

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICAS
NÚCLEO PEDAGÓGICO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO-NPADC

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS NO ESTUDO DO CALOR

Autora: Elinete Oliveira Raposo Ribeiro
Orientador: Prof. Dr. Licurgo Peixoto de Brito

Belém, 2004.

Dissertação apresentada à Comissão Julgadora do Núcleo Pedagógico de Apoio ao Desenvolvimento Científico da Universidade Federal do Pará, sob a orientação do Professor Doutor Licurgo Peixoto Brito, como exigência parcial para a obtenção do título de MESTRE EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICAS, na área de concentração: Educação em Ciências.

*Aos meus pais Manoel e Maria Raposo pelo incentivo e apoio
incondicional.*

*Aos meus amores Evandro, Vitória e Caio Vinícius que
me fazem feliz.*

Muito obrigada

A **Deus**, a quem dada toda honra, toda glória e todo louvor.

Ao Prof. Dr. **Licurgo Peixoto Brito**, pela preciosa orientação, amizade e confiança.

A Prof^ª. Dr^ª. **Silvia Nogueira Chaves**, pelas valiosas sugestões durante a construção do trabalho.

Ao Prof. Dr. **Jerônimo Alves**, pela importante contribuição no momento da qualificação.

A Prof^ª. Dr^ª. **Terezinha Valim Oliver Gonçalves**, coordenadora do curso, pelo incentivo.

Aos **alunos** que participaram da pesquisa, pela indispensável colaboração neste trabalho.

Aos **amigos e amigas** do NPADC, que da forma direta ou indireta contribuíram durante esta pesquisa.

Aos meus **irmãos e sobrinhos** pelo incentivo que sempre me dedicaram.

Explicar, *explicare*, é despojar a realidade das aparências que a envolvem como véus a fim de que se possa vê-la nua e face a face.

Pierre Duhem

RESUMO

O propósito deste trabalho é identificar obstáculos epistemológicos no processo de construção de conceitos físicos relacionados ao calor, a partir da epistemologia de Gaston Bachelard. A pesquisa foi desenvolvida, tendo como público alvo, estudantes de terceira série no ensino médio de uma escola pública de Belém. Para a identificação de obstáculos epistemológicos, foi elaborado um questionário de respostas abertas, o qual foi aplicado, primeiramente em uma turma, objetivando a validação do instrumento de investigação. Esse teste orientou a reformulação do questionário para posterior aplicação em outras turmas. As respostas possibilitaram três diferentes estratégias de análise: na primeira focalizou a presença de obstáculos epistemológicos sem restringir alunos ou questões, a partir do qual foi identificada a presença de obstáculo substancialista, experiência primeira, conhecimento geral, verbal, realista e animista; a segunda foi orientada para detectar obstáculos epistemológicos revelados por cada estudante, em todo o conjunto de questões, onde foi verificada a presença de pelo menos um obstáculo epistemológico no conjunto de respostas de cada estudante; a terceira buscou relacionar cada questão (tópico) com os correspondentes obstáculos epistemológicos, onde foi verificado que os obstáculos da experiência primeira e substancialista estavam presentes em respostas de quase todos os tópicos abordados, e os obstáculos do conhecimento geral, verbal, realista e animista, estão presentes em menor frequência. Na tentativa de contribuir com a melhoria do Ensino de Física, o trabalho apresenta algumas sugestões aos professores, buscando a superação desses obstáculos pelos estudantes.

Palavras chaves: Ensino de Física, obstáculos epistemológicos, Gaston Bachelard, calor e temperatura.

ABSTRACT

The intention of this work is to identify epistemological obstacles in the process of construction of related physical concepts to the heat, from the epistemology of Gaston Bachelard. The research was developed, having as public target, students of third series in the average education of a public school of Belém. For the identification of epistemological obstacles, a questionnaire of opened answers was elaborated, which was applied, first in a group, objectifying the validation of the inquiry instrument. This test, guided the reformulation of the questionnaire for future application in other groups. The answers make possible three different strategies of analysis: in the first one it was focused presence of epistemological obstacles without restricting students or questions, from which it was identified the presence of substantiality obstacle, first experience, verbal, realistic and animistic common knowledge; second it was guided to detect epistemological obstacles disclosed by each student, in all the set of questions, where we verify the presence of at least one epistemological obstacle in the set of answers of each student; third it searched to relate each question (topical) with the corresponding epistemological obstacles, where we verify that the obstacles of the first and substantiality experience were present in answers of almost all the boarded topics, and the obstacles of, verbal, realistic and animistic the common knowledge, are present in lesser frequency. In the attempt to contribute with the improvement of Physic's Education, the work shows some suggestions to the theacher, searching the overcoming of these obstacles for the students.

Words keys: Physic's Education, epistemological obstacles, Gaston Bachelard, heat and temperature.

SUMÁRIO

RESUMO	07
ABSTRAT	08
1 POR QUE PESQUISAR SOBRE OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICO?	09
2 OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS: HISTÓRIA E ENSINO DE FÍSICA	12
2.1 O QUE SÃO OBSTÁCULOS PISTEMOLÓGICOS?.....	12
2.2 UM OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICO NA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE CALOR.....	13
3 O PROCESSO DE BUSCA DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS À CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS FÍSICOS RELACIONADOS AO CALOR	20
3.1 IDENTIFICAÇÃO DO PÚBLICO ALVO.....	20
3.2 A CONSTRUÇÃO O INSTRUMENTO DE INVESTIGAÇÃO.....	21
3.3 A VALIDAÇÃO DO INSTRUMENTO DE INVESTIGAÇÃO.....	23
3.4 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	26
4 FOI POSSÍVEL IDENTIFICAR OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS?.....	28
4.1 QUE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS FORAM IDENTIFICADOS?	29
4.2 QUANTOS ESTUDANTES APRESENTARAM OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS EM SUAS RESPOSTAS?	57
4.3 QUE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS FORAM IDENTIFICADOS EM CADA QUESTÃO?	61
.....	
5 SUPERANDO OS OBSTÁCULOS	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APENDICES	71

1. POR QUE PESQUISAR OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS?

Os fenômenos térmicos estão presentes de forma muito marcante no cotidiano das pessoas, possibilitando que busquem explicações para tais fenômenos, a partir de sensações e experiências de seu dia-a-dia.

Em nossa prática docente, percebemos que muitos estudantes, embora saibam conceituar calor e temperatura da forma cientificamente aceita, quando colocados em uma situação-problema, demonstram que estes conceitos não foram de fato compreendidos. Mesmo os estudantes que gostam de estudar Física, parecem apenas memorizar os conceitos repassados através dos manuais didáticos ou do professor. A partir desta observação, podemos supor a existência de algum tipo de dificuldade à construção dos conceitos relacionados a fenômenos térmicos, capaz de contribuir para aumentar a dificuldade de aprendizagem dos estudantes.

De modo análogo, Gaston Bachelard¹(1884-1962) identificou na história da Ciência, a presença de armadilhas e dificuldades a elaboração do pensamento científico, o qual denominou de obstáculos epistemológicos. Estes obstáculos são ditos epistemológicos, por estarem relacionados à construção do conhecimento científico.

¹ Filósofo francês, professor de Matemática, Física e Química, membro da Academia de Ciências Morais e Políticas da França, laureado com o Prêmio Nacional de Letras, autor de vasta e inovadora obra filosófica, e renomado professor de História e Filosofia da Ciência de Sorbone.

Vários trabalhos têm ratificado que os obstáculos epistemológicos estão presentes na construção do conhecimento, dificultando o processo de ensino-aprendizagem. Neste sentido, a partir dos obstáculos epistemológicos propostos por Bachelard, Lopes (1991) desenvolveu uma pesquisa identificando obstáculos animistas e realistas nos livros didáticos de química; Bittencourt (1998) analisou a utilização de obstáculos epistemológicos nas pesquisas em didática da matemática, confirmando a idéia de que a reflexão epistemológica pode contribuir para o desenvolvimento da didática; Santos (1991, p.137) estabeleceu uma relação entre os obstáculos epistemológicos e Concepções Alternativas “... *somos forçados a aceitar que as Concepções Alternativas podem ser olhadas a luz da epistemologia bachelardiana, como obstáculos epistemológicos, como barreiras internas do saber ao saber*”; Mortimer (2000) dedicou um capítulo da sua tese à análise da superação de obstáculos epistemológicos revelados por estudantes da oitava série do Ensino Fundamental na visão atomista da matéria.

Somos, portanto, levados a formular a hipótese de que o Ensino de Física não é exceção e que nele poderemos identificar obstáculos epistemológicos. Verificar esta hipótese foi o principal propósito deste trabalho, que possibilita contribuir para uma ação reflexiva dos professores em relação aos obstáculos epistemológicos observados nos alunos e que podem estar sendo reforçados pela prática docente, devido à metodologia utilizada.

Além dos trabalhos citados anteriormente, existem outros que têm como foco de análise, o ensino de conceitos relacionados a fenômenos térmicos. Assim, Lima e Barros (1997) desenvolveram uma proposta de ensino de calor e temperatura, baseado em *A Filosofia do Não* de Bachelard, em que o professor é orientado a elaborar um perfil epistemológico médio de sua turma, objetivando orientá-lo no planejamento e

desenvolvimento de atividades de ensino; Aguiar Jr (2001) desenvolve um planejamento de ensino, voltado para a promoção de mudanças cognitivas, a partir de um curso introdutório de calor e temperatura junto a estudantes da 8ª série do ensino fundamental; e Teixeira (1992), estuda a mudança conceitual sobre calor e temperatura em estudantes de ensino médio, quando submetidos a uma abordagem construtivista de ensino. Esses trabalhos, no entanto, não identificam os obstáculos epistemológicos à compreensão de conceitos físicos relacionados ao calor, presentes na concepção dos estudantes. A identificação desses obstáculos constitui a proposta desta dissertação.

Portanto, os principais objetivos deste trabalho são identificar a existência ou não de obstáculos epistemológicos à compreensão, de conceitos físicos relacionados ao calor, presentes na construção do conhecimento pelos estudantes, e classificar esses obstáculos, tendo como foco a categorização feita por Bachelard.

Apresentamos, primeiramente, o significado de obstáculos epistemológicos, segundo Bachelard, acompanhado por uma descrição de um obstáculo epistemológico na evolução histórica do conceito de calor. Em seguida, descrevemos o processo de busca desses obstáculos na construção do conhecimento por estudantes de Ensino Médio e apresentamos o processo de construção do instrumento de investigação utilizado a pesquisa. Posteriormente, analisamos as respostas do questionário e apresentamos os obstáculos epistemológicos que foram identificados. E por fim, apresentamos algumas reflexões que possam contribuir para ações dos professores no sentido de diminuir as dificuldades dos estudantes em compreender conceitos físicos e superar obstáculos epistemológicos à construção do conhecimento.

2. OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS: HISTÓRIA E ENSINO DE FÍSICA

Este capítulo aborda o conceito de Obstáculo Epistemológico segundo a concepção de Gaston Bachelard, e relata a sua presença na história e no Ensino de Física, a partir da evolução do conceito de calor.

2.1 O QUE SÃO OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS?

O processo de busca de conhecimentos científicos é fortemente orientado por experiências anteriores, crenças, e idéias pré-concebidas. O conhecimento anteriormente adquirido pode apresentar aspectos positivos, no sentido de facilitar a construção do conhecimento, assim como, aspectos negativos, podendo dificultar a compreensão de conceitos. Como destaca Oliva (2003, p.9), *antes de ter início o processo de busca de conhecimento, o filósofo e o cientista devem procurar identificar os possíveis entraves ao sucesso de seus empreendimentos.*

Na perspectiva de Bachelard, os conhecimentos do senso comum, podem vir a ser um obstáculo ao conhecimento cientificamente elaborado.

O conceito de obstáculos epistemológicos foi introduzido por Gaston Bachelard em 1938, em uma de suas obras mais importantes *La Formation de l'esprit scientifique:*

contribution à une psychanalyse de la connaissance, traduzida para o português em 1996. Nessa obra, Bachelard discute o significado de obstáculo epistemológico, classifica-os e cita exemplos ocorridos na história da construção do conhecimento científico. Além disso, faz uma análise crítica à educação e ao ensino de ciências.

Segundo Bachelard (1996, p.17), os obstáculos epistemológicos se apresentam no próprio ato de conhecer, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos, causando estagnação e até regressão. São, portanto, de natureza interna ao sujeito, e não à complexidade do fenômeno. Neste sentido, Santos (1991, p. 136) comenta.

É a estas resistências do pensamento ao pensamento que Bachelard chama de *obstáculos epistemológicos*. Eles são, diz, conhecimentos subjetivos, essencialmente de foro afetivo que entram o conhecimento objetivo. São geralmente anquilosantes porque bloqueiam o pensamento. Dizem respeito a aspectos intuitivos, imediatos e sensíveis.

Esses obstáculos, por dificultarem a construção do conhecimento pelo estudante, se constituem em obstáculos pedagógicos.

Isto sugere a necessidade de um estudo sobre a identificação de obstáculo epistemológico na concepção dos estudantes, contribuindo para a conscientização dos professores sobre a existência desses obstáculos, e assim, ele poder criar estratégias para a superação desses obstáculos. Neste sentido, esta pesquisa tem grande importância para desenvolver este reconhecimento por parte dos professores.

2.2 UM OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICO NA EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE CALOR

Ao longo da História, o domínio do fogo foi de extrema importância para a humanidade. Utilizando o fogo, os povos primitivos conseguiram cozinhar alimentos,

defender-se de animais selvagens, aquecer-se nas noites frias, e aprenderam a forjar os metais, fabricando instrumentos para as mais diversas finalidades. Apesar do fogo ser utilizado para todas essas finalidades, seu principal efeito - o calor - só veio a ser objeto de teorias científicas modernas a partir do séc. XVIII d.C com a *Teoria do Flogístico*.

Durante a evolução da ciência, houve dificuldade de se construir os conceitos de *calor* e *temperatura*, tanto que, segundo Osada (1972, p.31), até a idade Moderna não havia distinção entre esses conceitos. Outro equívoco da comunidade científica, naquela época, foi considerar que um corpo quente possuía mais calor do que um corpo frio.

O próprio conceito de temperatura era confuso. O tato se constituía no único recurso para identificar se um corpo estava quente ou frio. No entanto, sabemos que ele não é suficiente para descrever adequadamente a temperatura de um corpo, além de, sob certas circunstâncias, fornecer sensações térmicas diferentes de corpos que estejam à mesma temperatura. Por exemplo: quando pisamos descalços sobre um piso de lajota e logo em seguida sobre um piso de madeira, temos a sensação térmica de que a madeira está com a temperatura mais elevada do que a lajota, mesmo estando ambos à temperatura ambiente. Este fato é explicado pela diferença de condutividade térmica da madeira e da lajota. Pois a lajota conduz melhor o calor do que a madeira. Desta forma a energia térmica dos nossos pés é transmitida rapidamente para a lajota, nos dando a sensação de frio.

Com a construção do termoscópio (termômetro primitivo), por Galileu em 1593, foi possível comparar as temperaturas de dois corpos. O aparelho possuía um bulbo preenchido com ar, ligado a um tubo de vidro, semipreenchido com água, funcionava colocando-se o bulbo em contato com o corpo em que se queira medir a temperatura, até ser atingido o equilíbrio térmico, momento em que era observado o aumento ou diminuição do volume de ar. Porém, não havia precisão na medida da temperatura.

Apesar desses avanços, ainda não era aceita a distinção entre os conceitos de calor e de temperatura. Porém, quando utilizamos um termômetro para medir a temperatura de uma substância, ambos adquirem a mesma temperatura, ficando em equilíbrio térmico. Naquela época, imaginava-se que corpos em equilíbrio térmico possuíam a mesma quantidade de calor. Contudo, ao medir a temperatura do corpo humano, apesar do equilíbrio térmico, o corpo não poderia possuir a mesma quantidade de calor que o termômetro. Essa e outras anomalias² foram importantes para a distinção dos conceitos de calor e temperatura.

No século XVIII Joseph Black(1728-1799), professor de química e medicina, e pensador influente, apresentou importante contribuição para a superação das dificuldades relacionadas à distinção dos conceitos de calor e temperatura, como podemos perceber em suas palavras quando se refere em adotar ponto de vista muito apressado sobre o assunto:

É confundir a quantidade de calor em corpos diferentes com seu vigor ou intensidade gerais, embora seja manifesto trata-se de duas coisas diferentes, devendo ser sempre distinguidas, quando estamos considerando a distribuição do calor. (BLACK s/d, apud EINSTEIN & INFELD, 1976, p.41)

No entanto, Black não se preocupava em entender a natureza do calor, sua preocupação era descobrir uma forma de medir calor e seus efeitos. Propôs que a quantidade de calor deveria obedecer a uma lei de conservação. Desenvolveu o conceito de *capacidade térmica* a partir da seguinte experiência:

Colocados em um pequeno forno, durante o mesmo tempo, um disco de ferro e uma quantidade equivalente de água não sofrem aquecimento igual. Estando inicialmente à mesma temperatura, o ferro tem uma temperatura superior à da água após o aquecimento. Se a quantidade de calor recebida por ambos foi a mesma, seu efeito sobre a temperatura é diferente em cada material. Black chamou essa propriedade de “capacidade térmica” (QUADROS, 1996, p.45).

² Neste contexto, o significado de anomalia é utilizado segundo a concepção de Kuhn (2001), que entende por anomalia o reconhecimento de que, de alguma maneira, a natureza violou as expectativas de um paradigma, podendo gerar um estado de crise no paradigma vigente.

Cerca de cinquenta anos após Galileu ter construído o primeiro termômetro, este foi aperfeiçoado assumindo a forma atual, com maior precisão nas medidas de temperatura.

Com o desenvolvimento do termômetro, várias propriedades térmicas de materiais foram rapidamente esclarecidas, como por exemplo, o coeficiente de expansão térmica de vários líquidos por Halley (1656-1742), a relação entre a pressão e o ponto de ebulição por Boyle (1627-1691), entre outras.

Apesar desses avanços, no início do século XVIII, ainda existia a influência do *substancialismo* aristotélico. Aristóteles defendia que toda matéria seria composta por quadro elementos básicos, sendo eles a água, a terra, o fogo e o ar, que eram encontrados em diferentes proporções na natureza. Pensava-se em calor como o princípio ativo do fogo, e esta idéia permitiu que Stahl (1660-1734) imaginasse uma *substância*, que denominou de *flogístico*, responsável pelo calor. Esta concepção substancialista constituiu-se como um obstáculo epistemológico à evolução do conceito de calor, fazendo com que a medição de calor permanecesse bastante atrasada em comparação com a medição temperatura.

Para Bachelard (1996, p.27), o obstáculo substancialista é um dos obstáculos mais difíceis de ser superado, porque se apóia em uma fácil explicação das propriedades pela substância. Além disso, Bachelard associa o substancialismo ao pré-cientificismo:

Consideramos o substancialismo ingênuo como representando uma das características dominantes do espírito pré-científico e pareceu-nos ser este o primeiro obstáculo a eliminar quando se pretende desenvolver uma cultura objetiva (BACHELARD, 1988, p.51).

Para Rosa e Schnetzler (1998, s/d)

O substancialismo carrega idéias de que partículas possuem características físicas semelhantes a corpos materiais, como dilatação, fusão e ebulição. Essa concepção também abrange atributos de substâncias a formas de energia como calor.

Neste sentido, muitos fatos reforçavam a idéia de calor como fluido, contribuindo para que houvesse uma grande resistência pela comunidade científica de considerar como verdadeira a teoria cinética do calor. Segundo esta teoria, o calor é entendido como uma forma de energia associada ao movimento de vibração das moléculas do corpo. Essa energia flui naturalmente entre corpos com temperaturas diferentes.

Assim, a teoria do flogístico explicava a diminuição de massa, após a combustão de materiais como madeira e carvão, pela liberação de flogístico. Entretanto, no século XVIII os químicos haviam notado que certos metais, ao passarem pelo processo de combustão, aumentam sua massa, o que é contraditório com a teoria do flogístico. Contudo, Stahl explicava esta contradição dizendo que o flogístico, sendo muito leve, tenderia a ascender e levar consigo o material em que estava contido, portanto, quando o corpo perdesse flogístico, tornar-se-ia mais denso.

Por volta de 1774, Joseph Priestley (1733-1804), defensor da teoria do flogístico, descobriu o oxigênio. Esta descoberta permitiu a Laurent Lavoisier (1743-1794) demonstrar que o aumento de massa de alguns metais após a combustão não está relacionado à perda do flogístico, mas sim à absorção do oxigênio do ar. Com este resultado, a descoberta de Priestley acabou levando à derrubada da teoria que ele defendia. Então, Lavoisier enunciou a *Teoria do Calórico*, uma substância fluida, indestrutível, que “preenchia os poros” dos corpos, composta por partículas, destituídas de massa, que se escoavam dos corpos de maior temperatura para os de menor temperatura. A teoria dizia que o calórico poderia ser transferido de um corpo para outro, conservando a quantidade total de calórico.

A teoria do calórico foi muito importante para a evolução do estudo do calor, pois explicava satisfatoriamente, várias propriedades físicas dos materiais, como por exemplo, a

capacidade calorífica dos materiais descoberta por Black, considerando que substâncias diferentes atraíam o calórico com intensidades diferentes; as expansões térmicas, que eram explicadas por uma repulsão entre as partículas de calórico; a sua ausência de peso explicava por que o material não ficava mais pesado quando era aquecido. No entanto, a principal virtude da teoria do calórico foi estar associada a uma lei da conservação. Porém, percebemos a permanência da concepção de calor como substância.

Em 1798, Benjamin Thompson, o Conde de Rumford da Bavária (1753-1814), trabalhando em uma fábrica de canhões, notou que durante a perfuração de canhões por uma broca, o surgimento de uma grande quantidade de calor, necessitando que o canhão fosse continuamente resfriado com água corrente. Ele chegou à conclusão que este aquecimento não estava relacionado a uma perda de calórico, mas ao trabalho mecânico efetuado sobre os canhões. Thompson realizou uma série de experiências demonstrando que a fricção não modificava a capacidade calorífica do metal, o que contradizia a teoria do calórico.

James Prescott Joule (1818-1889) era fabricante de cerveja e cientista amador, Nussenzveig (1981, p.169) comenta que Joule, durante trinta anos, efetuou experiências para a obtenção do equivalente mecânico da caloria. Neste período, também realizou medidas precisas sobre a criação de calor por atrito, inventou uma máquina que ajudou a criar o conceito de energia potencial que posteriormente foi associado ao conceito de calor como forma de energia, mostrou que o calor criado em um circuito elétrico é proporcional à intensidade de corrente elétrica. Todas estas ações resultaram na confirmação das idéias de Thompson.

Em 1840, o médico Julius Mayer (1814-1878), trabalhava em um navio, observou que o sangue das veias dos marinheiros europeus estava muito vermelho devido a forte

presença de oxigênio. Mayer comparou o corpo humano a uma máquina térmica, concluindo que em lugares quentes, a troca de calor entre o ambiente e o corpo humano é pequena, fazendo com que o organismo produza pouco calor para manter constante a temperatura do corpo, necessitando de pouco oxigênio para realizar a combustão dos alimentos. Essas evidências levaram Mayer a relacionar o calor liberado pelo corpo com a energia produzida pela combustão dos alimentos, reforçando a idéia de calor como forma de energia.

A teoria mecânica do calor foi enunciada pela primeira vez em 1842, por Mayer, para quem calor e trabalho eram equivalentes e talvez pudessem converter-se um no outro. A teoria do calórico ainda permaneceu até 1860, confirmando a necessidade de um grande período de tempo para a comunidade científica pudesse superar o *obstáculo substancialista* que dificultou o desenvolvimento de estudos relacionados ao calor.

A concepção substancialista é tão forte que, ainda hoje, descreve-se calor fazendo-se uma analogia com água escoando de um nível mais alto para o nível mais baixo, até que se atinja o mesmo nível de água, da mesma forma, em que o calor escoar de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura, até que se atinja o equilíbrio térmico. Este tipo de analogia reforça ainda mais a idéia de calor como substância, dificultando a compreensão de calor como energia. É a expressão clara do obstáculo substancialista categorizado por Bachelard.

Além do obstáculo substancialista, Bachelard identificou outros obstáculos epistemológicos ao conhecimento científico: *experiência primeira, conhecimento geral, verbal, conhecimento unitário e pragmático, realista, animista, libido, conhecimento quantitativo*. Estes serão apresentaremos mais adiante neste trabalho.

3. O PROCESSO DE BUSCA DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS À CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS FÍSICOS RELACIONADOS AO CALOR

Este capítulo descreve a metodologia utilizada no processo de busca de obstáculos à construção dos conceitos físicos relacionados ao calor. Primeiramente, identificamos o público alvo da pesquisa, em seguida descrevemos as etapas da elaboração do questionário (instrumento utilizado para a investigação), destacando o processo de validação desse instrumento e a sua aplicação.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DO PÚBLICO ALVO

Desenvolvemos esta pesquisa, tendo como público alvo, estudantes da terceira série do ensino médio de uma escola da rede pública federal, localizada em um bairro na periferia da cidade de Belém-PA. Esta escola recebe uma população heterogênea de alunos, contemplando estudantes carentes, moradores das proximidades da escola, e estudantes de classe média, filhos de professores e funcionários da Universidade Federal de Pará, moradores de diversos bairros de Belém. A escola é campo de pesquisa em educação e estágio de formação docente. Desta forma, seus alunos costumam participar de

projetos de ensino e pesquisa, como alvo de investigação. Este fato motivou a escolha da escola para o desenvolvimento da pesquisa e facilitou sua execução.

Escolhemos a terceira série do Ensino Médio por que, neste nível, os estudantes já passaram pelo processo formal de ensino-aprendizagem dos conceitos físicos relacionados ao calor, já que estes assuntos são trabalhados na segunda série do Ensino Médio e até mesmo no Ensino Fundamental. A presença de obstáculos epistemológicos nas respostas dos estudantes significa que estes obstáculos estão presentes com tal intensidade que processo formal de ensino não foi suficiente para superá-los.

Em 2003, ano em que foram coletadas as informações desta pesquisa, a escola possuía quatro turmas de terceira série no Ensino Médio. Todas as turmas participaram da pesquisa, sendo que uma turma, com 23 estudantes, participou da validação do questionário e as outras três turmas, com o total de 63 estudantes, participaram da coleta das informações utilizadas nesta pesquisa.

3.2 A CONSTRUÇÃO DO INSTRUMENTO DE INVESTIGAÇÃO

Utilizamos o questionário como instrumento de investigação, visando alcançar os objetivos propostos pela pesquisa citados na página 11.

A seleção dos tópicos para a composição do questionário foi feita a partir dos seguintes elementos:

- Obstáculos epistemológicos – A partir do estudo dos obstáculos epistemológicos propostos por Bachelard, escolhemos os tópicos tentando revelar o maior número possível de obstáculos epistemológicos.

- A história da evolução do conceito de calor – Percebendo a existência de obstáculo substancialista na história da evolução do conceito de calor, buscamos selecionar tópicos possíveis de verificar se esse obstáculo histórico se reproduz ainda hoje na construção do conhecimento pelo estudante.
- A nossa experiência docente – Percebemos que ao avaliar o aprendizado de determinados tópicos do conteúdo, os alunos revelam recorrentemente determinadas idéias não aceitas cientificamente. O que nos conduz à hipótese de haver obstáculos epistemológicos associados a esses tópicos.

Assim, o questionário contemplou os seguintes tópicos voltados para a identificação de obstáculos epistemológicos:

- A natureza do calor.
- Condutividade térmica.
- Fonte de calor.
- Calor latente – energia envolvida durante a mudança de fase.
- Capacidade térmica.
- Dilatação térmica.
- Sentido do fluxo de energia térmica nas trocas de calor.
- Processo de combustão³.

³ O processo de combustão, mesmo sendo um processo químico, foi muito importante para a evolução do conceito de calor, conforme foi apresentado no capítulo 2.

Elaboramos o questionário com dez questões de respostas abertas (APENDICE 1). As questões de respostas abertas permitem ao aluno expressar toda e qualquer idéia que ele tenha sobre o assunto, evitando assim, o risco de direcionarmos as respostas a idéias pré-concebidas por nós.

Construímos a Tabela 1, que relaciona os tópicos abordados em cada questão e os possíveis obstáculos a serem identificados, objetivando melhor clareza na visualização dos objetivos do questionário.

Tabela 1 - Tópicos abordados em cada questão e possíveis obstáculos a serem identificados

<i>Questões</i>	<i>Tópicos Questionados</i>	<i>Possíveis Obstáculos</i>
01	Sentido do fluxo de energia térmica	Experiência primeira
02	Dilatação térmica.	Realista
03	Condutividade térmica.	Experiência primeira
04	Natureza do Calor	Substancialista
05	Natureza do Calor/Sentido do fluxo de energia térmica.	Experiência primeira
06	Capacidade térmica	Verbal
07	Calor latente	Conhecimento geral
08	Fonte de calor	Verbal
09	Natureza do calor	Substancialista
10	Processo de combustão	Substancialista

3.3 A VALIDAÇÃO DO INSTRUMENTO DE INVESTIGAÇÃO

Concordamos com Bisquerra (2000, p.91), quando afirma que a validação do instrumento de pesquisa é um dos aspectos mais importantes para saber se o instrumento atende aos objetivos pretendidos. Assim, primeiramente construímos uma versão

preliminar do questionário, com onze questões, e aplicamos a uma turma da terceira série do ensino médio da mesma escola em que a versão definitiva do instrumento viria a ser aplicada. A validação do questionário contou com um total de vinte e três estudantes que o responderam de forma espontânea, em cerca de uma hora.

Após a aplicação do questionário, fizemos a tabulação das respostas, classificando-as em categorias e identificando os obstáculos revelados. Posteriormente, analisamos todas as respostas, para verificar se as questões estavam suficientemente compreensíveis e se possibilitavam a identificação de obstáculos epistemológicos, alcançando, portanto, os objetivos a que se destinam as questões propostas. Esse conjunto de informações foi organizado em uma tabela que facilitou a análise das respostas. A seguir apresentaremos os resultados dessa análise.

Apesar do questionário ter revelado que as questões tinham condições de indicar a presença de obstáculos epistemológicos, alguns ajustes ainda foram necessários. Pois, a falta de clareza no enunciado de algumas questões, resultou em um grande número de respostas em branco. Por exemplo, na primeira questão, a palavra *sentido*, estava dificultando o entendimento dos alunos, como podemos verificar na resposta de ASB⁴.

01) Observe a cena abaixo e responda qual o sentido da troca de energia existente ao colocarmos uma garrafa dentro da geladeira?



O SENTIDO DISTO É QUE A
GARRA ~~QUA~~ PERDE ~~TEM~~ CALOR
TENDE UMA MUDANÇA EM SEU ES-
TADO NORMAL

⁴ Para preservar a identidade dos estudantes que participaram da pesquisa, eles foram identificados por meio das iniciais de seus nomes.

Nesta questão a palavra *sentido* foi empregada para verificar se o estudante admite que a energia térmica se propaga do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura, porém, por esta palavra ser muito usada em nosso cotidiano para representar o ponto de vista ou convicção de uma pessoa, mais de 36% dos estudantes atribuíram estes significados a esta palavra, como podemos perceber na resposta acima.

Após a reformulação do questionário, esta confusão não ocorreu em nenhuma das respostas da primeira questão, o que confirma a importância da validação para a melhoria do instrumento de investigação.

Também podemos perceber a contribuição da validação do instrumento, quando comparamos os resultados obtidos a partir das duas versões do questionário, na questão que tem o propósito de investigar a presença de obstáculo epistemológico verbal dificultando a compreensão do conceito de capacidade térmica.

Assim, no questionário preliminar, temos o seguinte enunciado:

Considerando-se dois recipientes, o primeiro contendo um bloco de ferro, de massa 1kg, o segundo contendo 1kg de água, ambos a temperatura ambiente. Expondo os recipientes à mesma chama de gás, percebe-se que após dois minutos o bloco de ferro atinge uma temperatura quase insuportável de tocar diretamente com as mãos, enquanto a água ainda está morna. Como você explica esta situação?

Nesta situação, em cerca de 10% das respostas foi identificada a presença do obstáculo substancialista, o qual não esperávamos que fosse identificado com esta questão, (ver Tabela 1). Além disso, contrariando as nossas expectativas, não foi revelada a presença de obstáculo verbal. Isso ocorreu certamente, porque a expressão *capacidade térmica* não esteve presente no enunciado. Portanto, percebemos a necessidade de modificar o enunciado da questão. Assim, com a nova redação da questão no questionário

definitivo (APENDICE 1), além de identificarmos o obstáculo substancialista, também foi identificada a presença de obstáculo verbal em aproximadamente 20% das respostas.

Outra modificação realizada no questionário foi a retirada de uma questão que julgamos ser desnecessária, pois, se referia ao mesmo tópico e possuía os mesmos objetivos de outra.

Estes exemplos mostram que na versão final do questionário, as questões foram melhor compreendidas do que na versão preliminar e ratifica a necessidade dos testes de validação do instrumento de coleta de dados.

3.4 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

A aplicação do questionário foi precedida por uma orientação. Fizemos oralmente algumas considerações aos estudantes, acerca da importância da pesquisa e sua contribuição para a melhoria da qualidade do Ensino de Física. Estas considerações objetivaram sensibilizar os estudantes, incentivando a sua participação e seriedade nas respostas. Em seguida, distribuímos uma carta de agradecimento a cada estudantes, garantindo que seu nome seria preservado. A carta está presente no APENDICE 2 deste trabalho. A colaboração dos estudantes foi espontânea e não houve dúvidas por parte dos estudantes em relação às questões. Essa preparação foi feita tanto na etapa de validação do questionário como em sua versão final.

A versão final do questionário foi aplicada a 63 estudantes de três turmas da terceira série do ensino médio, na mesma escola em que foi aplicado o questionário

utilizado na validação, porém, em turmas diferentes das que haviam colaborado no primeiro momento.

Durante a aplicação do questionário, os estudantes permaneceram serenos e dispostos a responder o questionário. Em nenhum momento nos pediram esclarecimentos, ajuda a colegas de classe ou recorreram aos livros didáticos, o que reforça o comportamento esperado por nós, no momento da escolha da escola campo da pesquisa.

A aplicação do questionário durou cerca de uma hora, sendo que, após vinte minutos do início da aplicação, os primeiros estudantes concluíram sua resolução.

A análise foi realizada a partir das respostas da versão final do questionário. O próximo capítulo descreve o processo de análise e os resultados observados.

4. FOI POSSÍVEL IDENTIFICAR OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS?

Com as informações adquiridas a partir a aplicação da versão final do questionário, construímos a Tabela 4 (APENDICE 3), que relaciona as questões (colunas) com as respostas dos estudantes (linhas), tendo o cuidado de transcrevê-las na íntegra. De posse dos resultados organizados nesta tabela, foi possível desenvolver três estratégias de análise:

Estratégia 1 – Análise geral – Buscamos observar a ocorrência de obstáculos em toda a extensão da Tabela 4, utilizando um código de cores, em que cada tipo de obstáculo foi destacado com uma determinada cor. Nesta etapa não houve restrições de análise por alunos ou por questões.

Estratégia 2 – Análise por estudante - Buscamos identificar obstáculos epistemológicos revelados por cada estudante, fazendo-se, portanto a análise do conjunto de respostas de cada linha da tabela.

Estratégia 3 – Análise por questão – Focaliza a presença de obstáculos em cada questão. Neste caso, a análise foi feita para o conjunto de respostas de cada coluna da tabela.

Ressaltamos que ao identificar obstáculos epistemológicos revelados nas respostas dos estudantes, consideramos apenas as respostas em que era forte a presença de obstáculo

epistemológico, desconsiderando as respostas em que sua presença era duvidosa. Na seção 4.3 descreveremos com mais detalhes o processo de identificação de obstáculos epistemológico.

Essa análise, por meio das três estratégias citadas, revelou diversos obstáculos epistemológicos, demonstrado assim que, apesar do processo formal de ensino, as idéias pré-concebidas persistem.

Cada uma das seções seguintes apresentará uma das estratégias de análise e os respectivos resultados observados.

4.1 QUE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS FORAM IDENTIFICADOS?

Apresentamos aqui os resultados obtidos a partir da primeira estratégia de análise. Nesta etapa, vários obstáculos epistemológicos foram identificados nas respostas dos estudantes. Destacaremos algumas dessas respostas agrupadas por tipo de obstáculo revelado.

Obstáculo Substancialista

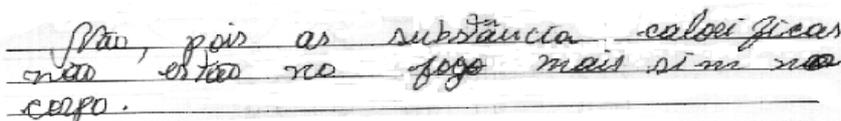
10) Stahl observou experimentalmente que alguns metais ao passarem pelo processo de combustão aumentam de massa. Ele explicou tal situação pelo fato de durante a combustão os metais liberam substância caloríficas presente no fogo, sendo esta substância muito leve, que tende a subir e levar consigo o corpo que o contém, porém, quando o corpo perde esta substância, perde o princípio de ascensão, tornado-se mais denso. Você concorda com este argumento? Justifique.

Sim, pelo fato de não apresentar mais a substância que lhe tornava leve, então prejudica a subida.

(EAC)

Esperava-se que com base no conceito de calor como energia em trânsito, os estudantes discordassem do argumento de Stahl, mesmo que não propusessem a explicação atualmente aceita, ou seja, que os metais aumentam de massa durante a combustão devido à absorção de oxigênio, no entanto, a exemplo de EAC, mais de 20%⁵ dos estudantes concordaram com o argumento substancialista.

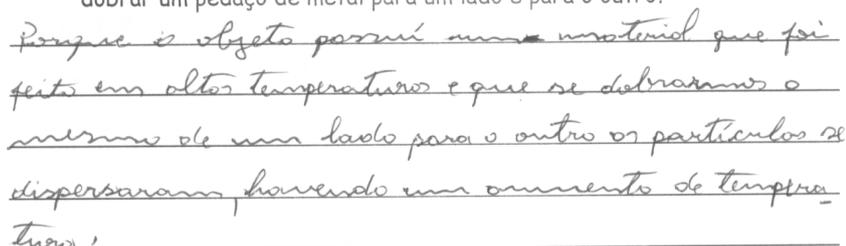
Além disso, mesmo entre os estudantes que discordaram do argumento de Stahl, alguns apresentam a concepção substancialista de calor, como podemos verificar na resposta de TCAS para a questão 10.



Não, pois as substância calorifica não estão no fogo mais si no no corpo.

Também podemos observar que na resposta seguinte, WFS está considerando que o metal, por ser produzido em altas temperaturas, absorve uma grande quantidade de calor, que é liberado quando o dobramos, o que pode estar revelando também a concepção substancialista.

04) Como você pode explicar o aumento de temperatura que acontece ao se dobrar um pedaço de metal para um lado e para o outro?



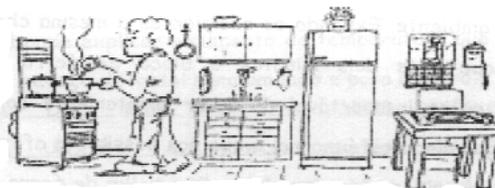
Porque o objeto possui um material que foi feito em altas temperaturas e que se dobramos o mesmo de um lado para o outro os partículas se dispersaram, havendo um aumento de temperatura.

Na oitava questão, vários estudantes (20%) responderam que materiais como roupas, móveis de madeira, fósforo e o gás são fontes de calor, como se o calor fosse uma

⁵ Os valores percentuais citados neste texto servem apenas para informar a ordem de grandeza do número de respostas com determinadas características. No entanto, não pretendemos dar ênfase à análise dos referidos valores, preferindo manter destaque nos aspectos qualitativos das respostas.

substância que estivesse contida nesses materiais. Nesse contexto, destacamos a resposta de RSS.

08) Observe a cena abaixo e identifique qual ou quais a(s) fonte(s) de calor está(ão) presente(s).



O gás juntamente com o instrumento o qual a pessoa utilizou para acender o fogo, as roupas e os sapatos da pessoa.

Da mesma forma, na quinta questão, alguns estudantes (10%) responderam que casacos e cobertores são capazes de aquecer, como podemos verificar na resposta de RSS.

05) Em cidades em que o inverno é rigoroso, é comum ver as pessoas utilizarem casacos e cobertores de lã para se manterem aquecidos. Que explicação você pode dar para este fato?



que a lã por ser um material opaco, transmite calor e diminui o contato do corpo com o meio, aquecendo assim as pessoas que usam casacos e cobertores de lã.

E ainda, na quinta questão, alguns estudantes responderam que o casaco armazena calor ou não permite que o calor escape, conforme a resposta de MMC e KFA citadas a seguir.

A aplicação resume-se
no fato de obtenção de
calor, ou seja, os corpos
e os combustíveis de lá
armazenam calor.

MMC

Porque a lâ mantém o calor preso
no seu corpo, não deixa que ele escape
para o meio.

KFA

Em todas estas questões existe algo em comum, a interpretação de calor como uma substância que enche os corpos. Esta forma de pensar caracteriza a presença do **obstáculo substancialista**, que é muito resistente a mudanças e atribui qualidades substancialistas a formas de energia como calor. Na seção 2.2 deste trabalho, verificamos que este obstáculo dificultou bastante o progresso do pensamento científico na construção do conceito de calor, estando presente desde a teoria do *flogístico* até a teoria do *calórico* e atualmente, apesar da concepção de calor como forma de energia, o substancialismo ainda persiste como modo de pensar dos estudantes.

Além dos exemplos citados anteriormente, percebemos que muitos estudantes consideram a necessidade de um contato físico para que o calor seja transmitido de um corpo para um outro, não considerando o que no processo de propagação de calor por irradiação o calor se propaga através de ondas eletromagnéticas, não necessitando de um contato físico. Assim, destacamos as respostas de DM e DFC, respectivamente.

03) Como pode ser explicado o fato de sentirmos um piso de ladrilhos mais frio do que um piso de madeira, conforme está ilustrado no quadro abaixo?



O piso de ladrilhos por ser mais frio, apresenta temperatura baixa. Pois o ladrilho tem o contato direto com o solo e já o piso de madeira fica longe do solo, que chega a ter uma temperatura mais elevada.

07) Verifica-se experimentalmente que durante a mudança de estado físico a temperatura de substâncias puras permanece constante, pergunta-se: há troca de energia durante a mudança de estado físico de uma substância? Explique:

Sim, porque elas entram em contato com as outras durante todo o processo o que faz com que fiquem trocando de energia ao longo do tempo.

Nestes casos, acreditamos que a necessidade, que os estudantes sentem, de atribuir a propagação de calor a um contato físico entre os corpos esteja relacionada a uma concepção substancialista, que considera que o calor escoa de um corpo para o outro através de um contato entre os corpos. Contudo, sabemos que nos processos formais de ensino, a propagação de calor por irradiação, a qual não necessita da presença de um meio material entre os corpos, é exaustivamente discutida e explorada em exercícios e textos.

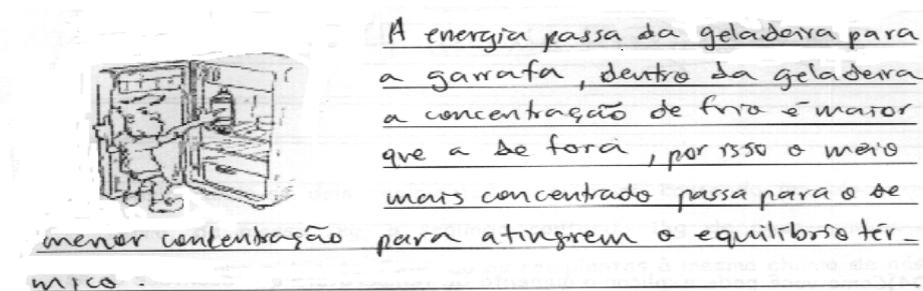
Portanto, o obstáculo substancialista, além de ter estado presente no desenvolvimento da teoria do calor, também está presente na construção do conhecimento pelos estudantes, indicando que a interpretação de calor como substância é muito resistente

a mudanças e difícil de ser superado, pois explica superficialmente, porém de forma suficientemente satisfatória os fenômenos relacionados a trocas de calor, dispensando questionamentos.

Experiência Primeira

Observamos a resposta de LALS à primeira questão:

- 01) Corpos com diferentes temperaturas trocam de energia entre si, de modo que um transfere energia para o outro. Observe a cena abaixo em que uma garrafa, à temperatura ambiente, é colocada dentro da geladeira. Nesta situação a energia passa da garrafa para a geladeira ou da geladeira para a garrafa?



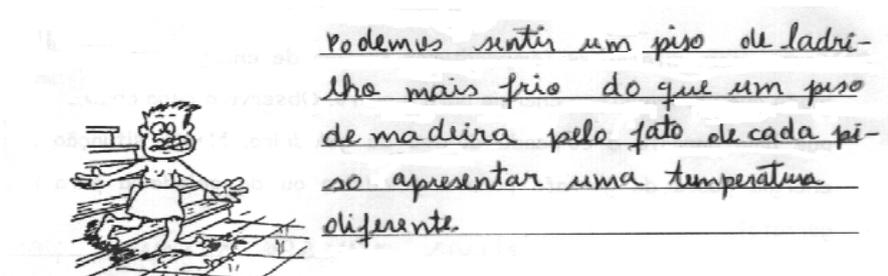
Ao considerar que a energia passa da geladeira para a garrafa, LALS está sendo orientado por experiências do senso comum. O mesmo, podemos perceber na resposta do estudante AV:

Nesta situação a energia passa da geladeira para a garrafa, tanto que a água da garrafa fica na temperatura equivalente a temperatura da geladeira.

Esta forma de pensar desconsidera que o sentido da troca de energia térmica é dado do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, e corresponde a mais de 50% das respostas à primeira questão.

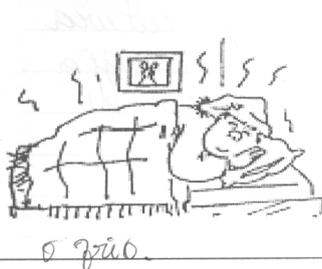
Outro registro importante é que muitos estudantes identificam diferenças de temperaturas orientados exclusivamente por sensações táteis. Neste sentido, consideram haver diferença entre a temperatura de uma escada de madeira e a temperatura de um piso lajota, estando ambos no mesmo ambiente, conforme podemos verificar na resposta de CQ.

03) Como pode ser explicado o fato de sentirmos um piso de lajota mais frio do que um piso de madeira, conforme está ilustrado no quadro abaixo?



Nessa mesma linha de respostas orientadas pelo senso comum identificamos diversas citações do frio como grandeza física. Essa idéia foi revelada em 16% das respostas da quinta questão. Muitos estudantes acreditam que os agasalhos absorvem o frio, ou impedem que o frio entre em contato com a pessoa. Estas situações podem ser identificadas nas seguintes respostas:

05) Em cidades em que o inverno é rigoroso, é comum ver as pessoas utilizarem casacos e cobertores de lã para se manterem aquecidos. Que explicação você pode dar para este fato?



O casaco de lã é utilizado com a intenção de manter a temperatura normal do corpo, pois a cobertura absorve o frio.

TCAS.



É que os casacos e cobertores de lã, impedem a passagem do frio, para a pele, assim esses cobertores em contato com a pele não fornecem calor, como se pensa por aí, mais sim impedem a passagem do frio, dando a impressão de transmitirem o calor.

PPCF

O casacos e cobertores de lã, são materiais quentes que suportam o frio e por isso que as pessoas utilizam.

DM

Além destas, destacamos a concepção de frio como grandeza física presente em outras questões:

07) Verifica-se experimentalmente que durante a mudança de estado físico a temperatura de substâncias puras permanece constante, pergunta-se: há troca de energia durante a mudança de estado físico de uma substância? Explique:

Há, dependendo se está favorecido o frio ou o calor o sistema pode ser endotérmico ou exotérmico.

LALS

09) Observe a charge abaixo e responda. Com qual(is) das personagens você concorda? Justifique.



R = É uma troca entre meio frio e quente até que se estabeleça um equilíbrio.

LS

Todas estas respostas estão fortemente orientadas pelo pensamento do senso comum, que possui grande valor psicológico, tornando-se difícil de ser superado. Assim, podemos observar com bastante clareza a presença do obstáculo da **experiência primeira** ratificando as idéias bachelardianas e a importância atribuída por ele a este obstáculo, como um grande dificultador da compreensão do conhecimento científico, como podemos verificar em suas palavras: *Na formação do espírito científico, o primeiro obstáculo a ser superado é a experiência primeira* (BACHELARD, 1996, p.29).

Este obstáculo está relacionado ao grande desejo de ser considerado verdadeiro o conhecimento anteriormente adquirido, sem que este conhecimento seja criticado. Ele também está relacionado à dificuldade em abandonar o pitoresco da observação dos fenômenos, dificultando a compreensão de seus conceitos.

Para Santos (1991, p.139), a experiência primeira.

É a experiência situada antes e acima da crítica, que capta o imediato, o subjetivo, que tem dificuldade de abandonar o pitoresco da observação, que subordina a prática científica ao efeito inibidor das imagens, que dá grande atenção ao que é natural, que aborda fenômenos complexos como se fossem doutrinas fáceis, que tem a marca de um empirismo evidente.

Bachelard (1996, p.36) faz o seguinte comentário acerca da experiência primeira.

O fato de oferecer uma satisfação imediata à curiosidade, de multiplicar as situações de curiosidade, em vez de benefício pode ser um obstáculo para a cultura científica. Substitui-se o conhecimento pela admiração, as idéias pelas imagens.

Este tipo de obstáculo pode ter sido adquirido pelo estudante, a partir de aulas experimentais, através de programas de televisão ou por experiências vividas em seu dia-a-dia. Por exemplo, é comum, pessoas relacionarem a velocidade de queda livre de um corpo com a sua massa, descrevendo que quanto maior a massa do corpo maior será a sua velocidade, contradizendo as explicações cientificamente aceitas, que a velocidade de queda dos corpos independem da sua massa

Consideramos que as idéias de frio como grandeza física, de identificação de temperatura apenas pela sensação tátil e outros norteados pelo senso comum, conforme destacamos com as respostas citadas nesta análise, revelam o obstáculo da experiência primeira.

Conhecimento Geral

A generalização também esteve presente nas respostas dos estudantes em algumas questões. Por exemplo, ao se perguntar se há troca de energia durante uma mudança de estado físico de uma substância pura, identificamos três grupos de respostas:

- 1) os estudantes admitem haver troca de energia durante a mudança de estado físico, mesmo não havendo mudança de temperatura (46 % dos estudantes);
- 2) admitem haver troca de energia durante a mudança de estado físico, vinculada a uma variação de temperatura (cerca de 15% das respostas);
- 3) os estudantes não admitem troca de energia durante a mudança de estado físico (em torno de 16 %).

O primeiro grupo revela o conhecimento cientificamente aceito, registrado por uma quantidade significativa de estudantes – quase a metade. Por outro lado, os grupos 2 e 3 revelam a vinculação entre troca de energia e variação de temperatura, em duas diferentes versões. Portanto, mais de 30% das respostas estão nessa categoria.

As respostas de PLBS e RRR, respectivamente, representam as respostas do segundo grupo.

07) Verifica-se experimentalmente que durante a mudança de estado físico a temperatura de substâncias puras permanece constante, pergunta-se: há troca de energia durante a mudança de estado físico de uma substância? Explique:

Há, pois estamos fazendo uma mudança logo em seguida vamos perceber a mudança de temperatura no nosso meio.

Sim, pois qualquer substância ao mudar de estado físico consequentemente passará por uma variação em sua temperatura.

A resposta de TCAS, a seguir, representa as idéias do terceiro grupo.

Não há, pois se a temperatura continua constante, logo a energia também, não ocorrendo trocas de energia.

Esta relação entre troca de calor e variação de temperatura surge também na nona questão:

09) Observe a charge abaixo e responda. Com qual(is) das personagens você concorda? Justifique.



Eu concordo com a personagem que disse que calor é um processo, porque calor é a energia necessária para mudar a temperatura de uma matéria.

(NSS)

Assim, através do questionário foi possível identificar as seguintes generalizações inadequadas nas respostas de muitos estudantes:

1. Todo corpo ao trocar calor varia de temperatura.
2. Durante a mudança de estado físico o corpo nunca troca de energia.

Contudo, sabemos que quando uma substância pura muda de estado físico absorve ou cede calor, sem que ocorra mudança em sua temperatura. Por exemplo, o calor absorvido pela água durante a ebulição é inteiramente consumido para quebrar as ligações entre as moléculas, que passam ao estado de vapor, não havendo possibilidade de aumentar a temperatura.

Estas generalizações caracterizam a presença de um obstáculo epistemológico que Bachelard denominou de **conhecimento geral**. Por parecerem tão evidentes e satisfatórias,

as generalizações dificultam o avanço do raciocínio dos estudantes em busca de aprofundamentos.

Para Bachelard (1996), as grandes generalizações são fatores que têm prejudicado grandemente o progresso da ciência. Elas estiveram muito presentes no período compreendido entre Aristóteles e Bacon, mais muitos ainda a consideram uma doutrina fundamental do saber.

Santos (1991, p.138) faz as seguintes considerações acerca do conhecimento geral:

É um conhecimento vago que imobiliza o pensamento. Fornece respostas demasiadamente vagas, fixas, seguras e gerais a qualquer questionamento. Dá confirmações fáceis a hipóteses imediatas.

Neste sentido, a doutrina do geral está fundamentada em propor um caráter geral a uma situação de observação natural, dando respostas rápidas e vagas para todos os questionamentos, para solucionar as questões de forma simples e com pensamento indutivo, resultando, muitas vezes, em generalizações mal realizadas, o que dificulta a construção do conhecimento científico.

Para Santos (1991, p.139), na prática pedagógica, a idéia do geral aparece imediatamente adaptada à idéia do comum, fornecendo a mesma resposta a todas as questões. Um exemplo de uma grande generalização da Física é considerar como fundamento da óptica que *todos os raios luminosos propagam-se em linha reta*, esta explicação não considera que a trajetória da luz pode ser alterada ao passar próxima de um corpo com grande massa, como o sol. Esta mudança de trajetória foi verificada durante um eclipse solar em 1919, na cidade de Sobral, no Ceará, quando uma expedição de físicos pôde verificar a consequência da Teoria da Relatividade Geral apresentada por Einstein em 1916.

Portanto, certas generalizações dificultam a construção do conhecimento não apenas por propor idéias vagas como também por desenvolver idéias errôneas de certos fenômenos físicos.

Nesta perspectiva, embora este obstáculo não tenha sido tão freqüente nas respostas dos estudantes quanto o obstáculo da experiência primeira (ver Tabela 2 que será apresentada na próxima seção), sua presença provocou uma interpretação ingênua do processo de mudanças de fase, possibilitando a estes estudantes a formulação das generalizações 1 e 2 anteriormente apresentadas.

Obstáculo Verbal

As situações propostas para serem analisadas pelos alunos permitiram a livre manifestação na aplicação dos conceitos e princípios. Evitamos desta forma fazer referências a termos ou expressões que os remetessem a “frases feitas” ou a sentenças memorizadas que nem sempre revelam aprendizagem. A questão seis, transcrita a seguir, demonstra essa estratégia.

06) Considerando-se dois recipientes, o primeiro contendo um bloco de ferro, de massa 1kg, o segundo contendo 1kg de água, ambos a temperatura ambiente. Expondo os recipientes à mesma chama de gás, percebe-se que após dois minutos o bloco de ferro atinge uma temperatura quase insuportável de tocar diretamente com as mãos, enquanto a água ainda está morna, o que nos possibilita afirmar que 1kg de água tem capacidade térmica maior do que 1kg de ferro. Qual o significado de capacidade térmica?

Após a leitura, o estudante terá condições de formular um conceito de *capacidade térmica*, independentemente do conhecimento prévio de seu significado.

Apesar desse cuidado na elaboração do questionário, algumas respostas revelam dificuldades dos estudantes:

capacidade térmica significa a quantidade de calor que um objeto ou um corpo pode armazenar

MMC

É a grandeza que mede a capacidade que um corpo tem de acumular calor.

MMM

Nestas respostas, identificamos que a palavra *capacidade térmica*⁶ contribui para a formação de uma interpretação substancialista de calor, pois pode levar a idéia errônea de que é possível encher um corpo de calor. Este pensamento corresponde à cerca de 18% das respostas à sexta questão.

Além da palavra *capacidade térmica*, existem muitas outras em que é atribuído um poder exagerado de explicação; é o caso da palavra esponja, relacionada à dissolução do ar em água ou para exemplificar fenômenos elétricos, como foi analisado por Bachelard (1996); a palavra vida, sendo relacionado ao movimento; a palavra alimentação, relacionada ao consumo de energia, entre outras. Neste caso, estas palavras são consideradas obstáculos à construção do conhecimento, caracterizando o **obstáculo verbal**.

⁶ Um corpo possui maior capacidade térmica do que outro, quando, na presença de uma fonte de calor, leva maior tempo para atingir uma determinada temperatura, enquanto que o corpo de menor capacidade térmica, na presença da mesma fonte de calor, aumenta rapidamente sua temperatura.

Este obstáculo está relacionado ao caso de uma palavra constituir toda a explicação, podendo até representar uma imagem, de forma tão evidente que não se percebe a necessidade de explicá-la.

Bachelard (1996, p.27) define este obstáculo como

a falsa explicação obtida com a ajuda de uma palavra explicativa, nessa estranha inversão que pretende desenvolver o pensamento ao analisar um conceito, em vez de inserir um conceito particular numa síntese racional.

Santos (1991, p.140) faz a seguinte consideração acerca do obstáculo verbal.

Também em situações pedagógicas há palavras que, dizendo respeito a uma linguagem aprendida em um contexto não científico e com conotações divergentes ou com uma significação simbólica para o sujeito, constituem barreiras ao ensino formal das ciências. Geralmente estas palavras são profundamente radicadas na afetividade do aluno pelo que este lhe atribui uma valorização abusiva.

Palavras com múltiplos significados podem constituir obstáculo epistemológico. Por exemplo, a palavra *calor*, utilizada por pessoas que tenham ou não formação científica, para representar um desconforto relacionado à situação climática. Não é nenhuma ingenuidade falar “estou com calor”, em lugar de “estou recebendo energia térmica do meio”⁷, pois a primeira forma de falar já está incorporada em nossa cultura.

A forma “estou com calor” remete a um conceito não científico de calor. Neste sentido, Mortimer (2000, p.60-61) comenta que:

Suprimir essas “concepções alternativas”, no entanto, significa suprimir o pensamento do senso comum e o seu modo de expressão, a linguagem cotidiana. Uma expectativa irreal e inútil. A linguagem cotidiana é o modo mais abrangente de se compartilhar significados e permite a comunicação entre os vários grupos especializados dentro de uma mesma língua. Suprimi-la seria instaurar uma babel, impedindo que diferentes grupos pudessem compartilhar de significados numa mesma cultura.

⁷ As expressões “estou com calor” e “estou recebendo energia térmica do meio” têm significados equivalentes

No entanto, esta concepção alternativa de calor pode ser considerada um obstáculo quando uma pessoa a considera o conceito de calor exclusivamente como situação climática, sendo capaz de inventar a grandeza física *frio* em oposição ao calor, como descrevemos ao apresentar o obstáculo da experiência primeira.

Destacando concepções alternativas ao conceito de calor, as respostas à nona questão do questionário nos permitiram identificar várias formas de conceituar de calor, entre estas, verificamos que aproximadamente 10% dos estudantes que participaram da pesquisa, descrevem calor sendo exclusivamente uma condição climática, como podemos perceber na resposta de TMT.

09) Observe a charge abaixo e responda. Com qual(is) das personagens você concorda? Justifique.



Concordo com "É quando o dia está quente", pois calor é a mudança de temperatura.

Como destaca Mortimer (2000, p.65), *há vários autores que admitem explicitamente a possibilidade de que as idéias prévias dos alunos possam sobreviver ao processo de ensino-aprendizagem.*

Nesta perspectiva, uma pessoa pode adquirir capacidade de distinguir o uso cotidiano da palavra *calor* do conceito cientificamente mais coerente desta palavra,

havendo dois significados para um único conceito (calor), sendo cada um desses conceitos utilizado no contexto apropriado.

Há também os que conseguem ajustar a concepção científica a concepções alternativas. A partir das respostas da nona questão identificamos que cerca de 3% dos estudantes que participaram da pesquisa, compartilham o pensamento do senso comum com uma concepção cientificamente coerente, como verificamos na resposta de JRMT.

*Concordo com as frases "É uma troca",
"É um processo" e "É quando o dia está quente"
pois está relacionado tanto com a ati-
vidade física, como expressões do ambiente.*

O obstáculo verbal também está relacionado ao uso de metáforas, imagens e analogias, como destaca Santos (1991, p.141).

O obstáculo verbal está relacionado com o uso desajustado de imagens, analogias e metáforas, quando na prática pedagógica, tendem a reforçar e/ou a fazer regredir concepções alternativas radicadas no imaginário infantil.

Contudo, é importante considerar que o uso de imagens, analogias e metáforas representa um papel importante na prática pedagógica, pois, facilita a compreensão de conceitos abstratos tornando-os didaticamente mais acessíveis aos estudantes, por isso, quanto mais abstrato é o conceito em questão, maior é a necessidade de utilização metáforas e analogias como estratégia didática.

Neste sentido, Lopes (1996, p.263) comenta que

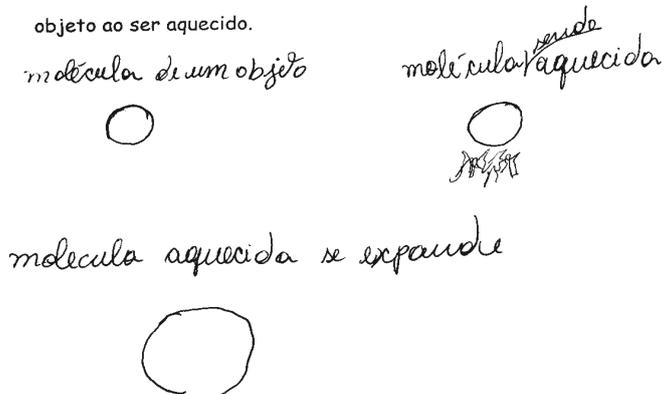
Não podemos, contudo, considerar que Bachelard defende a impossibilidade de utilização de metáforas e imagens. [...] Temos que entender as imagens como uma instituição de meios matemáticos de compreensão racional das leis e não como afirmação dogmática da realidade. [...] Conhecemos com a razão e as imagens devem ser entendidas como modelos de raciocínio, nunca reflexos do real.

Assim, ao fazer uso desses recursos, devemos ter o cuidado de fazê-lo de forma adequada para que não prejudique a compreensão dos conceitos por parte dos estudantes.

Obstáculo Realista

A diversidade de situações apresentadas aos estudantes que participaram da pesquisa nos permitiu identificar vários obstáculos epistemológicos. A segunda questão, por exemplo, pede para que os estudantes descrevam o que acontece microscopicamente com as moléculas de um corpo durante o processo de dilatação. Mais de 20% dos estudantes apresentam respostas do tipo:

- 02) Todos os corpos sólidos, líquidos ou gasosos, quando aquecidos se dilatam, ou seja, aumentam de volume. Descreva (com desenho e/ou palavras), o que acontece microscopicamente com as moléculas de um objeto ao ser aquecido.



TCAS

o que acontece microscopicamente com as moléculas de um objeto ao ser aquecido é que elas fletsem e aumentam de tamanho, por isso o objeto dilata.

LLB

Nestas respostas, percebemos a tentativa do estudante de explicar a dilatação dos corpos através do aumento de volume de suas moléculas. Essa explicação é, certamente, mais próxima de suas vivências, consideradas por eles como reais, apesar de ser diferente da explicação cientificamente aceita, a qual a dilatação corresponde à alteração de tamanho de um corpo produzida por uma variação de temperatura, assim, com o aumento de temperatura, aumenta proporcionalmente o espaçamento interatômico médio.

De forma similar, a quarta questão, que pede para ser explicado o aumento de temperatura que acontece em uma barra de metal ao ser dobrada, muitos estudantes (17%) atribuíram o aumento de temperatura ao atrito entre as moléculas. Como podemos verificar nas respostas de KNNC e SFA.

04) Como você pode explicar o aumento de temperatura que acontece ao se dobrar um pedaço de metal para um lado e para o outro?

é atrito causado com o movimento que
é o metal

Pode-se explicar através do atrito que
é feito entre as duas partes do metal
para poder dobrá-lo.

Sendo o atrito um conceito presente em experiências cotidianas, mesmo das pessoas que não possuem nenhuma escolaridade, o estudante tenta explicar fenômenos microscópicos baseando-se no que está acostumado a experimentar em seu mundo macroscópico. Note-se que esse procedimento é semelhante ao que comentamos sobre as respostas de TCAS e LLB, anteriormente apresentadas.

Outro grupo de respostas desta natureza pode ser observado nas respostas à décima questão, que explora o aumento de massa que acontece com alguns metais ao passarem pelo processo de combustão. Neste caso, alguns estudantes (13%) atribuíram o aumento de massa à dilatação térmica, como podemos verificar na resposta de KNNC.

10) Stahl observou experimentalmente que alguns metais ao passarem pelo processo de combustão aumentam de massa. Ele explicou tal situação pelo fato de durante a combustão os metais liberam substância caloríficas presente no fogo, sendo esta substância muito leve, que tende a subir e levar consigo o corpo que o contém, porém, quando o corpo perde esta substância, perde o princípio de ascensão, tornado-se mais denso. Você concorda com este argumento? Justifique.

Não, a massa dos metais aumentam por que ocorre dilatação térmica com o aumento de temperatura

A resposta de KNNC revela um vínculo entre os conceitos de massa e volume, baseado no senso comum, expresso por: *maior tamanho, mais pesado*.

Desta forma, podemos verificar um aspecto comum entre os três grupos de respostas citadas: a supervalorização dos objetos e das impressões táteis e visuais com que estes são percebidos, caracterizando a presença de **obstáculo realista**. Para os realistas, saber descrever um objeto é suficiente para conhecê-lo, considerando suas características superficiais como o próprio conhecimento. O realista é capaz de construir a ciência do geral, apoiando-se em analogias e generalizações entre o macro e o micro.

Para Bachelard (1996, p.27), *o realismo é uma metafísica infecunda, já que susta a investigação, em vez de provocá-la*. Para ele

O realismo pode, com justa razão, ser considerado como única filosofia inata, o que, a nosso ver, não é uma razão a favor. Para bem julgá-lo é preciso inclusive ultrapassar o plano intelectual e compreender que a substância de um objeto é considerada um bem pessoal. (BACHELARD, 1983, p.155).

É interessante notar que os estudantes que apresentaram estes níveis de respostas utilizam o realismo, fazendo analogias entre o macroscópico e o microscópico, atribuindo qualidades macroscópicas às moléculas. Provavelmente estes estudantes não consideram as partículas elementares como modelo, atribuindo-lhes a condição de real. Este nível de respostas também foi identificado por Mortimer (2000) em estudantes da oitava série do Ensino Fundamental, ao analisar os perfis conceituais de átomo e de estado físico da matéria.

Obstáculo Animista

Na história da ciência, principalmente no período pré-científico, era comum o emprego de propriedades vitais aos fenômenos físicos, o que muitas vezes dificultava a compreensão destes fenômenos. Assim, fenômenos como atração e repulsão dos corpos, associados à eletricidade e ao magnetismo, tendiam ser explicado por um princípio vital.

Ainda hoje, alguns estudantes atribuem qualidades de seres vivos a fenômenos físicos. Assim, verificamos em respostas da segunda questão, que alguns estudantes (5%) dos estudantes consideram a dilatação como a multiplicação das moléculas, como revelam as respostas:

02) Todos os corpos sólidos, líquidos ou gasosos, quando aquecidos se dilatam, ou seja, aumentam de volume. Descreva (com desenho e/ou palavras), o que acontece microscopicamente com as moléculas de um objeto ao ser aquecido.

As moléculas quando aquecidas
entram em vibração e portanto a se multiplicam
dentro de um recipiente fechado. Com o aumento
de um líquido e com isso aumentando também o calor

DFC

R= Elas aumentam de quantidade.

LFS

As moléculas se multiplicam

RRR

Identificamos então a reprodução - característica de seres vivos – como justificativa para o fenômeno físico da dilatação.

Também destacamos a resposta de TMT à terceira questão:

03) Como pode ser explicado o fato de sentirmos um piso de ladrilhos mais frio do que um piso de madeira, conforme está ilustrado no quadro abaixo?



O fato de sentirmos um piso de ladrilhos mais frio do que um piso de madeira porque a temperatura dos dois é diferente. O piso de madeira é mais quente porque transpira a calor a um objeto que entra em contato com

de.

Nesta resposta percebemos quase uma intencionalidade da madeira em transpirar calor, sendo atribuído uma qualidade de seres vivos (transpiração) à madeira.

Nesses dois grupos de respostas, percebemos a atribuição de vida a moléculas e a madeira, caracterizando a presença de **obstáculo animista**. Este obstáculo tem por

finalidade atribuir características vitais a seres inanimados, com o ingênuo objetivo de tornar o conhecimento mais inteligível.

Bachelard (1996) dedica um capítulo de seu livro a apresentação do obstáculo animista presente no fenômeno da digestão.

Para Santos (1991, p.143), o obstáculo animista

traduz-se numa tendência para, de um modo ingênuo, animar, atribuir vida e, muitas vezes, propriedades antropomórficas a objetos inanimados. Para os animistas, a vida marca as substâncias que anima de um valor indiscutido.

Na prática pedagógica, o animismo está muito presente na tentativa inconseqüente de seduzir e motivar o estudante à compreensão do fenômeno que está sendo estudado, muitas vezes podendo se tornar um obstáculo à compreensão deste fenômeno.

Lopes (1991, p.257), analisando livros didáticos de química, comenta sobre o animismo:

À medida que a abstração aumenta, exageradamente pela entrada dos conteúdos da atomística mais moderna, a busca do real é mais forte. O professor quer tornar os conceitos mais acessíveis aos alunos, nem que para isso tenha de distorcê-los a ponto de nada mais terem em comum com a ciência. Com os recursos anímicos, exatamente pela ponte que permitem construir entre o conhecimento do aluno e o conhecimento científico torna-se mais fácil a operacionalização dos conceitos, sem nenhuma necessidade de entendimento.

É comum a afinidade eletrônica entre os átomos de hidrogênio e de oxigênio⁸, quando estes formam a água, ser apresentada pelos professores e manuais didáticos como uma afinidade afetiva, como se o oxigênio “gostasse” do hidrogênio. Este é um exemplo de animismo, introduzido pelo professor ou pelo livro, que poderia gerar algum obstáculo à construção de conhecimentos.

⁸ Esta afinidade eletrônica se dá pela grande capacidade do oxigênio em atrair elétrons.

Apesar do obstáculo animista não ter sido muito freqüente nas respostas dos estudantes, sua presença revela que embora o estudante já tenha passado pelo processo formal do estudo de calor, este obstáculo não foi superado.

Existem Outros Obstáculos Epistemológicos?

Além dos obstáculos epistemológicos identificados no questionário, Bachelard (1996) descreve outros:

Conhecimento Unitário e Pragmático.

Este conhecimento torna-se um obstáculo epistemológico a medida em que procura apresentar um caráter utilitário de um fenômeno como forma de explicação do próprio fenômeno. Para Bachelard (1996, p.115) *Encontrar uma utilidade é encontrar uma razão.*

Muitas vezes esta forma de pensar é responsável por grandes generalizações. Neste sentido, Santos (1991, p.142-143) comenta que:

Em pedagogia, constatamos que parece claro aos alunos que, quando se referem a aspectos utilitários dos conceitos, como por exemplo: “a fotossíntese é a função que purifica o ar que nós respiramos” ou, “o ar é o sopro da vida”, isso basta para definir os conceitos. Frequentemente são os adultos que reforçam tais representações pragmáticas ao darem razões utilitárias em respostas aos muitos porquês da criança quando “na idade dos porquês”. Por exemplo, quando a criança pergunta “porque é que a mosca tem asas?” o adulto responde: “para poder voar”.

No Ensino de Física, é comum quando os alunos perguntam “o que é energia?” os professores respondem referindo-se a aspectos utilitários do conceito como: serve para fazer um motor funcionar ou fazer uma lâmpada acender.

O uso de características utilitárias como forma de explicação de conceitos torna-se uma barreira à construção do conhecimento na medida em que desestimula a investigação do próprio conceito.

Obstáculo da Libido e o Conhecimento Objetivo.

Para Bachelard (1996, p.225), à libido correspondem os longos pensamentos, os projetos em longo prazo, a paciência; ela quer a duração. *Tudo que dura em nós, direta ou indiretamente, liga-se a libido. Ela é o próprio princípio da valorização do tempo.*

Uma psicanálise completa do inconsciente científico deveria empreender um estudo dos sentimentos inspirados pela libido, em particular a vontade de poder, sobre as coisas, que em toda sua plenitude é uma vontade de dominar aos homens. (IRUSTA, s/d, tradução nossa).

Bachelard (1996) dedica um capítulo ao estudo da libido e o conhecimento objetivo, discute o excesso da libido presente no pensamento dos alquimistas; relata que as longas manipulações para se conseguir a pedra filosofal valorizam a busca, pois o tempo deve estar inserido na obra.

Bachelard (idem, p.240) afirma que no Ensino de Química, na reação entre ácido e base, a maioria dos alunos atribui o papel ativo ao ácido e o passivo a base, considerando o ácido masculino e a base feminina.

Conhecimento Quantitativo.

Este obstáculo corresponde tanto a um matematismo demasiadamente vago, quanto ao matematismo demasiadamente preciso.

Medir um objeto fixo e bem determinado utilizando um instrumento grosseiro é tão falso quanto medir exageradamente uma grandeza indeterminada. A precisão de uma medida deve corresponder com as condições de permanência do objeto medido, a margem de erros dessa medida e o conhecimento das realidades de escala ao passar de uma ordem de grandeza para outra.

Para Bachelard (1996, p.261), *o excesso de precisão, no reino da quantidade, corresponde exatamente ao excesso de pitoresco, no reino da qualidade*. Ele argumenta que:

A objetividade é afirmada aquém da medida, enquanto método discursivo, e não além da medida, enquanto intuição direta de um objeto. É preciso refletir para medir, em vez de medir para refletir. Quem quiser fazer a metafísica dos métodos de mensuração deve dirigir-se ao cristianismo, e não ao realismo. (idem, p.262)

Uma questão de mensuração que dificultou o desenvolvimento científico por algum tempo foi o determinismo da física clássica de Newton, que considerava possível a determinação da posição e velocidade simultaneamente de qualquer corpo ou partícula, inclusive o elétron. Este pensamento tornou-se um obstáculo à aceitação da mecânica quântica, quando Heisenberg postulou o princípio da incerteza, em que afirmou ser impossível medir com precisão, no mesmo instante, a posição e a velocidade de uma partícula.

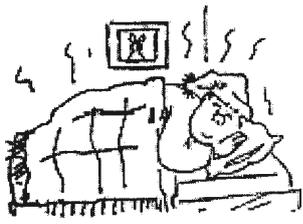
O conhecimento quantitativo é mais evidente como obstáculo nas ciências humanas e sociais do que nas ciências naturais.

4.2 QUANTOS ESTUDANTES APRESENTARAM OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS EM SUAS RESPOSTAS?

Nesta seção, apresentaremos a segunda estratégia de análise. Esta estratégia consiste em identificar obstáculos epistemológicos revelados por cada estudante, fazendo-se, portanto a análise do conjunto de respostas de cada linha da Tabela 4 (ANEXO 3).

Conforme enfatizamos anteriormente, ao identificar os obstáculos epistemológicos revelados nas respostas dos estudantes, tivemos o cuidado de considerar apenas as respostas em que era forte a presença de obstáculo epistemológico. Portanto, desconsideramos as respostas em que era duvidosa a presença de obstáculos. Por exemplo:

05) Em cidades em que o inverno é rigoroso, é comum ver as pessoas utilizarem casacos e cobertores de lã para se manterem aquecidos. Que explicação você pode dar para este fato?



A explicação que podemos dar para este fato, é que os cobertores mantem a nossa temperatura aquecida, pois os cobertores não folita a saída de temperatura ao meio ambiente.

RMT

Que estes objetos são feitos pa
ra que as pessoas não percam
temperatura para o meio.

WFS

Nestas respostas, a palavra temperatura está presente com o mesmo significado da palavra calor. Esta confusão de conceitos pode estar caracterizando a presença de obstáculo verbal, porém, decidimos não classificar como obstáculo por não estar muito claro nas respostas, a concepção do estudante sobre calor e sobre temperatura.

A partir das respostas ao questionário (Tabela 4) e considerando a análise, apresentada acima, construímos a Tabela 2 (a seguir), identificando os obstáculos apresentados por cada estudante, e a frequência com que este obstáculo está presente.

A análise dessa tabela questionário nos permitiu verificar que no universo de 63 estudantes, todos apresentaram pelo menos um obstáculo epistemológico. Isto reforça a idéia inicial que nos motivou a proposta desta pesquisa, ou seja, apesar do desenvolvimento formal de conceitos científicos na escola, o senso comum e vivências mal orientadas geram dificuldades ao processo ensino-aprendizagem.

Considerando que a construção da Tabela 2 foi feita com base apenas em obstáculos claramente identificado por nós, passamos à observação das quantidades de obstáculos epistemológicos revelados por estudantes:

- Cerca de 22% dos estudantes revelaram apenas um obstáculo epistemológico em suas respostas;
- 27% dos estudantes revelaram dois obstáculos epistemológicos em suas respostas;
- 28,5% dos estudantes revelaram três obstáculos epistemológicos em suas respostas;
- quase 16% dos estudantes revelaram quatro obstáculos epistemológicos em suas respostas; e

- mais de 6% dos estudantes revelaram cinco obstáculos epistemológicos em suas respostas

Destes dados destacamos que a maior incidência percentual (28,5%) ocorreu sobre estudantes que revelaram três obstáculos epistemológicos. Além disso, houve maior concentração de estudantes que apresentaram menos do que três obstáculos (22% - um obstáculo e 27% - dois obstáculos) do que alunos que revelaram mais de três obstáculos (16% - quatro obstáculos e 6% - cinco obstáculos). Esta assimetria mostra que a maior parte dos estudantes apresenta poucos obstáculos epistemológicos a serem superados quanto a conceitos físicos relacionados ao calor.

Tabela 2 – Quantidade de obstáculos epistemológicos identificados, classificados por alunos e por tipo de obstáculo.

Estudante	Subst.	Exp. 1ª	C. geral	Verbal	Realista	Animista	freg de obst.	Nº de obst.
LALS	1	2					3	2
ACOM	1	2	1	1			5	4
MMC	3			1	1		5	3
PPCF	1	3	1	2			7	4
IC	1	1		1			3	3
SST		2					2	1
AL		1					1	1
ADSS		2			1		3	2
STO	2	1	1		1		5	4
MMM	1	1		1			3	3
LS		1		1			2	2
KNNC	1	1	1	1	2		6	5
AAR	1	1	1	1			4	4
MNM	2	1		1			4	3
KFA	1						1	1
PCN	1	1			1		3	3
LFSB					1		1	1
RMH	1	1					2	2
EB	1	2	1		1		5	4
RRM	2	1			2		5	3
DSO		1					1	1
CARN	3	2	2	1			8	4
CPA	1			1			2	2
PLBS	2	1	1	2	1		7	5
TAF	1						1	1
ACPC	2	3		2			7	3
LFS		2			1	1	4	3
TCAS	3	1	1		2		7	4
LP	1	2			1		4	3
NSS		1	1				2	2
EEC		1					1	1
EAC	3	1	1				5	3
SCA					2		2	1
JMM					1		1	1
JCSAJ	3						3	1
NAE		1			1		2	2
MCSCF	2	1					3	2
TCM	1	2					3	2
RFC	3	1		1	1		6	4
CQ	1	2					3	2
JRMT		1	1	1	1		4	4
DM	2	3			1		6	3
RRR	2		1	1	1	1	6	5
SMA	1	1					2	2
RR	1	2					3	2
TMT	2	2	1	2		1	8	5
SFA	2	2			3		7	3
BES		1					1	1
LLB		2	1		1		4	3
FBD					1		1	1
CNMA	1		1				2	2
DFC	1	3			1	1	6	4
AALN			1				1	1
DM		1	1		1		3	3
RSS	3	1			2		6	3
JAFR		1	2		1		4	3
NBDS	1	1			2		4	3
APV	2	3			1		6	3
AV	1	1			1		3	3
AVS	1		1				2	2
WFS	3	2					5	2
VVO		1			1		2	2
WB		1					1	1
total obst	69	75	22	21	38	4	229	
n alunos	42	50	20	17	30	4	63	

Analisados os obstáculos epistemológicos mais frequentes entre os estudantes, identificamos que em aproximadamente 80% dos estudantes foi revelada a presença de obstáculo da experiência primeira, e, em 65% dos estudantes apresentaram obstáculo substancialista em suas respostas. O fato de a experiência primeira ter superado o substancialista por um lado surpreende, uma vez que na história da evolução do conceito de calor o obstáculo substancialista esteve presente de forma intensa, com destacamos na seção 2.2 deste trabalho. Por outro lado, reforça a opinião de Bachelard (1996) que afirma ser a experiência primeira muito difícil de superar e o primeiro que deve ser superado nas atividades de ensino-aprendizagem.

Estes resultados superaram nossa expectativa, pois, os estudantes que participaram desta pesquisa, já estudaram os conceitos de calor e temperatura na educação formal, na oitava série do Ensino Fundamental e na segunda série do Ensino Médio, indicando que embora tenham passado pelo processo formal de estudo de calor, os obstáculos epistemológicos ainda estão presentes na concepção de estudantes para a interpretação destes conceitos.

4.3 QUE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS FORAM IDENTIFICADOS EM CADA QUESTÃO?

Para responder esta pergunta, construímos a Tabela 5 (APENDICE 4), indicando as categorias de respostas presentes em cada questão, indicando o número de alunos cujas respostas pertencem a cada categoria e os obstáculos identificados em cada questão. As categorias de respostas foram por nós definidas a partir de respostas que apresentavam idéias semelhantes com diferenças apenas de forma de expressão. Como exemplo:

As moléculas de um objeto ao ser aquecidas elas se dilatam, ou seja, a temperatura e dilatação são grandezas diretamente proporcionais.

MMC

As moléculas de um objeto ao ser aquecidas vão se dilatar, ou seja, vão aumentar de volume.

EB

A este estilo de respostas categorizamos como: *As moléculas aumentam de volume*

Da mesma forma, em respostas do tipo:

Podemos sentir um piso de ladrilho mais frio do que um piso de madeira pelo fato de cada piso apresentar uma temperatura diferente.

CQ

Devido a diferença de temperatura que há entre os pisos.

ACOM

Respostas deste nível foram categorizadas como: *O ladrilho e a madeira têm temperaturas diferentes.*

Esta estratégia de análise nos permitiu construir a Tabela 3, relacionando cada questão com os obstáculos identificados através de suas respostas e a quantidade desses obstáculos.

Tabela 3 – Quantidade de obstáculos epistemológicos identificados, classificados por questão e por tipo de obstáculo.

	Subst	exp 1 ^a	geral	verbal	realista	animista	freq. de obst.	nº de obst.
Q1	2	42					44	2
Q2					19	3	22	2
Q3	5	21				1	27	3
Q4	7			1	12		20	3
Q5	12	10		1			23	3
Q6	10			13			23	2
Q7	2	1	19				22	3
Q8	12						12	1
Q9	2	1	3	6			12	4
Q10	17				7		24	2
Total	69	75	22	21	38	4	229	

Esta tabela nos permitiu verificar que toda as questões possibilitaram a identificação de obstáculos epistemológicos. Além disso, quando comparamos com a Tabela 1 (ver página 23), é possível verificar que cada questão, além de possibilitar a identificação do obstáculo epistemológico, a que se destinou a elaboração da questão, também possibilitou a identificação de outros obstáculos. Por exemplo, primeira questão, além de verificar a presença de obstáculo da experiência primeira, que esteve presente em mais de 66% das respostas desta questão, também possibilitou identificar a presença de obstáculo substancialista e a nona questão, além de identificar a presença de obstáculo substancialista, também identificou a presença de obstáculos da experiência primeira, geral e verbal. Note-se ainda que a maioria das questões (elaboradas para revelar apenas um obstáculo) possibilitou a identificação de pelo menos três obstáculos epistemológicos. Isto pode levantar uma série de questionamentos sobre a inter-relação entre os obstáculos epistemológicos de Bachelard e a falta de conhecimento que temos deles. Porém, uma vez que o nosso objetivo nesta pesquisa foi a identificação de obstáculos epistemológicos, deixamos as questões ora levantadas para futuras pesquisas.

Apesar de nenhuma questão ter previsto a identificação de obstáculo animista, este tipo de obstáculo esteve presente em respostas da segunda e da terceira questão. Isto pode demonstrar a intensidade desse obstáculo e a característica favorável do instrumento de coleta de dados que, pela sua forma aberta, possibilitou a liberdade de expressão dos estudantes. Finalmente verificamos que, em um universo de 630 respostas (63 estudantes x 10 questões), 229 obstáculos epistemológicos foram identificados. Acrescente-se a esse dado à informação de que algumas respostas continham indicações de mais de um obstáculo (ver Tabela 4 do APENDICE 3). Este resultado nos leva a concluir, mais uma vez, que o número de obstáculos revelados pelos estudantes supera nossas expectativas, principalmente por os estudantes que participaram da pesquisa estarem na última série do Ensino Médio, conforme já evidenciamos.

5. SUPERANDO OS OBSTÁCULOS

Obstáculos ao conhecimento(episteme) já eram reconhecidos por pensadores do período Socrático. Segundo Oliva (2003, p.9).

Desde Sócrates empregam-se técnicas de demolições de falsas crenças e de desnudamento de formas viciosas e falaciosas de raciocínio. Antes de ter início o processo de busca de conhecimento, o filósofo e o cientista devem procurar identificar os possíveis entraves ao sucesso de seus empreendimentos.

Da mesma forma, Francis Bacon (1561-1626) *acreditava que, com o afastamento liminar dos idola, dos pré-conceitos, seria possível realizar a observação pura e neutra* (OLIVA: idem).

Entretanto, não existem regras pré-estabelecidas para superar esses obstáculos, e, por estar enraizado no inconsciente humano, o obstáculo é algo cuja presença ou ressurgimento permeia a atividade investigativa (OLIVEIRA, 2000, p.68).

Para superar os obstáculos epistemológicos presentes na concepção dos estudantes, deve-se identificar a sua presença na construção do conhecimento que está sendo trabalhado.

Após identificar os obstáculos, o professor deverá verificar as suas possíveis causas. Este processo poderá ser mais ou menos complexo, dependendo do tipo de obstáculo identificado.

É importante lembrar que, por exemplo, no caso do obstáculo verbal, a linguagem utilizada pelo professor, em algumas situações, pode estar reforçando este obstáculo para o estudante. Como vimos, a palavra capacidade térmica é um obstáculo à compreensão ao conceito de calor, devido à interpretação substancialista que esta palavra pode sugerir. Portanto, o professor deverá estar atento às limitações desta expressão.

Da mesma forma, o uso de figuras e analogias pode introduzir uma concepção animista das propriedades físicas. Neste caso, o professor deverá explicar que as figuras e analogias são apenas recursos didáticos ilustrativos e não representam adequadamente a realidade.

O obstáculo da experiência primeira, além de ser orientado pelo pensamento do senso comum, também é reforçado pelo grande entusiasmo diante de uma atividade experimental. Neste sentido, durante as aulas práticas de Física, muitas vezes o colorido e o pitoresco de experiência, seduzem os alunos antes que eles consigam extrair o abstrato do concreto, fazendo com que eles tenham grandes dificuldades de abandonar o pitoresco da observação primeira. Por exemplo, durante uma atividade experimental sobre dilatação dos sólidos, podemos observar que o aquecimento ou resfriamento de um fio metálico provoca uma alteração em seu comprimento. Uma demonstração pode ser feita a partir da montagem de um circuito elétrico onde se utiliza a chama de uma vela para dilatar um pedaço de fio de cobre fechando o circuito e assim acender uma lâmpada. Para compreender este experimento o aluno precisa ter conhecimento de circuitos elétricos, caso contrário ele pode concluir que a lâmpada acendeu devido exclusivamente ao calor fornecido pela vela. O pitoresco do experimento é muito marcante, mas se não estiver bem acompanhado da teoria, pode levar o aluno a conclusões inadequadas.

Neste sentido Bachelard (1996, p.50) comenta que

No ensino elementar, as experiências muito marcantes, cheias de imagens, são falsos centros de interesse. É indispensável que o professor passe continuamente da mesa de experiência para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto. Quando voltar à experiência, estará mais preparado para distinguir os aspectos orgânicos do fenômeno.

Além das considerações acima, sugerimos ao professor que analise criticamente sua prática pedagógica, principalmente quanto ao uso de metáforas e analogias, desta forma o professor poderá evitar certas confusões de interpretação por parte dos estudantes.

Bachelard (1996, p. 258) também comenta que:

Como se percebe, é o homem inteiro, com sua pesada carga de ancestralidade e de inconsciência, com toda a sua juventude confusa e contingente, que teria de ser levado em conta se quiséssemos medir os obstáculos que se opõem ao conhecimento objetivo, ao conhecimento tranqüilo. Infelizmente os educadores não colaboram para essa tranqüilidade! Não conduzem os alunos para o conhecimento do objeto. Emitem mais juízos do que ensinam! Nada fazem para curar a ansiedade que se apodera de qualquer mente diante da necessidade de corrigir sua maneira de pensar e da necessidade de sair de si para encontrar a verdade objetiva.

A superação dos obstáculos epistemológicos presentes no pensamento dos estudantes pode ser facilitada se o professor torná-los consciente por seus alunos, discutindo as limitações e valendo-se do rigor científico e da experiência revelada pela história da ciência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa nos possibilitou verificar que os obstáculos epistemológicos estão presentes na construção do conhecimento pelo estudante, mesmo após terem passado pelo processo formal de ensino. Neste sentido, a educação formal não tem garantia de êxito na superação desses obstáculos. Contudo, acreditamos que se os professores tiverem conhecimento da existência desses obstáculos, poderão criar estratégias de superação.

A pesquisa buscou identificar os obstáculos epistemológicos apresentados nas respostas dos estudantes a fenômenos físicos relacionados ao calor, assim, não nos propusemos a identificar todos os obstáculos epistemológicos descritos por Bachelard, porém, todos aqueles que acreditávamos estar relacionado aos conceitos de calor foram identificados.

Apesar de cada questão ter buscado identificar apenas um tipo de obstáculo epistemológico, com exceção de uma questão (a oitava), todas acabaram por revelar mais de um obstáculo epistemológico.

Os obstáculos epistemológicos geralmente apresentam-se internalizados no inconsciente da pessoa, dificultando a sua superação. O professor deverá usar sua criatividade, o rigor científico e a discussão aberta desses obstáculos para transpô-los de forma eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AGUIAR JR., O. **Calor e Temperatura no Ensino Fundamental: relações entre o ensino e a aprendizagem numa perspectiva construtivista.** Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol4-n1-a3.htm>> Acesso em: 15 jun. 2003.
- BACHELARD, G. **A Formação do Espírito Científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento.** Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 316p.
- _____. **Epistemologia.** Rio de Janeiro: ZAHAR, 1983. 197p.
- _____. **Filosofia do não.** Lisboa: Editorial Presença, 1988. 136p.
- BISQUERRA, R. **Métodos de Investigación Educativa: guía practica.** Barcelona: Ceac, 2000. p. 382
- BITTENCOUT, J. Obstáculo Epistemológico e a pesquisa em Didática da Matemática **Educação Matemática em Revista**, São Paulo, n.6, p.13-17, Maio 1998.
- EINSTEIN, A; INFELD, L. **A evolução da Física.** 3ed. Rio de Janeiro: ZAHAR, 1976. 237p.
- IRUSTA, D. N. **La Noción de Obstáculo Epistemológico en Bachelard.** Disponível em: <http://www.nombrefalso.com.ar/papeles/irusta-bachelard.html>>. Acesso em: 25 jul. 2003.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas.** 6ed. São Paulo: Perspectiva, 2001. 257p.
- LIMA, M. C. B; BARROS, H. L. Uma proposta e ensino de calor e temperatura à luz de Bachelard. In: MOREIRA, Marco Antônio (Org.), et al. **Atlas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**, Águas de Lindóia, 1997. p. 315-321.
- LOPES, A.R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. In: **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, n.3, v.13, p.248-273, dez.1996.
- LOPES, A.R. C. Livros Didáticos: Obstáculo ao Aprendizado da Ciência Química. **Química Nova**, Rio de Janeiro, p.254-260, mar.1991.
- MORTIMER, E. F. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências.** Belo Horizonte: UFMG, 2000. 383p.
- NUSSENZVEIG, H. M. A natureza do Calor. In:_____. **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor.** São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 315p.
- OLIVA, A. **Filosofia da Ciência.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.
- OLIVEIRA, R. J. de. **A escola e o ensino de ciências.** São Leopoldo: UNISSINOS, 2000. 139p.
- OSADA, J. **Evolução das Idéias da Física.** São Paulo: Edgard Blucher, 1972. 147p.
- QUADROS, S. **A termodinâmica e A Invenção das Máquinas Térmicas.** São Paulo: Scipione, 1996. 84p.

ROSA, M.I. F.P. S.; SCHNETZER, R.P. **O perfil epistemológico de Bachelard e a noção de perfil conceitual para transformação química.** Outubro de 1998 Disponível em: <<http://www.moderna.com.br/artigos/quimica/0007>>. Acesso em: 25 agos. 2003.

SANTOS, M. E. V. M. dos. **Mudança Conceptual na Sala de Aula: Um desafio pedagógico.** Lisboa: Livros Horizontes, 1991. 261p.

TEIXEIRA, O. P. B. **Desenvolvimento do conceito de calor e de temperatura.** Tese (Doutorado), Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1992.

APENDICES

APENDICE 1

Universidade Federal do Pará

Núcleo Pedagógico de Apoio ao Desenvolvimento Científico

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemáticas

Curso de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática

QUESTIONÁRIO DE INVESTIGAÇÃO

ALUNO(A)					
ESCOLA					
SÉRIE		TURMA		IDADE	

IMPORTANTE

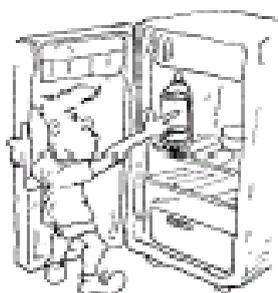
RESPONDA AS QUESTÕES ABAIXO COM SINCERIDADE E ATENÇÃO. NÃO DEIXE NENHUMA QUESTÃO SEM RESPOSTA. CASO HAJA ALGUMA QUESTÃO QUE VOCÊ NÃO SAIBA RESPONDER, ESCREVA: EU NÃO CONHEÇO O ASSUNTO.

Belém

Outubro de 2003

Questões

- 01) Corpos com diferentes temperaturas trocam de energia entre si, de modo que um transfere energia para o outro. Observe a cena abaixo em que uma garrafa, à temperatura ambiente, é colocada dentro da geladeira. Nesta situação a energia passa da garrafa para a geladeira ou da geladeira para a garrafa?



- 02) Todas as substâncias sólidas, líquidas ou gasosas, quando aquecidas se dilatam, ou seja, aumentam de volume. Descreva (com desenho e/ou palavras), o que acontece microscopicamente com as moléculas de uma substância ao ser aquecida.

03) Como pode ser explicado o fato de sentirmos um piso de lajota mais frio do que um piso de madeira, conforme está ilustrado no quadro abaixo?



04) Como você pode explicar o aumento de temperatura que acontece ao se dobrar um pedaço de metal para um lado e para o outro?

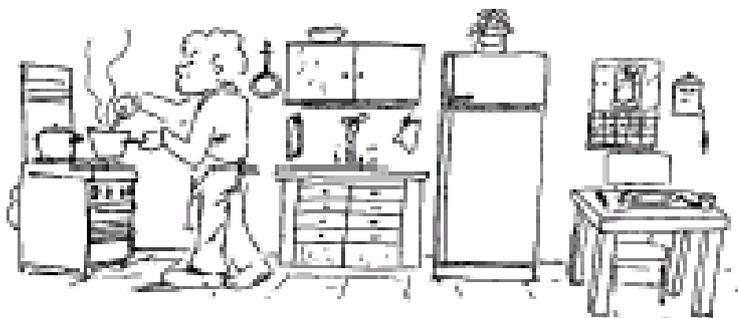
05) Em cidades em que o inverno é rigoroso, é comum ver as pessoas utilizarem casacos e cobertores de lã para se manterem aquecidos. Que explicação você pode dar para este fato?



06) Considerando-se dois recipientes, o primeiro contendo um bloco de ferro, de massa 1kg, o segundo contendo 1kg de água, ambos a temperatura ambiente. Expondo os recipientes à mesma chama de gás, percebe-se que após dois minutos o bloco de ferro atinge uma temperatura quase insuportável de tocar diretamente com as mãos, enquanto a água ainda está morna, o que nos possibilita afirmar que 1kg de água tem capacidade térmica maior do que 1kg de ferro. Qual o significado de capacidade térmica?

07) Verifica-se experimentalmente que durante a mudança de estado físico a temperatura de substâncias puras permanece constante, pergunta-se: há troca de energia durante a mudança de estado físico de uma substância? Explique:

08) Observe a cena abaixo e identifique qual ou quais a(s) fonte(s) de calor está(ão) presente(s).



APENDICE 2

Universidade Federal do Pará
Núcleo Pedagógico de Apoio ao Desenvolvimento Científico
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemáticas
Curso de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática

Prezado (a) aluno (a):

A realização de um estudo investigativo sobre a compreensão dos estudantes em relação aos conceitos de calor e temperatura tem grande importância para a melhoria da qualidade do ensino de Física. Esta é uma das principais razões que motivaram a eleger este tema para a elaboração da dissertação de mestrado do curso que realizamos em Educação e Ciências e Matemática.

Este questionário é parte de uma pesquisa inovadora e sua participação será de grande importância para o desenvolvimento desta pesquisa. Os nomes dos participantes serão preservados.

Contamos com a sua participação.

Muito obrigada por sua colaboração.

Elinete Oliveira Raposo Ribeiro.

Mestranda em Ensino de Ciências e Matemática.

Belém.

Outubro de 2003