sobre ele e, uma vez isso completado, nenhuma experiência poderá dizer por qual modo esse acréscimo ocorreu. Isso, conforme Callen (apud Silva et al., 2008, p. 389), porque, “*calor, como trabalho, é somente uma forma de transferir energia*”. Assim, se há uma diferença de temperatura no processo, diz-se corretamente que a energia transferida deu-se em forma de calor (transferência de energia). Por uma questão pedagógica, portanto, preferiu-se aqui conduzir os estudantes a pensarem inicialmente no calor como método de transferência de energia e, quando essa transferência se completasse, referir-se à quantidade total de energia assim transmitida (SEARS et al. apud SILVA et al, 2008, p. 389). Objetivou-se por tal conduta educacional auxiliar os estudantes a não fazerem referência ao “calor em um corpo” para melhor virem a interagir com a expressão “quantidade de calor”, tão influente em livros didáticos e tabelas, sendo quase impossível de ser evitada. Aliás, em típicas situações de aquecimento por atrito, é comum haver em livros didáticos uma interpretação histórica na qual o uso do termo calor merece especial atenção, percebendo-o como GERADO e sempre proporcional à quantidade de trabalho executado contra as forças de atrito (situação de um bloco sendo empurrado); fator este de proporcionalidade conhecido como equivalente mecânico do calor (OREAR apud SILVA et al., 2008, p. 391)²⁰. Obviamente, o que é correto dizer a respeito de um fenômeno de aquecimento por atrito é que há uma conversão de energia mecânica em energia interna, mas nem calor nem sua produção podem ser mencionados ao considerar a definição teórica deste termo, pois não há diferença de temperatura alguma num aquecimento desse tipo. Conforme Sears et al. (apud SILVA et al., 2008, p.392): “*É essencial lembrar que o conceito de ‘quantidade de calor’ só tem sentido no contexto de uma interação em que haja transferência de energia de um sistema para outro em virtude de uma diferença de temperatura*”.

5. Análise dos dados

Para não haver extensa apresentação de análises e sem levar a prejuízos de entendimento do ocorrido, apresentam-se aqui as análises da construção individual do conhecimento de um estudante como ilustração de um dos típicos desempenhos obtidos, referentes aos passos 1, 3, e 5. Para isso, os referenciais de Silva (2008) e Silva et al. (2008) tornam-se instrumentos de interpretação dos dados.

Referente ao passo 1, identificaram-se entendimentos prévios semelhantes aos da teoria calórica, classificando o estudante com a terceira noção intuitiva. Constatou-se a característica de o calor estar contido nos corpos: “... calor é armazenado”; “... calor é a temperatura que um corpo passa para outro”. Cabe interpretar que ele não tratou calor e temperatura como sinônimos, mas que calor transferido a um corpo altera sua temperatura: “... cada corpo tem uma temperatura diferente de acordo com o calor que recebe a cada

não sinaliza uma confusão conceitual como a de calor e, aos fins instrucionais e avaliativos neste trabalho, assume-se uma abordagem da temperatura como uma medida indireta do nível da agitação média das partículas de um sistema, pois, o que se faz comumente é associar esse suposto nível do estado do sistema a uma medida, por exemplo, da altura de uma coluna de mercúrio.

¹⁹ Obedecendo a primeira lei da Termodinâmica.

²⁰ “*Afirmativa comum, porém, imprecisa, a de que em um processo dissipativo, trabalho é convertido em calor. Tudo que se pode realmente dizer é que a variação na energia interna de um sistema, em um processo dissipativo, é a mesma, como se houvesse um fluxo de calor Q para o sistema, igual em magnitude ao trabalho dissipativo*” (SEARS e SALINGER apud SILVA et al., p. 392). Ênfase: quantitativamente é a mesma coisa, mas qualitativamente não.

ambiente". A reunião de seus comentários mostra afinidade com a ideia na qual a temperatura é a medida da quantidade de calor, pois relacionou a dependência da temperatura de um corpo com a quantidade de calor que este possa ter ao ceder ou receber tal quantidade, raciocínio presente na resposta da quarta questão: "*Porque teve passagem de calor entre as duas amostras de água (de diferentes temperaturas)*". Esta explicação, mesmo aparentando correta, carrega problemas pela definição de calor do aluno. Isto porque ele não associou o calor ao termo energia em nenhuma resposta e também por entender que o calor pode passar de um corpo a outro para alterar a temperatura e nele ficar armazenado, o que justifica seus entendimentos na terceira noção intuitiva. Já na quinta questão respondeu: "*Porque passa calor de uma (mão) para outra, pois as mãos já têm um calor próprio*". Tal resposta é compatível com a noção de um corpo armazenar calor. Essa quinta questão é um desafio explicativo aos estudantes da terceira noção intuitiva; no caso, viu-se que o aluno desprezou a reflexão sobre o fato, contraditório com suas ideias, de as mãos não partirem de uma diferença de temperatura e manterem uma temperatura comum durante o processo de aquecimento por atrito, ao simplesmente admitir que as mãos estivessem trocando calor.

Referente ao passo 3, como resultado do processo educacional, o estudante apresentou uma suficiente compreensão dos conceitos por ambos modelos teóricos. Os comentários às duas primeiras questões foram: "*A teoria do calórico explica o calor como uma substância de massa desprezível que passa livremente nas partículas do corpo, sempre no sentido do mais quente para o mais frio. O calórico é uma substância que não pode ser criada ou destruída e sim transferida de um corpo para outro. Quanto maior a quantidade de calórico maior a temperatura. Temperatura é a análise do grau de medida de calórico em um determinado corpo*". Já para as questões 3 e 4 respondeu: "*O calor é a transferência de energia dada pelos movimentos das moléculas quando dois corpos tem diferentes temperaturas. Quanto maior a (energia) cinética das moléculas, maior a temperatura. Temperatura é a medida com análise do grau dos movimentos das moléculas*". Tais comentários do estudante evidenciam uma distinção razoável dos significados de calor e temperatura por ambos os modelos teóricos discutidos em classe. Uma comparação de destaque foi a de que, na teoria cinético-molecular, "*quanto maior a (energia) cinética das moléculas, maior a temperatura, (que) ao contrário da outra teoria (do calórico), (na cinético-molecular) um corpo não pode possuir calor individualmente*". Essa comparação do estudante é um resultado pedagogicamente proveitoso por equivalência à sua ideia inicial de calor armazenado nos corpos, que se assemelha ao conceito de calor contido nos corpos da teoria calórica. Já as inteligibilidades dos modelos teóricos são verificadas nas respostas da última questão: "*Teoria do calórico – quando dois corpos de temperaturas diferentes se encostam, ocorre o fenômeno de equilíbrio (térmico) que é a transferência de calórico de um corpo para outro até que se igualam a(s) temperatura(s). Quem tem mais calórico passa para quem tem menos, deixando o mais quente mais frio, e o mais frio mais quente, assim igualando as temperaturas; Teoria cinético-molecular – quando dois corpos com temperaturas diferentes, isso é quando um corpo tem mais movimento molecular que o outro, se encosta(m), é assim que ocorre a transferência de energia, já que toda molécula com mais movimento esbarra em outra gerando mais movimento (à essa última), assim igualando os movimentos (médios) das partículas, dando a mesma temperatura*". Esses comentários comprovam que o aluno soube explicar o fenômeno do equilíbrio térmico pelas duas maneiras, concluindo, por uma teoria, que isso ocorre devido ao equilíbrio de calórico e, por outra, porque há igualdade (equilíbrio) de energia dos movimentos das partículas dos corpos.

Referente ao passo 5, ele respondeu: "*Calor é a transferência de energia dada pelos movimentos da(s) molécula(s) que interage(m) entre dois corpos de temperatura(s) diferente(s). Temperatura é a análise do grau de energia (relacionada aos movimentos das moléculas)*". Nota-se que o estudante especificou uma diferença de temperatura entre os corpos que exemplifica na resposta, situação única em que o uso da palavra calor tem significado. Aliás, pode-se constatar a diferença do raciocínio explicativo entre a situação de aquecimento por atrito da questão 2(a) com aquela sua equivalente da pré-avaliação, ao

responder: “Porque ao atritar você dá às moléculas um movimento contínuo e crescente, assim cada vez mais aumenta a temperatura (dos materiais). Isso acontece por causa do(s) choques das moléculas que transfere energia de uma molécula para outra”. Essa resposta, unida a da questão 2(b)²¹, além de revelar que o aluno não citou a palavra calor nessas situações de aquecimento, caracteriza condições de explicações coerentes com a teoria cinético-molecular em razão de ele relacionar a variação do movimento das moléculas com o aumento de temperatura. Logo, conclui-se que o uso inapropriado do conceito de calor, verificado no primeiro passo numa situação de aquecimento por atrito, agora não se repetiu.

Para a questão 2(c) ele particularmente analisou: “A teoria do calórico não explica direito. A diferença de temperatura entre dois corpos sobre o equilíbrio térmico. Então, quanto mais calor (calórico) um corpo ter, mais calor (calórico) ele irá transferir para o corpo mais frio, assim, aquecendo cada vez mais até tiver o equilíbrio térmico ou interromper a transferência da substância (calórico). Esse fenômeno, do ponto de fusão (ebulição) da água, entra em contradição porque mesmo com a transferência constante de calor, a água não altera a temperatura depois de 100 °C”; “A teoria cinético-molecular explica que, para que a água mude de temperatura e ultrapasse os 100 °C é preciso que todas as moléculas presente no corpo estejam na mesma condição. As moléculas da água em forma líquida estão mais ligadas e agrupadas do que na forma de vapor. Com o aquecimento da água líquida (a 100 °C) essas ligações se rompe(m), dando pouco a pouco a organização de vapor. Até as moléculas não ter(em) essas ligações rompidas, não ocorre a mudança de estado e também (não ocorre) a mudança de temperatura (acima dos 100 °C)”. Cabe apontar aos seguintes detalhes explicativos do aluno conforme seus entendimentos de ambos os modelos teóricos ensinados em classe. Ele admitiu a experiência da água em ebulição como um fato contraditório ao modelo calórico (“esse fenômeno entra em contradição”), pois havia mencionado que “o calor (calórico), substância de massa desprezível, passa livremente nas partículas do(s) corpo(s), sempre no sentido do (corpo) mais quente para o mais frio” (respondido no passo 3); logo, devendo alterar a temperatura desse último. Esse é um fato contraditório à teoria calórica, ao que ele pensou assim ser, pelo constante fornecimento de calórico à água que mantém a mesma temperatura. Raciocínio esse equivalente às situações de elevação de temperatura por atrito²², evidenciou-se uma proliferação de fatos contraditórios e uma condição de insatisfação com a teoria calórica que não ocorreu com a teoria cinético-molecular.

Pelas questões 3 e 4, procurou-se observar como o estudante refletia acerca de suas próprias explicações conforme a terceira noção intuitiva em que foram classificadas suas ideias iniciais²³. Todavia, ainda que o aluno tivesse mostrado condições de responder as questões com suas ideias iniciais, assim como fez com a teoria calórica, ou ao menos tentar respondê-las, ele se limitou a apenas dizer: “Não é possível (explicar), porque as minhas concepções da primeira avaliação (pré-avaliação) são insuficientes e entram em contradição, já que a teoria que escrevi („teoria” do primeiro passo) se assemelha com a teoria do calórico que não cobre as explicações destes fenômenos (de atrito e da água em ebulição)”. Apesar de resumido, o comentário ilustra um reconhecimento de que suas ideias assemelham-se com as da teoria calórica. Pelo fato de ter realizado comparações explicativas entre os modelos rivais do calórico e cinético-molecular, avaliando-os, ele igualmente concluiu que a teoria cinético-molecular permanece como melhor diante de suas ideias iniciais, conforme seu próprio julgamento: “(minhas noções iniciais) são piores (do que as da teoria cinético-molecular), porque além de serem menos elaboradas, (elas) não cobrem a explicação lógica de todos os fenômenos como a teoria cinético-molecular cobre”. Conscientização essa do estudante que exemplifica um produto do ensino racional então almejado.

6. Considerações finais

²¹ “Ao flexionarmos um pedaço de arame também está provocando movimento nas moléculas. Quanto mais flexionar maior será a agitação delas e maior será a temperatura, deixando o metal mais fraco a ponto que se rompa”.

²² Porém, interpretando as elevações de temperatura sem identificação de fornecimento de calórico.

²³ Implicitamente conduzidas educacionalmente num programa alternativo por analogia com o programa calórico.

Este estudo elaborou e investigou uma metodologia pluralista e racional de ensino aos conceitos de calor e temperatura atrelando a robótica educacional LEGO^{®24} em meio a atividades experimentais de baixo custo. Na consideração das pesquisas que defendem a robótica pedagógica como uma ferramenta bastante educativa, no sentido dos conceitos do “*aprender fazendo*” e do “*aprender apreciando*” (HAFNER et al., 2011, p. 2), espera-se contribuir com essa alternativa de estratégia construtivista às capacitações de educadores que intencionam inserir a robótica LEGO[®] em sala de aula. A importância da estruturação e adequação de uma estratégia como esta se apoia no entendimento de que simplesmente contar com um material didático sofisticado não necessariamente implica no enriquecimento da aula. Em outras palavras, ainda que a robótica educacional seja uma opção à possibilidade de experimentar, construir e reconstruir brincando, havendo várias propostas divulgadas de demonstrações nesse sentido para seguir, deve-se evitar, de acordo com Sena dos Anjos (2008, p. 573), um ingênuo envolvimento dessas recentes tecnologias na medida em que isto por si só não garante um processo didático-pedagógico mais rico. Perante isto, a presente proposta mostra-se uma colaboração à tentativa de se adequar o uso pedagógico de novos e emergentes recursos tecnológicos prevenindo uma imatura inclusão dos mesmos no processo.

Referências

- CHITOLINA, R. F.; SCHEID, N. M. J. A robótica educacional e as tecnologias da informação e comunicação na construção de conhecimentos substantivos em ciências naturais. **Ciência e Natura**. V. 37, n. 2, p. 283-289, mai-ago, 2015.
- CURITIBA. Secretaria Municipal da Educação. **Trabalhando com o recurso Lego e as Revistas Zoom nas Escolas Municipais de Curitiba – 2004/2005**. Curitiba: SME (2005).
- HAFNER, M. M.; SOUZA E SILVA, A. P.; GUTERRES, L. M.; SANTOS, I. S.; MARTINS, M. P. Utilização do kit LEGO como auxílio no ensino de controle e automação. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Belo Horizonte-MG, 4 a 7 de outubro de 2011.
- LABEGALINI, A. C. **A construção da prática pedagógica do professor: o uso do Lego/Robótica na sala de aula**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial à conclusão do Mestrado em Educação. Curitiba (2007).
- LABURÚ, C. E.; CARVALHO, M. **Educação Científica – Controvérsias Construtivistas e Pluralismo Metodológico**. Londrina: Eduel – Editora da Universidade Estadual de Londrina, 2005.
- MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**. V. 7, n. 3, p. 283-306, 2002.
- ROUXINOLL, E.; SCHIVANI, M.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. L.; PIETROCOLA, M. Novas Tecnologias para o Ensino de Física: um Estudo Preliminar das características e potencialidades de atividades usando kits de robótica. **SNEF – XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Manaus (2011).
- SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. V. 25, n. 3: p. 383-396, 2008.

²⁴ Estabelecendo, inclusive, um desafio aos estudantes na produção de uma nova montagem (APÊNDICE), sem a utilização dos protocolos do kit mencionados na revista ZOOM (ZOOM, 2013).

SILVA, O. H. M. **Um estudo sobre a estruturação e aplicação de uma estratégia de ensino de Física inspirada em Lakatos com a Reconstrução Racional Didática para auxiliar a preparar os estudantes para debates racionais entre teorias e/ou concepções rivais.** Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Ciências da Unesp/Bauru, 2008.

SENA DOS ANJOS, A. J. As Novas Tecnologias e o uso dos Recursos Telemáticos na Educação Científica: a simulação computacional na educação em física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3: p. 569-600, dez. (2008).

ZOOM. **ZOOM: Educação para a vida (ensino médio).** Manual do Educador. 3ª edição. Curitiba: ZOOM Editora Educacional Ltda (2013).

ANEXOS

ANEXO A (Pré-avaliação – Passo 1) - 1. O que é calor? 2. O que é temperatura? 3. Qual a diferença entre calor e temperatura? 4. Como você explica o fenômeno de duas amostras de água, inicialmente a temperaturas diferentes, atingirem, após se misturarem, a mesma temperatura? 5. Quando estamos com frio, é comum aquecermos as mãos, atritando-as. Por que ao esfregar as mãos, elas aquecem? (SILVA, 2008, p. 241).

ANEXO B (Teorias rivais – Passo 2) - Registros históricos conduzem à conclusão de que duas principais teorias rivais influenciaram o entendimento humano sobre os conceitos de calor e temperatura nos últimos séculos. São elas: **Teoria do calórico** - Concebe o calor como um fluido invisível e sem peso, chamado calórico, que passa pelas partículas dos corpos em perfeita liberdade (DAMPIER, 1945, p. 266). Nessa teoria, quanto maior é a temperatura de um corpo, maior é a quantidade de calórico em seu interior (MÁXIMO & ALVARENGA, 2000, p. 117). A teoria é baseada em dois postulados: 1) O fluido calor (calórico) não pode ser criado ou destruído; 2) A quantidade do fluido calor transferido ou cedido de um corpo para outro é proporcional à sua massa e à variação de temperatura, e sempre transita no sentido do corpo mais quente para o mais frio. **Teoria cinético-molecular** - Os físicos que a elaboraram consideraram dois postulados: 1) A matéria no estado gasoso é formada de minúsculas partículas denominadas moléculas, com tamanho da ordem de 10^{-8} cm; 2) No estado gasoso, as moléculas estão em movimento aleatório ou desordenado. Inicialmente a teoria cinético-molecular procurava explicar a constituição da matéria no estado gasoso e como ela está organizada. Posteriormente, ela possibilitou compreender a organização da matéria nos estados líquido e sólido. Essa teoria interpreta o calor como a transferência de energia de um corpo para outro decorrente, exclusivamente, da diferença de temperatura entre eles. A teoria se fundamentou na ideia de que um corpo mais aquecido possui maior quantidade de energia interna, e não maior quantidade de calórico (MÁXIMO & ALVARENGA, 2000, p. 117). A variação da temperatura de um corpo é variação de sua energia térmica, que significa variação da energia cinética das moléculas (energia cinética de translação, energia de rotação, de vibração, etc) (DAMPIER, 1945, p. 119). Logo, quanto maior é a temperatura, maior é o nível de agitação das moléculas. (SILVA, 2008, p. 242).

Referências bibliográficas

DAMPIER, W. C. **História da Ciência – e das suas relações com a filosofia e a religião.** 2ª edição. Editorial Inquérito Limitada – Lisboa (1945).

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física/ volume 2.** 5ª edição. Editora Scipione (2000).

ANEXO C (Primeira avaliação – Passo 3) – 1. Quais são os postulados da teoria do calórico? 2. O que é calor e o que é temperatura nesta última teoria? 3. Quais são os postulados da teoria cinético-molecular? 4. O que é calor e o que é temperatura nesta última teoria? 5. Pelo que se discutiu em classe, quais são as explicações que cada uma dessas teorias fazem para o fenômeno de dois corpos a diferentes temperaturas atingirem, após um tempo de contato físico, a mesma temperatura? (SILVA, 2008, p. 243)

ANEXO D (Segunda avaliação – Passo 5) – Aqui adaptado de Silva (2008, p. 249), assim ficou estruturado: 1. O que é calor e o que é temperatura na teoria cinético-molecular? 2. Explique as questões pela teoria cinético-molecular: a) Por que ao se atritar dois materiais eles aquecem? b) Ao flexionarmos um pedaço de arame num certo ponto durante algum tempo, esse local se aquece, como você explica esse aquecimento? c) O fogo eleva a temperatura da água a um limite próximo dos 100°C que é seu ponto de ebulição. Como você explica essa energia por calor fornecida a essa mudança de fase pela teoria cinético-molecular e pela teoria do calórico? 3. Agora explique cada uma dessas questões acima, utilizando as suas ideias iniciais de calor e temperatura que apresentou na primeira avaliação. 4. Como você avalia as explicações que deu primeiramente por suas ideias iniciais e as explicações feitas pela teoria cinético-molecular?

APÊNDICE – Atividade com LEGO® robótica : “ at rit o ent re cint a e eixo met á lico g irante ”

Para esta atividade, o professor desafiou 3 grupos de alunos a construir um robô que girasse um eixo contendo um pequeno cilindro de ferro, adaptado pelo educador e que não pertence aos materiais do kit. Para isso, ainda foram necessários: um bloco NXT, dois motores, e jogo original de diversas peças (cinto, conectores, engrenagens, elementos de estrutura, vigas e eixos). A montagem final alcançada pelos alunos pode ser vista do lado esquerdo da figura 1 abaixo. Habilidades desenvolvidas: assim como as outras atividades, nesta o aluno é apresentado a um passo inicial de programação e verifica experimentalmente o aquecimento de uma peça por atrito (cilindro de ferro girante) com uma cinta metálica (folha de papel alumínio adaptada, segura pelos dedos). No lado direito da figura 1 é apresentada a tela de programação do Mindstorms NXT, que na resolução do problema os alunos utilizaram a ferramenta Mover para controlar os motores conectados ao bloco NXT. Como nessa atividade idealizaram-se dois motores (conectados às portas B e C do bloco) girando com a mesma velocidade, programou-se uma força proporcional a 100 e duração de 50 segundos, suficiente para posteriormente sentir, por toque manual, um pequeno aquecimento do cilindro metálico ora atritado com a cinta adaptada.

Figura 1 – Modelo de robô e programação.

