
SENSAÇÃO TÉRMICA: UMA ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR+*

Cristiano Mattos

Ana Valéria N. Drumond¹

Departamento de Física e Química – UNESP

Guaratinguetá – São Paulo

Resumo

A necessidade de abordagens que contemplem a transversalidade no tratamento dos conteúdos de ciências aumenta com a aceitação das orientações sugeridas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). A interdisciplinaridade passa a ser uma alternativa para a efetivação da transversalidade. Entretanto, para ser concretizada como ação pedagógica em sala de aula, a interdisciplinaridade precisa ser sustentada pelo professor, que deve estar subsidiado por material didático e paradidático adequados. Nesse contexto, o trabalho apresenta um estudo interdisciplinar sobre os conceitos físicos de calor e temperatura dentro de um enfoque que ressalta o conceito de sensação térmica. Como mote da discussão, é utilizada a conhecida experiência das três bacias, experiência ainda encontrada em diversos livros didáticos de ciências no Brasil, mas explorada muito superficialmente.

Palavras-chave: *Ensino de ciências, interdisciplinaridade, termodinâmica, adaptação humana, fisiologia da sensação, psicologia da percepção.*

Abstract

The need for approaches that take in account transversality on science concepts teaching increase with acceptance of National Curricular Parameters (PCN) orientation. The interdisciplinarity became an alternative to accomplish of transversality. However to make concrete transversality as

⁺ Thermal sensation: an interdisciplinary approach

* *Recebido: abril de 2003.
Aceito: outubro de 2003.*

¹ Aluna de Iniciação Científica.

a pedagogical action during classes, interdisciplinarity must be sustained by a teacher that must have support of adequate didactic and paradidactic material. In this context, this work presents an interdisciplinary study about physical concepts as heat and temperature, focusing thermal sensation. It is used the well-known experience of the three vessels as a discussion motto. This experience can be found in many didactic science text books in Brazil, although it is rarely explored.

Keywords: *Science teaching, interdisciplinarity, thermodynamics, human adaptation, physiology of sensation, psychology of perception.*

I. Introdução

Nas últimas décadas a pesquisa científica tem se caracterizado pela colaboração, não só de pesquisadores de uma mesma área, mas também de áreas distintas. A interdisciplinaridade, entendida como uma articulação de elementos através de uma axiomática comum a um grupo de disciplinas conexas, permite definir um nível hierárquico imediatamente superior; assim, esse sistema interdisciplinar é composto por dois níveis, das disciplinas, que sustentam de forma coordenada um novo nível superior, que pode se caracterizar como uma nova disciplina ou novos ramos de pesquisa. A maioria dessas novas disciplinas tem dado ênfase a objetos cuja análise tradicionalmente limita-se a áreas específicas do conhecimento, como a física, biologia, química, sociologia ou psicologia (FIEDLER-FERRARA; MATTOS, 2002).

A caracterização de universalidades em diversos objetos de estudo, antes disciplinares, permite a coordenação de novas disciplinas, como a sinérgica (HAKEN 1978, 1989), as redes neurais (HERTZ et al., 1991), a psicologia evolucionista (BARKOW, 1992) e a ciência cognitiva (GARDNER, 1985). Essas novas disciplinas, caracterizadas como níveis superiores de um sistema interdisciplinar, tornaram-se campos autônomos que, em alguns casos, se tornam núcleos disciplinares institucionalmente aceitos dentro das universidades ou dos departamentos das disciplinas que as suportam, constituindo um novo e institucionalizado ramo do saber (JAPIASSU, 1978; MATTOS, 1991). Novos objetos são criados a partir de novos olhares dados sobre fenômenos conhecidos. Um exemplo bem sucedido é o desenvolvimento da Física do aprendizado em redes neurais, cuja teoria baseia-se na Mecânica Estatística dos vidros de spin (HERTZ et al., 1991; OPPER; KINZEL, 1996; MATTOS, 2000).

Faz-se necessário acompanhar essas tendências, atualizando a formação de professores de física, química e biologia, assim como do ensino de Ciências. Essa tarefa esbarra em muitas dificuldades. Talvez uma das principais seja o número limitado de exemplos de problemas interdisciplinares, suficientemente simples e solúveis, que ilustrem a capacidade de explicação da linguagem que os trata (MATTOS; HAMBURGER, 1998; MATTOS, 2000).

Novos temas estão surgindo nas reformas curriculares em diversas universidades (MEC 1998), particularmente nas áreas da Ciência, nas quais conexões interdisciplinares são cada vez mais necessárias. Este é um tema crítico, pois tanto estudantes quanto professores de ciências precisam adquirir mais e diferentes habilidades para compreenderem e estarem sensíveis às relações imbricadas entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, que são eminentemente interdisciplinares (PCN, 1999).

Para que mudanças nos enfoques curriculares tenham sucesso e persistam, são fundamentais o apoio e a colaboração, não só da universidade, mas também de uma porção significativa da comunidade à qual se pretende imprimir o caráter interdisciplinar da Ciência. Isso exige o estabelecimento de metas comuns entre algumas disciplinas, configurando um ambiente que reforça a transversalidade de temas para o ensino e a aprendizagem (FIEDLER-FERRARA; MATTOS, 2002).

Essa nova concepção exige igualmente que se forneçam subsídios para a formação de professores de ciências, incluindo a elaboração de material didático que trate os conteúdos de forma interdisciplinar, permitindo o estabelecimento de conexões entre trabalhos de pesquisa em ensino de ciências, tendo em vista não apenas alunos de licenciatura como, também, professores em formação continuada.

Conectadas a metas sociais mais abrangentes, as reformas locais devem propiciar o estabelecimento de um ambiente estimulante para estudantes e professores, no qual o conhecimento seja tratado como um instrumento para compreender a sua inserção no mundo, preparando os professores para a manutenção desse ambiente e os alunos para vida e para um ambiente de trabalho cada vez mais complexo, competitivo e exigente (FIEDLER-FERRARA; MATTOS, 2002).

É fundamental que os estudantes compreendam as necessidades da interdisciplinaridade, assim como o conhecimento das ciências envolvidas e de seu vocabulário básico (JAPIASSU, 1978). Isto significa habilitar-lhes a perceber relações entre o mundo natural e o mundo artificial, com base nas suas referências intelectuais e afetivas.

Apesar das sucessivas avaliações, realizadas pelo MEC, dos livros didáticos do ensino fundamental, por meio do PNLD (1998, 2000), ainda é possível encontrar, em grande parte, a experiência das três bacias (JACOBSON; BERGMAN, 1983; CEZAR et al., 1997; LOPES; MACHADO, 1999; CANTO, 1999; LOUZADA et al., 1999; NIGRO; CAMPOS, 2000). Em sua grande maioria, a experiência tem como único objetivo demonstrar que o tato não deve ser usado como um instrumento de medida de temperatura. Por outro lado, está cada vez mais claro que muitos professores usam os livros didáticos adotados para seus alunos para sua própria formação (GASPAR; MATTOS, 2003).

O presente trabalho apresenta subsídios para uma exploração mais abrangente dos conceitos físicos de calor e de temperatura, realizando um recorte interdisciplinar (FIEDLER-FERRARA; MATTOS, 2002) por meio da conhecida experiência das três bacias. Como consequência, esperamos que os professores de ciências acrescentem, em seu rol de critérios de avaliação de materiais didáticos, a percepção de que vários conteúdos oferecidos nesses materiais estão descontextualizados, impedindo uma com-

preensão mais ampla do sentido de sua inclusão como conteúdo de ciências. A ausência de contextualização, muitas vezes, acaba não só por tornar a compreensão impossível, mas também por facilitar o aprendizado de concepções epistemológicas equivocadas sobre a produção da ciência (MATTOS; GASPAR, 2002). Além disso, pretendemos subsidiar os professores que desejam incrementar e contextualizar a experiência das três bacias.

Nesta experiência se propõe que um indivíduo mergulhe suas mãos em um recipiente contendo água à temperatura da pele (aproximadamente 32°C) para avaliar se a água está “quente” ou “fria”. A sensação térmica provocada com esse contato levará o indivíduo a concluir que a água está morna. Logo em seguida, o indivíduo é orientado a colocar a mão direita em outro recipiente com água à temperatura de 29°C, aproximadamente, e a mão esquerda em um terceiro recipiente com água a cerca de 35°C. A sensação térmica provocada com esses contatos levará o indivíduo a concluir que a mão direita foi mergulhada em água “fria” e a mão esquerda em água “quente”. Depois de deixar, por algum tempo, as mãos mergulhadas em cada uma dessas bacias, o indivíduo é solicitado a mergulhá-las novamente na primeira bacia, isto é, na que contém água a 32°C. Surpreso, o indivíduo perceberá sensações térmicas diferentes: a mão direita “informa” que a água está “quente”, mas a esquerda “informa” que esta mesma água está “fria”. A experiência encerra-se com a conclusão de que o tato não se presta a medir temperaturas com precisão. A partir deste ponto, o assunto passa a ser, quando muito, termômetros e escalas de temperatura.

Simplemente aceitar a conclusão apresentada sem discutir os fenômenos que ocorrem, os quais têm diversos níveis e naturezas, é ignorar a riqueza de conhecimentos subjacentes à experiência. Usando a noção de complexidade e pandisciplinaridade (FIEDLER-FERRARA; MATTOS, 2002), pretendemos estabelecer alguns níveis de análise e exposição do objeto interdisciplinar. A articulação dos sentidos em uma única linguagem representa um possível recobrimento epistemológico, que pode se constituir em um material de subsídio ao professor na implementação da transversalidade em sala de aula.

II. Locke e a experiência das três bacias

Em sua teoria do conhecimento, Locke combateu as idéias racionalistas difundidas por Descartes. Em essência, negou a existência de idéias inatas na mente do homem. Para Locke, a mente humana era como uma tábula rasa, impressionada pelos sentidos durante as experiências vividas. Segundo ele, o homem não nasce com quaisquer idéias como a de “extensão” ou de “perfeição”, entre outras, conforme pretendia Descartes.

Em seu Ensaio sobre o entendimento humano, afirmou que:

Somente são imagináveis as qualidades que afetam aos sentidos [...] E se a humanidade houvesse sido dotada de tão-somente quatro sentidos, então as qualidades que são o objeto do quinto sentido estariam tão afastadas do nosso entendimento, de nossa imaginação e de nossa concepção, como podem estar agora as que poderiam pertencer a um sexto, sétimo ou oitavo sentidos...² (LOCKE, 1640, II, 2, § 3).

Todas as idéias vêm ou da experiência de sensação ou da experiência de reflexão. Sobre as idéias de sensação, Locke afirmou:

Em primeiro lugar, nossos sentidos, que contatam objetos sensíveis particulares, transmitem respectivas e distintas percepções de coisas à mente, segundo os variados modos em que esses objetos os afetam. E é assim como chegamos a possuir essas idéias que temos do amarelo, do branco, do calor, do frio, do macio, do duro, do amargo, do doce e de todas aquelas que chamamos qualidades sensíveis [...] Esta grande fonte da maioria das idéias que temos, depende inteiramente dos nossos sentidos, e delas são originadas o entendimento, a isto chamo SENSACÃO.³ (Id., 1640, II, 1, § 3)

A sofisticação do modelo epistemológico de Locke incluiu a explicação de um mecanismo de geração das idéias de sensação:

E como a extensão, a forma, o número e o movimento de corpos de grandeza observável podem perceber-se à distância por meio da vista, é evidente que alguns corpos individualmente imperceptíveis devem vir deles aos olhos, e desse modo comunicam ao cérebro algum

² “Only the qualities that affect the senses are imaginable [...] And had mankind been made but with four senses, the qualities then which are the objects of the fifth sense had been as far from our notice, imagination, and conception, as now any belonging to a sixth, seventh, or eighth sense...” (LOCKE, 1640, II, 2, § 3)

³ “First, our Senses, conversant about particular sensible objects, do convey into the mind several distinct perceptions of things, according to those various ways wherein those objects do affect them. And thus we come by those ideas we have of yellow, white, heat, cold, soft, hard, bitter, sweet, and all those which we call sensible qualities [...] This great source of most of the ideas we have, depending wholly upon our senses, and derived by them to the understanding, I call SENSATION.” (Id., 1640, II, 1, § 3)

*movimento que produz essas idéias que temos em nós acerca de tais objetos.*⁴ (Id., 1640, II, 8, § 12)

*[...] vamos supor, então, que os diferentes movimentos e formas, volume e número de tais partículas, ao afetar os diversos órgãos de nossos sentidos, produzam em nós essas diferentes sensações que nos provocam as cores e os cheiros dos objetos; que uma violeta, por exemplo, por impulso de tais partículas imperceptíveis de matéria, de formas e volume peculiares e em diferentes graus e modificações de seus movimentos, faça que as idéias da cor azul e do aroma dessa flor se produzam em nossas mentes.*⁵ (Id., 1640, II, 8, § 13)

Ao definir o mecanismo de aquisição das idéias de sensação, define os tipos de idéias:

Idéias de qualidades primárias

São as que concebemos por influência direta do objeto. Assim consideradas, as qualidades nos corpos são, diz Locke,

*[...] aquelas [idéias] inteiramente inseparáveis do corpo, qualquer que seja o estado em que se encontre [...] Por exemplo, tomemos um grão de trigo e dividamo-lo em duas partes; cada parte tem ainda [a idéia de] solidez, extensão, forma e mobilidade, dividido novamente, ainda reterão as mesmas qualidades, e se segue dividindo até que as partes se tornem imperceptíveis, reterão necessariamente, cada uma delas, todas essas qualidades.*⁶ (Id., 1640, II, 8, § 9)

⁴ “And since the extension, figure, number, and motion of bodies of an observable bigness, may be perceived at a distance by the sight, it is evident some singly imperceptible bodies must come from them to the eyes, and thereby convey to the brain some motion; which produces these ideas which we have of them in us.” (Id., 1640, II, 8, § 12)

⁵ “... let us suppose at present that the different motions and figures, bulk and number, of such particles, affecting the several organs of our senses, produce in us those different sensations which we have from the colours and smells of bodies; v.g. that a violet, by the impulse of such insensible particles of matter, of peculiar figures and bulks, and in different degrees and modifications of their motions, causes the ideas of the blue colour, and sweet scent of that flower to be produced in our minds.” (Id., 1640, II, 8, § 13)

⁶ “... such as are utterly inseparable from the body, in what state soever it be [...] v.g. Take a grain of wheat, divide it into two parts; each part has still solidity, extension, figure, and mobility

Idéias de qualidades secundárias

Não correspondem a nada nos próprios objetos, mas sim a capacidades que os objetos têm de produzir indiretamente em nós diversas sensações. É o caso de cores, sons, gostos, cheiros, etc. Para Locke, partículas imperceptíveis atuam sobre nossos sentidos, produzindo idéias das qualidades secundárias. As qualidades secundárias dependem das primárias. Pode-se entender que gostos, sons e demais qualidades sensíveis semelhantes, às quais é atribuída, de modo equivocado, uma realidade, não são nada além dos poderes dos corpos de produzir em nós sensações diversas.

*[...] tais qualidades, em verdade, não são nada nos próprios objetos, mas o poder de produzir, em nós, várias sensações pelas qualidades primárias, isto é, pelo seu tamanho, figura, textura e movimento de suas partes insensíveis, como cor, sons, gostos etc. Estas eu chamo qualidades secundárias.*⁷ (Id., 1640, II, 8, § 10)

Em suma, pode-se dizer que as idéias das qualidades primárias são semelhanças com algo que está nos corpos, como a forma: a imagem mental de um triângulo possui três lados e três ângulos. Já as qualidades secundárias não estão nos corpos. Nada neles assemelha-se às idéias das qualidades secundárias que existem apenas na mente do homem. Embora nos corpos haja somente qualidades primárias, elas podem, por variação de volume, forma e movimento de suas partes imperceptíveis, produzir sensações secundárias, como a idéia de doce, azul e quente. A idéia que experimentamos de nossa própria reação admite a existência de uma relação causal, sem qualquer relação de semelhança.

Com base nessas noções, Locke propôs-se a explicar o aparente paradoxo da experiência das três bacias. Ao retirar as mãos de bacias com água a diferentes temperaturas e colocá-las em uma terceira bacia com água à temperatura ambiente, diferentes sensações de temperatura são sentidas em cada uma das mãos, apesar de estarem mergulhadas na mesma água. Assim, as propriedades sensoriais de “quente” e “frio” não são propriedades objetivas dos objetos, ou a água da terceira bacia deveria estar quente e fria ao mesmo tempo. Locke resolve esse impasse com a noção das idéias das qualidades secundárias da matéria.

(...) divide it again, and it retains still the same qualities; and so divide it on, till the parts become insensible; they must retain still each of them all those qualities.” (Id., 1640, II, 8, § 9)

⁷ *“... such qualities which in truth are nothing in the objects themselves but power to produce various sensations in us by their primary qualities, i.e. by the bulk, figure, texture, and motion of their insensible parts, as colours, sounds, tastes, &c. These I call secondary qualities.”* (Id., 1640, II, 8, § 10)

Locke atribui às qualidades dos objetos o fato de produzirem sensações nos indivíduos. Por exemplo, a sensação térmica é consequência do movimento das partículas, embora não haja nada na sensação de calor que se assemelhe a isso. Afirma:

Explicação de como sentimos a água fria em uma mão e aquecida com a outra: Sendo então as idéias distinguidas e compreendidas, poderemos ter condições de dar conta de como a mesma água, ao mesmo tempo, pode produzir a idéia de frio por uma mão e calor pela outra: considerando que isso é impossível, se realmente essas idéias estivessem nela, que a mesma água pudesse estar ao mesmo tempo quente e fria. Se nós imaginamos calor, como o é em nossas mãos, nada mais que um certo tipo e grau de movimento das diminutas partículas de nossos nervos ou espírito animal, poderemos entender como é possível que a mesma água, ao mesmo tempo, produza as sensações de calor em uma mão e frio na outra; sensação, contudo, que uma figura nunca permite, pois nunca produz a idéia de um quadrado em uma mão e a idéia de uma esfera na outra. Entretanto, se a sensação de calor e frio nada mais é do que o aumento ou diminuição do movimento das diminutas partes de nossos corpos, causadas pelos corpúsculos de qualquer outro corpo, é fácil entender que aquele movimento é maior em uma mão que na outra. Se um corpo interage com as duas mãos, o qual tem suas diminutas partículas um movimento maior que as de uma das mãos, e menor do que as da outra, aumentará o movimento das partículas de uma das mãos e diminuirá as da outra; assim causa diferentes sensações, de calor e frio que dependem deles [movimento].⁸ (Id., 1640, II, 8, § 21)

⁸ *“Explains how water felt as cold by one hand may be warm to the other. Ideas being thus distinguished and understood, we may be able to give an account how the same water, at the same time, may produce the idea of cold by one hand and of heat by the other: whereas it is impossible that the same water, if those ideas were really in it, should at the same time be both hot and cold. For, if we imagine warmth, as it is in our hands, to be nothing but a certain sort and degree of motion in the minute particles of our nerves or animal spirits, we may understand how it is possible that the same water may, at the same time, produce the sensations of heat in one hand and cold in the other; which yet figure never does, that never producing- the idea of a square by one hand which has produced the idea of a globe by another. But if the sensation of heat and cold be nothing but the increase or diminution of the motion of the minute parts of our bodies, caused by the corpuscles of any other body, it is easy to be understood, that if that motion be greater in one hand than in the other; if a body be applied to the two hands, which has in its minute particles a greater motion than in those of one of the hands, and a less than in those of the other, it will increase the motion of the one hand and lessen it in the other; and so cause the different sensations of heat and cold ...that depend thereon. (Id., 1640, II, 8, § 21)*

III. Calor e temperatura

Como na experiência sugerida por Locke, também no dia-a-dia o estado térmico de um corpo é avaliado por meio do tato (COLES, 1995), seja colocando a mão na testa de uma criança para verificar se está febril, seja tocando rapidamente a ponta do dedo na chapa do ferro de passar roupa, ou ainda verificando se a garrafa de água na geladeira já está gelada. Grosso modo, corpos com temperaturas mais altas que a da pele provocam a sensação de “quente”, enquanto que os de temperatura abaixo dela, a sensação de “frio”. A experiência mostra que essa avaliação é subjetiva e imprecisa. Daí a necessidade de termômetros que permitam unificar a escala de medida de temperatura e que a meçam de maneira objetiva.

Os modernos conceitos de calor e temperatura são fruto de uma longa evolução histórica de conceitos com os quais se pretendia representar os fenômenos termodinâmicos. Aristóteles afirmava que todas as substâncias eram constituídas por quatro elementos básicos: terra, água, ar e fogo. O fator determinante da temperatura dos corpos seria a proporção de cada um deles em sua estrutura, ou seja, corpos “quentes” teriam maior proporção do elemento fogo.

Para os atomistas da Grécia antiga todas as substâncias eram formadas por partes muito pequenas e indivisíveis, e o que diferenciava a temperatura dessas substâncias era um elemento invisível, presente em todas as coisas. Assim, explicavam que uma vasilha e seu conteúdo se aqueciam porque a substância invisível do fogo passava para a vasilha e seu conteúdo (OLIVEIRA, 1993). Essa concepção grega, estabelecida por séculos, desembocou na idéia do calórico, uma substância sutil que se deslocava entre os corpos. Essa idéia permitia explicar, do ponto de vista da mecânica, a maioria dos fenômenos ligados à física térmica: os corpos quentes possuíam mais calórico do que os frios e, ao se tocarem, a substância calórico fluía entre eles até que atingissem o equilíbrio térmico. A noção de calor como uma forma de energia foi estabelecida definitivamente com a experiência de Joule, que obteve o equivalente mecânico do calor (AURANI, 1988).

Na segunda metade do século XIX, com a noção atomista ganhando espaço frente às concepções energeticistas, surge o modelo cinético-molecular do calor e, em seguida, a mecânica estatística, que se constitui em uma nova teoria, à qual Boltzmann introduz a noção de probabilidade como constituinte dos fenômenos e não mais como mero artefato matemático explicativo (KLEIN, 1973; MATTOS, 1991; VIDEIRA, 1993). Assim, calor e temperatura passam a ser conceitos estatísticos ligados às propriedades coletivas das partículas que constituem os corpos: a temperatura, ligada à energia cinética média das partículas, e o calor, às trocas de energia mecânica entre os constituintes dos corpos (MATTOS, 1991).

IV. Recorte na complexidade

Do ponto de vista de uma abordagem complexista, a estrutura dos objetos estudados pode ser expressa pelos diversos níveis de interação entre suas partes, que se relacionam hierarquicamente, sob a regência de diversas lógicas, inclusive as recursivas e auto-organizadoras, que na maioria das vezes não permitem uma expressão de sua totalidade. Por isso, é necessário realizar um recorte criterioso e responsável na complexidade do objeto para que se possa eventualmente colocá-lo como objeto de ensino-aprendizado (FIEDLER-FERRARA; MATTOS, 2002).

Por exemplo, poderíamos partir de um critério ontológico da matéria, distinto do usado na termodinâmica clássica, tomando como um recorte possível a análise da estrutura atômica da matéria (FIEDLER-FERRARA; MATTOS, 2002); em outras palavras, usando o modelo atômico da matéria. Nesse contexto, leva-se em conta que um sistema macroscópico nada mais é do que um conjunto de átomos, com seus núcleos e eletrosferas interagentes. A mão, desse ponto de vista, pode ser entendida como um corpo macroscópico constituído por uma enormidade de camadas atômicas interagentes. Igualmente, poderíamos tomar como critério um modelo fisiológico do tecido vivo, em que as mãos seriam formadas por diferentes tipos de células, distribuídas em várias camadas de diferentes tecidos em contínua troca energética entre elas.

Da mesma forma, é necessário realizar um recorte na complexidade dos processos de troca energética. Por exemplo, usualmente são considerados três os processos de transmissão de calor entre corpos: condução, convecção e radiação. Essa primeira associação entre esses processos, muito comum em livros didáticos do ensino fundamental e médio (SANTOS; MATTOS, 2003), induz estudantes e professores a tomá-los como processos de mesma natureza, apesar de terem natureza epistemológica distinta. Os dois primeiros, condução e convecção, pertencem, enquanto categoria explicativa, à termodinâmica clássica e estatística, mais precisamente ao modelo cinético molecular, enquanto o último processo, radiação, pertence ao campo da física moderna, ou, mais precisamente, ao eletromagnetismo clássico e, posteriormente, ainda com outro status epistemológico, à mecânica quântica.

Neste trabalho, o recorte utilizado é o do modelo cinético molecular, que do ponto de vista do ensino de física é vantajoso para realçar a diferenciação entre os conceitos de calor e temperatura (AGUIAR JR., 1999; AGUIAR JR.; FILOCRE, 2002). Tomamos a temperatura como sendo uma grandeza escalar diretamente relacionada com a energia interna do corpo e definimos calor, por sua vez, como a energia transferida entre sistemas moleculares. Aqui, pretendemos ressaltar, da definição de calor, o aspecto de que a energia é transferida quando há diferença de potencial térmico entre os sistemas, que tendem a entrar em equilíbrio térmico (CALLEN, 1960).

V. Termotransferência

A condução térmica pode ser considerada como a transferência de energia térmica entre dois corpos quando estão em contato. Para que ocorra essa transferência de energia deve haver uma diferença de potencial térmico, ou seja, os corpos devem estar em diferentes temperaturas. Segundo o modelo cinético molecular, os átomos do corpo mais “quente” encontram-se mais “agitados” em relação aos átomos do outro corpo mais “frio”, apresentando maior amplitude de vibração, velocidade de translação e rotação. No caso de sólidos, pelo modelo, seus constituintes apenas vibram em torno de uma posição de equilíbrio. Essa vibração é transferida de átomo para átomo por meio das forças interatômicas, de tal forma que o “contato” entre os átomos da superfície mais “quente” e os átomos da superfície mais “fria” faz com que a vibração seja “transferida” para os átomos do corpo com menor temperatura. Assim, aumentando a vibração dos átomos, aumenta-se também a temperatura, até que se atinja o equilíbrio térmico, ou seja, a distribuição de velocidades das partículas finalmente chega a um estado final.

A convecção, do ponto de vista do modelo cinético molecular, ocorre quando um fluido a uma determinada temperatura entra em contato com outro sistema cuja temperatura é diferente da sua. Supondo o sistema a uma temperatura superior, a parte do fluido que está diretamente em contato com ele tem, por condução, sua temperatura elevada mais rapidamente do que as camadas mais distantes. Dessa forma, a velocidade média das moléculas dessa camada cresce, aumentando também suas amplitudes de vibração. Decorre, daí, a dilatação da camada, tornando-se, em consequência, menos densa que as camadas que se encontram mais afastadas. Assim, ocorre uma troca de posições entre partes do fluido, formando um fluxo de matéria denominado circulação convectiva. Exemplo típico, normalmente usado em livros didáticos, é o da circulação convectiva em uma geladeira. O ar que se encontra na parte superior da geladeira entra em contato com o refrigerador, cuja temperatura é mais baixa do que a sua. Essa porção de ar resfria-se, ou seja, as vibrações moleculares da camada de contato com o refrigerador diminuem, assim como o volume de cada camada, tornando-se mais densa e, em seguida, trocando de lugar com as camadas inferiores que estão com maior temperatura. Cria-se, assim, uma circulação convectiva do ar, no interior do aparelho, em que a porção do gás menos densa tende a subir para as camadas superiores. Esse fenômeno é complexo e essa forma de expressá-lo é apenas um recorte na sua complexidade.

O terceiro tipo de transferência de calor, a radiação, pode ser entendido como o processo de termotransferência a partir da propagação de energia por meio de ondas eletromagnéticas. Esse modelo de transmissão não pertence à termodinâmica clássica ou à estatística, em particular à teoria cinético molecular, mas sim à teoria eletromagnética. Todos os corpos emitem e recebem radiação eletromagnética continuamente, estabelecendo, assim, uma contínua transferência de energia, que agora pode ser entendida como troca de energia com os outros corpos que estão ao redor, independentemente da diferença de temperatura.

Devemos deixar claro que, nos modelos estatísticos, o equilíbrio térmico é, na verdade, um equilíbrio dinâmico, em que os sistemas têm suas variáveis termodinâmicas flutuando em torno de um valor médio.

VI. Construção de um modelo físico

Na experiência das três bacias, colocam-se as mãos em contato com água em temperatura diversa da temperatura corporal normal. De maneira simplificada, podemos dizer que a pele e a água da bacia tendem a entrar em equilíbrio térmico. Quando a mão é mergulhada em água “quente”, isto é, com temperatura superior à da mão, recebe calor da água; fenômeno inverso acontece quando a mão é posta em contato com água “fria”. Normalmente, retiram-se as mãos de dentro das bacias antes que se estabeleça um novo equilíbrio térmico, de modo que o indivíduo permanece com a sensação térmica inicial. Ao mergulhar ambas as mãos na terceira bacia, com água à temperatura ambiente, percebe-se uma grande diferença em relação ao que se experimentou no início da experiência. A mão que estava mergulhada em água quente “informa” que o novo ambiente está “frio”, enquanto que a outra, mergulhada anteriormente em água fria, informa que o mesmo ambiente está “quente”. Esta diferença de percepção ocorre porque as mãos estavam em diferentes temperaturas em relação à água a temperatura ambiente, gerando diferentes fluxos de energia térmica em cada mão.

Durante a submersão das mãos ocorre transferência de energia térmica entre elas e a água, alterando seus estados termodinâmicos. De acordo com o modelo termodinâmico clássico, diz-se que a energia interna do corpo foi alterada com o calor recebido ou cedido. A energia interna é definida, de modo geral, como a soma das energias cinética e potencial dos átomos que constituem os corpos – o que permite definir um calor “positivo” e um calor “negativo”. Define-se calor “positivo” como a energia recebida por um corpo de outro que se encontra em uma temperatura mais elevada. Por outro lado, o calor “negativo” é definido como a energia térmica que um corpo em uma temperatura mais elevada cede para outro em uma temperatura mais baixa. Deve ficar claro que os nomes “positivo” e “negativo”, assim como “quente” e “frio”, não representam energias diferentes, com qualidades opostas (CAFAGNE, 1996), como muitos estudantes (WISER; CAREY, 1983; CLOUGH; DRIVER, 1985; GOLDRING; OSBORNE, 1994; AGUIAR JR., 1999) e professores (ARNOLD; MILLAR, 1994; JIN-YI, 1999) costumam pensar, mas diferentes estados termodinâmicos.

O modelo de pele humana que será considerado é o da pele como uma superfície porosa. Com esse modelo, mais realista, podemos considerar, na experiência das três bacias, que a condução é o processo dominante de troca de calor entre as mãos e a água⁹. A porosidade dificulta a convecção em função da maior irregularidade da

⁹ Dadas as dificuldades matemáticas e epistemológicas de se estudarem esses mecanismos de termotransferência simultaneamente, costuma-se considerar apenas um deles como o principal e

superfície, dificultando um escoamento laminar do fluido que cerca a mão, além de ampliar a superfície de contato entre os dois meios, favorecendo a condução térmica (MIJEEVA; MIJEEV, 1979). Dessa forma, podemos continuar a usar o modelo cinético molecular para descrever os fenômenos térmicos nesse modo de transmissão.

Quando se coloca a mão na bacia com água a uma temperatura superior à corporal, as moléculas mais agitadas da água cedem energia às moléculas constituintes do tecido epitelial das mãos. Por causa da estratificação do tecido epitelial, ou seja, devido ao fato do epitélio ser formado por várias camadas (queratina, epitélio superficial, epitélio basal e tecido conjuntivo) (GUYTON, 1999), considera-se que a transferência da energia da água para as mãos, ou vice-versa, ocorra como a de uma placa composta.

Geralmente, diferentes partes de um corpo encontram-se em diferentes temperaturas. Sendo assim, sua temperatura é função de um conjunto de variáveis, $T = f(x, y, t)$. No caso da mão humana, x representa a espessura da pele, y a quantidade de pêlos na área considerada e t o tempo de contato (MIJEEVA; MIJEEV, 1979). Dos diversos modelos adotados para se calcular a temperatura média da pele humana, o mais usado é o definido pela fórmula de Hardy-Dubois modificada :

$$TP = 0,07(T_{\text{testa}} + T_{\text{pé}}) + 0,05T_{\text{mão}} + 0,14T_{\text{antebraço}} + 0,35(T_{\text{peito}} + T_{\text{costas}}) + 0,19T_{\text{coxa}} + 0,13T_{\text{canela}}$$

O conjunto de valores de temperatura para todos os pontos de um corpo é chamado de campo de temperatura (BLAZEJCZYK et al., 1993). Quando o campo de temperatura independe do tempo é denominado de estacionário, caso contrário, é chamado de não-estacionário. O campo de temperatura pode ser uni, bi ou tridimensional, dependendo da quantidade de variáveis que determinam as temperaturas das várias partes do corpo. Porém, qualquer que seja o campo de temperatura, o corpo sempre apresentará conjuntos de pontos de mesma temperatura, chamadas de regiões isotérmicas (MIJEEVA; MIJEEV, 1979). Por último, o coeficiente de condutibilidade térmica (k) é uma característica própria de cada material e representa a sua capacidade de conduzir ou não calor. De maneira geral, esse coeficiente depende da estrutura, densidade, umidade, pressão e temperatura de cada substância. Quanto maior o valor do coeficiente térmico de um corpo, maior será sua capacidade de conduzir calor.

Usando o modelo da pele humana como uma placa composta, pode-se atribuir a cada uma de suas camadas um coeficiente de condutibilidade térmica kC . Em um modelo simplificado, podemos assumir que o estado da pele é estacionário, ou seja, a temperatura em qualquer parte da área epitelial é considerada constante, e que a taxa de transferência de calor estabelecida não varia com o decorrer do tempo. Dessa forma

os demais, secundários. Os processos tomados como secundários contribuem apenas para o estudo quantitativo do fenômeno principal [MIJEEVA; MIJEEV, 1979].

chega-se a uma equação que descreve a taxa de transmissão aproximada de calor Q na superfície da pele.

A taxa de transmissão de calor Q , em uma área A , entre uma camada de espessura ℓ que separa duas regiões às temperaturas T_A e T_{IC} ($T_A > T_{IC}$), é representada por:

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot (T_A - T_{IC})}{\ell}$$

A pele em contato com a água fria funciona como um reservatório de calor à temperatura T_A . Internamente, a pele sofre influência de outra fonte de calor, o metabolismo do corpo, que sustenta a temperatura interna do corpo T_{IC} .

Inicialmente, no modelo podem-se considerar apenas duas camadas de pele entre os dois reservatórios. Considerando as camadas com espessura ℓ_1 e ℓ_2 e coeficientes de condutibilidade térmica k_1 e k_2 , obtém-se a equação:

$$Q = \frac{k_2 \cdot A \cdot (T_A - T_P)}{\ell_2} + \frac{k_1 \cdot A \cdot (T_P - T_{IC})}{\ell_1}$$

na qual T_P é a temperatura da interface entre as duas camadas de pele.

A energia térmica transferida entre as camadas pode ser representada considerando apenas as temperaturas dos reservatórios térmicos, ou seja:

$$Q = \frac{A \cdot (T_A - T_{IC})}{\frac{\ell_2}{k_2} + \frac{\ell_1}{k_1}}$$

A variável $\ell/k = R$ é o valor da resistência à condução térmica, isto é, a característica de um material que representa a dificuldade que o mesmo apresenta à passagem de calor. A partir desse modelo, conclui-se também que a taxa de calor transferida da água para a pele independe da temperatura da mesma, dependendo apenas da área considerada, da temperatura da água e da temperatura interna do corpo, além de ser inversamente proporcional ao somatório das resistências térmicas das camadas epiteliais¹⁰.

¹⁰ Esse modelo é de fácil generalização para um número N qualquer de camadas:

Um modelo mais realista deve contemplar características da fisiologia humana, como a vascularização das camadas epiteliais. Isso dificulta sua construção, pois envolve resistências térmicas que, muito provavelmente, não serão constantes no tempo nem no espaço. Existem modelos que consideram o fluxo térmico entre o corpo humano e o meio ambiente, analisando o balanço térmico de recém-nascidos (STOTHERS, 1981; ELLIS, 1996) e o conforto térmico de roupas de trabalho (NIELSEN et al., 1989).

VII. A psicofísica relacionada com a “adaptação” fisiológica

Aspectos da psicofísica permitem compreender o processo de sensação térmica, bem como qualquer outro tipo de sensação (ZOTTERMAN, 1956). Para tanto, é necessário conhecer aspectos básicos de fisiologia das sensações. A fisiologia sensorial pode ser dividida em aspectos objetivos e subjetivos. Aspectos objetivos englobam as reações do sistema nervoso, ou seja, focalizam as sensações considerando o processo desencadeado por estímulos nos receptores e suas respectivas respostas no sistema nervoso central. Aspectos subjetivos dizem respeito à análise das percepções de cada indivíduo, que dependem de uma série de fatores como, por exemplo, o estado de ânimo (SCHMIDT, 1980). Assim, sente-se frio ao entrar em um ambiente climatizado por um aparelho de ar condicionado, pois a temperatura de adaptação (ou aclimatação) é aquela do ambiente externo, ou seja, a temperatura externa representa o “zero fisiológico” (HARDY; DUBOIS, 1938). Entende-se por “zero fisiológico” a temperatura tomada como padrão para efeito de comparação com outras temperaturas com as quais o corpo está em contato (HARDY; DUBOIS, 1938; MURRAY, 1962).

Na experiência das três bacias, a pequena, mas significativa, alteração na temperatura da água na qual foi mergulhada a mão direita é suficiente para estimular os receptores da pele para o frio, desencadeando o processo neurológico da sensação térmica. Depois de permanecer alguns instantes à temperatura de 29 oC, pode-se considerar que essa temperatura passa a ser o “zero fisiológico” para a mão direita. Isso também explica por que a água a 32oC passou a ser considerada quente quando a mão direita foi nela mergulhada. Explicação idêntica pode ser dada quanto à mão esquerda ao ser colocada na água morna. O pequeno aumento de temperatura provoca o estímulo dos termoreceptores para o calor e, por isso, a água foi percebida como quente.

Nessa experiência, demonstra-se que o que é chamado de “quente” e “frio” depende da temperatura de adaptação da pele (MUELLER, 1966). Com o estímulo

$$Q = \frac{A \cdot (T_A - T_{IC})}{\sum_{i=1}^N R_i}$$

no qual o somatório representa a soma das resistências térmicas das N placas envolvidas.

inicial, os receptores desencadeiam uma resposta neurológica intensa. Porém, passado um certo tempo, o estímulo contínuo a uma mesma temperatura faz com que os receptores emitam descargas contínuas e de mesma frequência. Isto significa que houve uma adaptação à nova temperatura, que passou a ser considerada como a temperatura cutânea das mãos (GUYTON, 1999). Esse tipo de adaptação térmica ocorre quando a pele está exposta a um estímulo “quente” ou “frio” constante e demorado; o grande período de excitação dos termoreceptores causa a sua saturação e as mensagens neurológicas não são mais transmitidas para o sistema nervoso central, pois não há condução de estímulos nervosos (WOLSK, 1977).

É importante ressaltar que as impressões sensoriais dependem do contexto, ou seja, a resposta a um certo estímulo pode tornar-se mais ou menos intensa, dependendo do ânimo, local, adaptação e cultura do indivíduo, o que torna a complexa questão filosófica da percepção e da cognição ainda mais interessante (CLARK, 1994).

VIII. Antropologia, evolução e adaptação¹¹

Muitas questões interessantes do estudo interdisciplinar das sensações térmicas surgem quando são abordados aspectos humanos, evolutivos e culturais. Não há como falar em adaptação humana às pressões ambientais sem pensar em evolução da espécie. Até meados do século XIX, nos meios científicos, a evolução era considerada apenas como uma hipótese interessante. As teorias evolucionistas tomaram grande impulso com os trabalhos de Lamarck e Darwin (CANGUILHEN, 1977). Atualmente, sabe-se que o processo de evolução não está ligado apenas à adaptação genotípica da espécie humana. Fatores culturais, psicológicos e comportamentais não podem mais ser descartados (MORAN, 1979). Como exemplo, podemos citar as tribos das regiões árticas, que vivem em um ambiente cujas condições são marcadamente distintas daquelas de outras regiões habitadas do planeta (BLAZEJCZYK; KRAWCZYK, 1991). É o caso dos Inuí, que habitam a região norte do Alasca, sobrevivendo em um ambiente cuja faixa de temperatura situa-se bem abaixo da naturalmente suportada pelo resto da população humana (MORAN, 1979). Apesar dos Inuí terem aproximadamente 5.000 anos de existência, o fato de viverem em ambiente extremamente frio pode ser considerado um ajustamento fisiológico, no sentido de que o processo pelo qual cada organismo

¹¹ Usaremos daqui por diante as seguintes definições: **adaptação**: processo pelo qual populações de organismos respondem a uma pressão ambiental de longa duração por meio de uma mudança genética permanente. Populações se adaptam por evolução; **ajustamento**: processo pelo qual cada organismo individual responde às pressões ambientais durante seu tempo de vida sem alterações genéticas. Ajustamentos são em geral não transmissíveis geneticamente; **aclimatação**: um tipo de ajustamento no qual as mudanças no corpo de um indivíduo respondem às pressões ambientais, como altas e baixas temperaturas, intensa radiação ultravioleta solar ou altitudes extremas, de forma que as mudanças anatômicas e fisiológicas são feitas por aclimatação e são usualmente reversíveis (O'NEIL, 2003).

responde às exigências do ambiente se dá em seu período de vida e não produz, necessariamente, alterações genéticas transmissíveis. Tal processo inclui diversas transformações pelas quais os Inuít tiveram que passar durante todo o período de aclimação ao frio. Para suportar tão baixas temperaturas, seus organismos tiveram que desenvolver mecanismos internos de proteção ao frio como, por exemplo, o aumento de fluxo sanguíneo periférico (STEIN; ROWE, 1999).

Além das diferenças fisiológicas relativas aos indivíduos de regiões mais quentes (tropicais e temperadas), esse povo só conseguiu se perpetuar no tempo devido às alterações em suas vestimentas, alimentação e cultura (MORAN, 1979). Para protegerem-se do frio, os Inuít desenvolveram uma vestimenta feita de diversas camadas de pele de foca que funcionam como isolantes térmicos, uma vez que as camadas de ar que se formam entre elas dificultam as trocas de calor com o meio externo (BOUSKILL et al., 2001). Por outro lado, seria inadequado se as vestimentas não possuíssem qualquer tipo de abertura, pois seriam desconfortáveis no verão, quando a temperatura externa se eleva (HAVENITH et al., 1990). Por isso, suas roupas têm diversos respiradouros, aberturas facilmente fechadas com laços. Os sapatos são confeccionados com o mesmo tipo de pele de foca e não possuem costuras, para impedir a entrada de umidade. Para assegurar que os pés permaneçam secos e protegidos do frio, eles usam meias revestidas internamente com uma camada de grama seca, que absorve a transpiração (MORAN, 1979).

Uma outra forma de ajustamento dos Inuít é a nutricional. Sua alimentação é rica em proteínas e carboidratos, substâncias essenciais para a síntese de energia. Porém, essa dieta não implica em um aumento excessivo da gordura corporal, já que as atividades exercidas e a exposição ao frio exigem um consumo excedente de calorias (MORAN, 1979). Essa “adaptação” está intimamente ligada a outra: a moderada pigmentação da pele, apesar de habitarem uma região de latitude norte muito alta. Esta é uma desvantagem para a produção de vitamina D₃, compensada pela alimentação, a base de peixes e mamíferos com grande quantidade de gordura, rica em D₃. Outros problemas, como a dieta com baixa taxa de cálcio, começam a ser superados com a proximidade de produtos alimentícios industrializados (SELLERS et al., 2003).

Alguns costumes desse povo também contribuem para a aclimação ao frio. Durante as temporadas de frio intenso, eles ficam sempre próximos uns aos outros, diminuindo a área de contato com as baixas temperaturas. Isso favorece a troca de calor entre os corpos, ao mesmo tempo em que diminui a perda de calor para o ambiente (MORAN, 1979).

Outro ajustamento fisiológico é o aumento do metabolismo celular, que reduz o risco de hipotermia, a queda excessiva da temperatura corpórea a um valor que impede a manutenção das atividades bioquímicas do organismo. Tal ajuste, além de diminuir o mal-estar causado pelo frio, faz com que a temperatura corpórea normal desses indivíduos seja mais elevada (MORAN, 1979).

Os Inuít são capazes de ativar a termogênese sem contração, ou seja, são capazes de produzir calor corpóreo sem que haja contração muscular (tremor). Essa

adaptação permite a economia de calorias, que seriam gastas para promover a contração dos músculos. A termogênese sem contração só é possível devido à presença de tecido adiposo multilocular (tecido adiposo marrom), cuja metabolização é mais lenta do que aquela dos tecidos adiposos de outros grupos humanos (KUROSHIMA, 1993). O tecido adiposo marrom é normalmente metabolizado por animais que hibernam (MORAN, 1979).

As extremidades do corpo dos Inuíts são mais quentes do que as de um homem típico de climas temperados. Além disso, o restabelecimento da temperatura das extremidades é bem mais rápido. Isso por que a intensa vasoconstrição dos seus membros é seguida, minutos depois, por uma vasodilatação e novamente pela vasoconstrição e assim sucessivamente. Esta alteração cíclica evita que a temperatura dos tecidos se torne crítica.

A sensibilidade ao frio dos Inuíts é menos intensa devido ao estímulo contínuo dos termorreceptores da pele, encarregados da sensação de frio. Quando um termoreceptor específico é exposto, durante muito tempo e com frequência, ao mesmo estímulo, o limiar do potencial de ação das células nervosas satura, impedindo a transmissão da informação neural e, conseqüentemente, da sensação térmica. Resta saber se esses ajustamentos se perpetuarão no conjunto da população e se caracterizarão, assim, como uma adaptação evolutiva.

IX. Origem da percepção sensorial no ser humano

As informações do mundo sensível, como sons, visões, cheiros, gostos, temperatura, pressão, dor, posição do nosso corpo e o movimento de partes dele, chegam a nós por meio dos sentidos. A todo o momento, coisas diferentes são percebidas pelos seres humanos, que ainda têm a tarefa de determinar como e quando reagir ou ignorar as informações que recebem. Essa organização e integração das várias percepções permitem que os seres humanos dêem algum sentido ao mundo. O processo de integração sensorial começa antes do nascimento e continua durante toda a vida, apesar do maior desenvolvimento se dar durante a adolescência. São as sensações cutâneas que permitem que uma criança recém-nascida comece a construir a base da diferenciação entre o mundo interno e externo a si própria (DAMÁSIO, 1999).

Os reflexos, por exemplo, podem ser compreendidos como reações automáticas desencadeadas por estímulos que sensibilizam receptores do sistema nervoso. Não há dúvidas de que, nos primeiros meses de vida, os reflexos predominam na atividade do bebê. Quando submetido a processos dolorosos, o recém-nascido imediatamente move-se com o intuito de se distanciar do objeto causador da dor (LEITEBAUM, 1976; CHAMBERLAIN, 1991). Os reflexos passam a ser significativos, do ponto de vista psicológico, quando acontecem integrados a atos mais complexos do comportamento (DAMÁSIO, 1999).

A pele é considerada, há bastante tempo, como um órgão fundamental para a percepção do mundo (SPITZ, 1968), mas ainda sabe-se pouco sobre seu desempenho em recém-nascidos. Uma série de observações realizadas em animais mamíferos confirmou que a pele tem um indiscutível significado funcional para o desenvolvimento fisiológico e psicológico (FÄRDIG, 1980). Por exemplo, comprovou-se que a mãe, ao lamber um filhote, ativa seus sistemas geniturinários, gastrintestinal e respiratório (SPITZ, 1968; ACOLET, 1989), mostrando a importância da pele como um dos órgãos primordiais para o desenvolvimento de um indivíduo.

Quanto à sensibilidade ao calor e ao frio, pesquisas comprovam que ela está presente desde o primeiro mês de vida do recém-nascido, embora o centro termorregulador ainda não esteja suficientemente desenvolvido (OKKEN, 95). O recém-nascido é capaz de sentir frio ou calor, porém não está apto a distinguir essas sensações. Ambas são apenas sensações desconfortáveis, como o são a dor e a fome. A percepção consciente requer maior amadurecimento neurológico, bem como aprendizagem mais adiantada, uma vez que implica na capacidade de organizar e interpretar impressões sensoriais (SAUER, 1995). À medida que o sistema nervoso se desenvolve, estímulos que desencadeiam reflexos vão provocando respostas menos automáticas. Por meio da experiência adquirida no exercício dos primeiros reflexos, desenvolve-se a atividade motora voluntária, ou seja, aquela que é exercida de maneira consciente, dependendo da vontade da criança (WHO, 1997).

X. Sensibilidade à temperatura

Apesar de a descoberta da especificidade dos termoreceptores não ser recente, durante vários anos pesquisadores a rejeitaram (HENSEL; BOMAN, 1960; WOLSK, 1971; BLIGH; HENSEL, 1973). Atualmente, já está comprovado que existem termoreceptores específicos para o calor e para o frio, apesar de existirem estruturas intermediárias cuja função ainda não foi bem determinada. Acredita-se que a sensação de frio seja desencadeada pelos bulbos terminais de Krause e a de calor pelos terminais de Ruffini (MUELLER, 1966), que comunicariam ao sistema nervoso central a sensação por uma série de variáveis de informação (GUYTON, 1999). Termoreceptores “frios” são células nervosas que têm o ritmo de atividade aumentado quando a temperatura decresce; termoreceptores “quentes” são células nervosas que têm o ritmo de atividade aumentado quando a temperatura aumenta (MUELLER, 1966). A uma temperatura constante, esses termoreceptores mantêm um ritmo contínuo de descargas, ou seja, os dois tipos de termoreceptores sofrem descargas contínuas e uniformes, gerando a sensação de temperatura neutra. A frequência dessas descargas é diretamente proporcional à temperatura da pele (GUYTON, 1999). Este tipo de reação é denominado de sensação térmica estática e é observado em uma faixa de temperatura entre 30 °C a 35 °C, a chamada zona de temperatura indiferente (ou neutra). Acima ou abaixo dessa faixa, desencadeia-se a sensação de calor ou frio, respectivamente.

Por outro lado, existem também sensações térmicas dinâmicas, que podem ser observadas durante as modificações de temperatura da pele (GUYTON, 1999). Essas sensações dependem de três parâmetros: temperatura anterior da pele, taxa de variação de temperatura e superfície cutânea sobre a qual incide o estímulo térmico. Quando a temperatura da pele for baixa (por volta de 28 °C), o limiar para as sensações de calor será grande e para as sensações de frio, pequeno. Desta maneira, uma pequena redução de temperatura provoca a sensação de frio. O contrário acontece quando a temperatura cutânea for alta, pois qualquer aumento de temperatura será suficiente para que o indivíduo sinta calor.

As dimensões da superfície cutânea são importantes para a determinação da sensação térmica, pois os limiares para as sensações de calor e de frio são maiores para áreas pequenas do que para áreas grandes (GUYTON, 1999). Também é interessante notar que algumas regiões específicas do corpo, como as pontas dos dedos, são mais sensíveis às mudanças de temperatura. Isto se deve ao fato de que as regiões cerebrais responsáveis pela sensação térmica de diferentes partes do corpo possuem tamanhos diferentes. Por exemplo, as costas representam uma região muito pequena no cérebro, enquanto as pontas dos dedos representam uma região bem maior (MUELLER, 1966; CHURCHLAND, 1988; CHURCHLAND; SEJNOWSKI, 1993).

A velocidade com a qual ocorrem as mudanças de temperatura não é tão significativa (SCHIMIDT, 1976), mas não pode ser desprezada. Quanto mais lenta for a variação térmica, maiores serão os limiares para a sensação de calor ou frio, ou seja, se a temperatura cutânea for lentamente diminuída, o tempo para que o indivíduo passe a sentir a sensação de frio será maior.

Quando há excitação excessiva dos termorreceptores, tanto para o frio quanto para o calor, o que se observa não é mais uma sensação térmica, mas uma sensação dolorosa. Fato interessante é a ocorrência de um fenômeno denominado frio paradoxal, que ocorre quando um indivíduo é submetido a temperaturas que normalmente ocasionariam sensação de calor muito intensa (acima de 42.0°C). Nesta circunstância, há a sensação repentina de muito frio, causada pela momentânea ativação dos receptores para o frio devido à temperatura muito elevada. É o que ocorre quando se entra em um banho muito quente: a primeira sensação que se tem é a de que a água está fria. Este é o único caso possível de um termoreceptor do frio ser estimulado por uma fonte de calor (MUELLER, 1966).

Várias pesquisas relacionam as respostas termorreguladoras à taxa metabólica do indivíduo e ao ambiente. A grande maioria delas refere-se ao indivíduo com a pele exposta. Um dos grandes desafios da ergonomia é conhecer como um indivíduo vestido alcança o conforto térmico. Nesse tipo de pesquisa procura-se estabelecer quais os fatores que determinam o microclima que se forma entre as roupas e a pele (ANDREEN et al., 1953). Diversos fatores influenciam a sensação térmica de um indivíduo vestido, entre eles o clima ambiente, características têxteis e o desenho da vestimenta, além da atividade específica do indivíduo (NIELSEN et al., 1989).

XI. Considerações finais

Neste trabalho, o fenômeno da sensação térmica é analisado em diversos níveis, abordando alguns aspectos do processo de diferenciação térmica no ser humano. Um dos objetivos do trabalho é o levantamento bibliográfico de assuntos relacionados com a percepção térmica, nas áreas da biofísica, psicofísica, antropologia e física. A intenção é fornecer subsídios para a elaboração e o desenvolvimento de materiais didáticos que possam ser usados junto com a experiência das três bacias ou, simplesmente, explicar o processo de sensação térmica. Já sabemos que os livros didáticos têm sido usados como referências definidoras de programas de curso e metodologia, além de serem oráculos de estudo para muitos professores. É essencial que os professores tenham subsídios, não só para explorar mais e melhor o conteúdo como para poder ter um olhar crítico sobre o material didático que usa, muitas vezes por imposição da sociedade escolar (MATTOS; GASPAR, 2003).

São apresentados argumentos que mostram a complexidade do emaranhado de recortes epistemológicos possíveis da experiência das três bacias. Por meio de exemplos vindos da fisiologia dos termorreceptores e da psicofísica da percepção, podemos compreender porque, a uma mesma temperatura, é possível ter diferentes sensações (neutra, frio e quente).

Essa experiência permite uma abordagem eminentemente interdisciplinar, que inclui os fenômenos físicos da troca de calor e as adaptações fisiológicas, psicológicas e culturais que podem alterar a percepção da temperatura; é possível compreender, ainda, fenômenos relativos à termodinâmica, à psicofísica e à antropologia. Esse conjunto de informações exige cuidado no seu uso e na aplicação de metáforas e analogias, que, muitas vezes, ao invés de melhorar a compreensão do objeto estudado, passam a substituí-lo. Os recortes e as perguntas epistemológicas que surgem dessa tentativa de recobrimento de espaços conceituais complexos dizem respeito às limitações das teorias científicas e à delimitação do seu objeto (MATTOS, 2000; FIEDLER-FERRARA; MATTOS, 2002).

Concluiu-se então que a interdisciplinaridade é um fator essencial para a reformulação de conteúdos didáticos e de instrumentos de ensino para a implementação da transversalidade. Para a efetivação das indicações metodológicas oferecidas nos Parâmetros Curriculares Nacionais é necessária a disponibilidade de material de cunho interdisciplinar, que permita uma leitura não-fragmentada da ciência, que dê noção da complexidade estrutural das teorias científicas e de suas relações com um “fazer ciência” ligado ao mundo cotidiano dos Homens.

Agradecimentos

Agradecemos aos árbitros que analisaram este trabalho, pelas sugestões que, efetivamente, melhoraram sua qualidade. Agradecemos também a cuidadosa revisão feita pela Profa. Dra. Cristina Simonetti.

Referências bibliográficas

ACOLET, D. Oxygenation, heart rate and temperature in very low birthweight infants during skin-to-skin contact with their mothers. **Acta. Ped. Scan.**, v. 78, p. 189-93, 1989.

AGUIAR JR., O. Calor e temperatura no Ensino Fundamental: o ensino e a aprendizagem numa perspectiva construtivista. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 1, p. 1-15, 1999. Publicação Eletrônica. Disponível em:
<www.if.ufrgs.br/public/ensino>

AGUIAR, O.; FILOCRE, J. O planejamento do ensino a partir de um modelo para mudanças cognitivas: um exemplo na física térmica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis**, v. 19, n. 3, p. 263-277, dez. 2002.

ALBUQUERQUE, I. **Entropia e a quantização da energia: cálculo termodinâmico de Planck**. 1988. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ANDREEN, J. H.; GIBSON, J. W.; WETMORE, O. C. Fabric evaluations based on physiological measurements of comfort. **Textile Research Journal**, n. 23, p. 11-23, 1953.

ARNOLD, M.; MILLAR R. Children's and lay adults' views about thermal equilibrium. **Int. J. Sci. Educ.**, v. 16, p. 405-420, 1994.

AURANI, K. Ensino de conceitos: estudo das origens da 2ª lei da termodinâmica e do conceito de entropia a partir do século XVII. In: HAMBURGER, A. I. (Org.). **Caderno de ensino de conceitos I**. São Paulo: IFUSP, 1988. p.713

BLAZEJCZYK K.; KRAWCZYK, B. The influence of climatic conditions on the heat balance of the human body. **Int. J. Biometeor.**, v. 35, n. 2, p. 103-106, 1991.

BLAZEJCZYK, K.; NILSSON, H.; HOLMÉR, I. Solar heat load on man, **Int. J. Biometeor.**, v. 37, n. 3, p. 125-132, 1993.

BLIGH, J.; HENSEL, H. Modern theories on location and function of the Thermoregulatory Centers in Mammals including man. **Advances in Biometerology**, v. 1, 1973.

BOUSKILL, L. M.; HAVENITH, G.; KUKLANE, K.; PARSONS, K. C.; WITHEY, W. R. Relationship between clothing ventilation and thermal insulation. **Am. Indust. Hygiene Assoc. J.**, v. 63, n. 3, p. 262–268, 2002.

CALLEN, h.b. **Thermodynamics and an Introduction do Thermoestatics**, 2^a ed. 1985. New York: John Wiley & Sons, 1960.

CAFAGNE, A. **Concepções em Termodinâmica: o senso comum e o conhecimento científico**. 1996. Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação, USP, São Paulo.

CANGUILHEN, G. **Ideologia e racionalidade nas ciências da vida**. Lisboa: Edições 70, 1977.

CANTO, E. L. **Ciências naturais: aprendendo com o cotidiano**. São Paulo: Moderna, 1999.

CEZAR, S.; BEDAFE **Ciências entendendo a natureza**. São Paulo: Saraiva, 1997.

CHAMBERLAIN, D. B. Babies don't feel pain: a century of denial in medicine. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUMCISION, II., 1991, São Francisco, California. **Proceedings...** p. 6-22.

CHURCHLAND, P. S. Reduction and the neurobiological basis of consciousness. In: MARCEL, A. J.; BISIACH, E. **Consciousness in Contemporary Science**. Oxford: Clarendon Press, 1988.

CHURCHLAND, P. S.; SEJNOWSKI, T. J. **The computational brain**. Massachusetts: MIT Press, 1993.

CLARK, A. Contemporary problems in the philosophy of perception. **Am. J. Psycho.**, v. 107, n. 4, p. 613-22, 1994.

CLOUGH, E. E.; DRIVER R. Secondary students' conceptions of the conduction of heat: bringing together personal and scientific views. **Phys. Educ.** v. 20, p. 176-182, 1985.

COLES, B. R. The absolute zero of temperature: Locke's enunciation of the concept. **Annals of Science**, v. 52, n. 5, p. 411-13, 1995.

DAMASIO, A. **The feeling of what happens: body, emotion and the making of consciousness**. London: William Heineman, 1999.

ELLIS, M. Postnatal hypothermia and cold stress among newborn infants in Nepal monitored by continuous ambulatory recording. **Arch. Dis. Child.**, v. 75, p. F42-F45, 1996.

FÄRDIG, J. A. A comparison of skin-to-skin contact and radiant heaters in promoting neonatal thermoregulation. **J. Nurse Midwifery**, v. 25, n. 1, p. 19-28, 1980.

FIEDLER-FERRARA, N.; MATTOS, C. R. Seleção e organização de conteúdos escolares: recortes na pandisciplinaridade. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 8., 2002, Águas de Lindóia. **Atas...** São Paulo: SBF, 2002. 1 CD.

GARDNER, H. **A Nova Ciência da Mente**. Edusp: São Paulo, 1985.

GOLDRING, H.; OSBORNE, J. Students' difficulties with energy and related concepts. **Phys. Educ.**, v. 29, p. 26-31, 1994.

GUYTON, A. C. **Tratado de fisiologia humana**. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 1999.

HAKEN, H. **Synergetics: an introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1978.

HAKEN, H. Synergetics: an overview. **Rep. Prog. Phys.**, v. 52, p. 515-553, 1989.

HARDY, J. D.; DUBOIS, E. F. Basal metabolism, radiation, convection and vaporization at temperatures of 22 oC to 35 oC. **The Journal of Nutrition**, v. 15, p. 477-497, 1938.

HAVENITH, G.; HEUS, R.; LOTENS, W. A. Clothing ventilation, vapour resistance and permeability index: changes due to posture, movement and wind. **Ergonomics**, v. 33, n. 8, p. 989-1005, 1990.

HENSEL, H.; BOMAN, K. K. Afferent impulses in cutaneous sensory nerves in human subjects. **J. Neurophysiol.** v. 23, p. 564-578, 1960.

HERTZ, J. A.; PALMER, R. G.; KROGH, A. S. Introduction to the theory of neural computation, lecture notes. **Santa Fe Institute – Studies in the Sciences of Complexity**. New York: Addison-Wesley Pub. Comp., 1991. v. 1.

JACOBSON, W. J.; BERGMAN, A. B. **Science activities for children**. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1983.

JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e a patologia do Saber**. Rio de Janeiro: Imago Editora, 1978.

JIN-YI, C. Teachers college students' conceptions about evaporation, condensation, and boiling. **Sci. Educ.**, v. 83, p. 511-526, 1999.

KLEIN, M. J. The development of Boltzmann's statistical ideas. In: **Acta Phys. Austriaca**, Supplementum X, Berlin: Springer Verlag, 1973.

KUROSHIMA, A. Brown adipose tissue thermogenesis as a physiological strategy for adaptation. **Japan J. Physiol.**, v. 43, p. 117, 1993.

LEITEBAUM, P. **Psicologia Fisiológica**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1976.

LOCKE, J. Some further considerations concerning our simple ideas of sensation. In: **An Essay concerning human understanding**. 1640. ILT Digital Classics, Institute for Learning Technologies, Columbia University, 1995.

LOPES, S.; MACHADO, A. **A matéria e a vida - 7a série**. São Paulo: Atual Editora, 1996.

LOUZADA, F. M.; MORENO, C. R. C.; BORTOLUCCI, J. A. **Ciências, natureza, tempo e espaço**. Belo Horizonte: Lê, 1999.

MATTOS, C. R. **Aplicações da mecânica estatística ao perceptron binário e ao processamento de imagens**, 1998. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MATTOS, C. R. Delimitação do Significado de Conceitos nas Teorias Científicas: A Física do Ensino-Aprendizagem. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 7., 2000, Florianópolis. **Atas...** São Paulo: SBF, 2000, 1 CD.

MATTOS, C. R.; GASPAR, A. El concepto de impenetrabilidad: de la ciencia producida a la ciencia transmitida. **Enseñanza de las Ciencias**. v. Extra, p. 189-190, 2002.

MATTOS, C. R. Entrando na era do ensino de entropia. In: HAMBURGER, A. I. (Org.). **Cadernos sobre ensino de conceitos em física IV**. São Paulo: Publicações IFUSP, 1991.

MATTOS, C. R. et al. Guia de Livros Didáticos: Ciências - 1a a 4a série - 2000/2001. In: MEC/SEF (Org.). Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). 1 ed. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto, v. 1, p. 453-635, 2000.

MATTOS, C. R. et al. Guia de Livros Didáticos: Ciências - 1a a 4a série - 1999. In: MEC/SEF (Org.). Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). 1 ed. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto, v. 1, p. 321-396, 1998.

MATTOS, C. R.; GASPAR, A. The “Science of textbooks”: some considerations about its role in science teaching. Submetido a **Science Education**, 2003.

MATTOS, C. R.; HAMBURGER, A. I. O Demônio de Maxwell como contribuição para o exercício da interdisciplinaridade. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 6., 1998, Florianópolis. **Atas...** São Paulo: SBF, 1998. 1 CD.

MEC - Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares para Cursos de Graduação**. 1998. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br>>

MIJEEVA, I. M.; MIJEEV, M. A. **Fundamentos de Termotransferência**. Moscou: **Mir**. 1979.

MORAN, E. F. **Adaptabilidade Humana**. São Paulo: Edusp, 1994.

MUELLER, C. G. **Psicologia Sensorial**. Rio de Janeiro: Zahar, 1966.

MURRAY, R. W. Temperature receptors. **Advances Com. Physiol. Biochem.**, v. 1, p. 117-175, 1962.

NIELSEN, R.; GAVHED, D. C. E.; NILSSON, H. Thermal function of a clothing ensemble during work: dependency on inner clothing layer fit. **Ergonomics**, v. 32, n. 12, p. 1591-1594, 1989.

NIGRO, R.; CAMPOS, M. C. C. **Ciências - 5a série**. São Paulo: Ática, 2000.

OKKEN, A. The concept of thermoregulation. In: Okken, A.; Koch, J. (Eds.). **Thermoregulation of Sick and Low Birth Weight Neonates**. Berlin: Springer-Verlag, 1995.

OLIVEIRA, M. **O átomo da conceituação grega à realização quantitativa européia**, 1993. Tese (Mestrado em Ensino de Ciências) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo.

O'NEIL, D. Human variation and adaptation tutorial. Disponível em: <http://anthro.palomar.edu/adapt/Default.htm>> Acesso em: 11 set. 2003.

OPPER, M.; KINZEL, W. Statistical Mechanics of Generalisation. In: **Physics of Neural Network**. Van Hemmen, J. L.; Domany E.; e Schulten K. (Eds.). Berlin: Springer-Verlag, 1996.

Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. In: MEC/SEMT (Org.). **Parâmetros Curriculares Nacionais**. 1 ed. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999.

PIAGET, J. **Biologia e Conhecimento**. Porto: Rés Editora, 1967.

SANTOS, E. M.; MATTOS, C. R. **Critérios epistemológicos: uma análise de livros didáticos de física**. Em preparação, 2003.

SAUER, P. Metabolic background of neonatal heat production, energy balance, metabolic response to heat and cold. In: Okken, A.; Koch, J. (Eds.). **Thermoregulation of Sick and Low Birth Weight Neonates**. Berlin: Springer-Verlag, 1995.

SCHMIDT, R. F. **Fisiologia Sensorial**. In: _____ (org.). São Paulo: EPU/Springer/Edusp, 1980.

SELLERS, E. A. C.; SHARMA, A.; RODD, C. Adaptation of Inuit children to a low-calcium diet. **Can. Med. Ass. J.**, v. 29. 168(9), p. 1141–1143, 2003.

SPITZ, R. A. **O Primeiro ano de vida**. 5a ed. São Paulo: Martins Fontes, 1968.

STEIN, P.; ROWE, B. **Physical Anthropology**. 7a ed. Boston: McGraw-Hill, p. 592, 1999.

STOTHERS, J. K. Head insulation and heat loss in the newborn. **Arch Dis Child**, v. 56, p. 530-534, 1981.

VIDEIRA, A. A. P. Boltzmann: um físico-filosofo. **Ciencia Hoje**, v. 16, n. 96, dez. 1993.

WISER, M.; CAREY, S. When heat and temperature were one. In: GENTNER; STEVENS (Eds.). **Mental Models**. London: Lawrence Publishers, 1983.

WOLSK, D. **Processos Sensorial**. São Paulo: Edusp, 1971.

World Health Organization (WHO) **Thermal protection of the newborn: a practical guide**. WHO/RHT/MSM/97.2. Nova York: World Health Organization, 1995.

ZOTTERMAN, Y. Thermal Sensations. In: FIELD, J.; MAGOUN, H. W.; HALL, W. E. (eds.). **Handbook of Physiology**. Section 1: Neurophysiology. Washington, D. C. Am. Physiol. Soc. v. I, n. 1, p. 431–458, 1959.