MESSIAS COSTA FONSECA
MARIA LÚCIA DE MORAES COSTA

Avaliação da UEPS

Avaliação da Aprendizagem

Diferenciações e Integrações de Conceitos

Demonstrações Experimentais

Conhecimentos Prévios

Mapas Conceituais

APRENDIZAGEM POR MEIO DE UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS

APLICANDO MAPAS CONCEITUAIS PARA O ENSINO DA PROPAGAÇÃO DO CALOR

MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

SBF SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

SUMÁRIO

1 Apresentação 2

2 Bases Teóricas da UEPS. 4

2.1 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) 4

2.2 Princípios e Conceitos da UEPS 5

2.3 Mapas Conceituais Para Acompanhar o Aprendizado 8

3 Etapas da UEPS Para o Ensino dos Modos de Transmissão do Calor 14

4 Orientações Didáticas Para as Etapas da UEPS 19

4.1 Produção de Mapas Conceituais. 19

4.2 Transferência do Calor: Aspectos Declarativos e Procedimentais 27

4.3 Os Conhecimentos Prévios dos Estudantes 28

4.4 Demonstrações Experimentais Para os Modos Transmissão do Calor ... 31

4.5 Os Modos de Transmissão do Calor em Seus Aspectos Mais Gerais 31

4.6 Diferenciação Progressiva dos Modos de Transmissão do Calor. 33

4.7 Reconciliação Integrativa de Conceitos e Leis do Transporte de Calor ... 40

4.8 Avaliação da aprendizagem 41

4.9 Avaliação da UEPS 42

REFERÊNCIAS 44

APÊNDICE A - Produção e Avaliação de Mapas Conceituais. 47

APÊNDICE B - Demonstrações Experimentais Investigativas. 67

APÊNDICE C - Temas Sobre Os Modos de Transmissão do Calor 74

APÊNDICE D - Teste Final com 6 Questões Objetivas, Modelo Enem. 86

ANEXO A -Textos para Conhecimento Introdutório, etapa 5 da UEPS 92

ANEXO B - Textos Para Diferenciação Progressiva do Assunto Principal 98

1 Apresentação

Este material oferece ao professor de Física, de Ensino Médio, uma proposta de UEPS para tornar significativa a aprendizagem de conteúdos sobre os modos de transmissão do calor. O objetivo é ampliar a estrutura de conhecimentos do estudante para o assunto, por meio de uma metodologia de ensino facilitadora da aprendizagem significativa. Para isto, fundamentamos a proposta na Teoria de Aprendizagem Significativa, de Ausubel, e nos mapas conceituais para engajar os estudantes nas atividades desenvolvidas e permitir ao professor acompanhar o crescimento cognitivo deles.

Para facilitar nossa linha de raciocínio, de início apresentaremos a base teórica de nossa proposta, discutindo o conceito de UEPS, os princípios e conceitos da teoria de aprendizagem significativa, de Ausubel, relevantes para a construção de uma UEPS e a importância dos mapas conceituais como uma técnica de avaliação reveladora de aprendizagem. Finalmente, procuraremos mostrar como toda essa discussão teórica nos motivou a criar uma UEPS, de nove 9 etapas, para abordar conceitos e princípios sobre os modos de transmissão do calor.

A seguir, discutiremos em detalhes as nove etapas de nossa proposta. Orientaremos o professor a capacitar os estudantes para a produção de mapas conceituais; apresentaremos um plano da estrutura conceitual do assunto, para que o professor conheça qual o percurso que nós utilizamos na UEPS para alcançar a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa dos conceitos. Auxiliaremos o professor nos testes de sondagem para identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes. Ajudaremos na utilização das demonstrações experimentais para facilitar a introdução do assunto. Orientaremos na diferenciação e reconciliação dos conceitos dos modos de transmissão do calor. E, finalmente, a avaliar a aprendizagem no teste final e a colher dos estudantes informações úteis para o aperfeiçoamento da proposta.

Este material que oferecemos ao professor, é fruto da dissertação de mestrado intitulada “UEPS para o ensino dos modos de transmissão do calor,

utilizando mapas conceituais para o acompanhamento do aprendizado", pertencente ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 37 UFPA. Acreditamos que ele contenha uma proposta inovadora de ensino, centrada no aprendiz, estimuladora de aprendizagem ativa, colocando o professor como mediador do processo de ensino e aprendizagem.

Encorajamos nossos colegas de profissão a pôr em prática nossa proposta. Acreditamos que ela seja útil para facilitar a aprendizagem e a obter um melhor rendimento dos nossos estudantes.

2 Bases Teóricas da UEPS.

2.1 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

UEPS é uma modalidade de sequência de ensino e aprendizagem fundamentada teoricamente, em particular, em pressupostos da teoria da aprendizagem significativa e de outras teorias com ela compatíveis (MOREIRA, 2016).

Tal como as sequências didáticas, são centradas no estudante, estimulam a aprendizagem ativa e colocam o professor como mediador do processo. São orientadas por tópicos específicos do conteúdo curricular, com aplicação relativamente curta em sala de aula.

Moreira (2016) esclarece que a expressão “potencialmente significativa” indica que o significado é sempre atribuído pelas pessoas e não uma propriedade das coisas. Portanto, não há obra significativa, aula significativa ou Unidades de Ensino Significativas, mas sempre Potencialmente Significativas. As UEPS são potencialmente significativas no sentido de que elas podem facilitar a assimilação do significado.

Moreira (2016) sugere os seguintes aspectos sequenciais para a construção de uma UEPS:

1. Definir o tópico específico de ensino;

2. Criar e propor situações para determinação do conhecimento prévio do estudante;

3. Propor situações-problema que podem funcionar como organizadores prévios;

4. Introduzir o assunto principal a partir de seus aspectos mais gerais;

5. Posteriormente, diferenciar o assunto principal em nível mais específico de detalhamento;

6. Dar continuidade a diferenciação progressiva, buscando a reconciliação integrativa;

7. Realizar a avaliação da aprendizagem;

8. Ao final, realizar a avaliação da UEPS.

Baseado nesses passos, criamos uma UEPS para os modos de transmissão do calor, onde cada etapa foi pensada para facilitar a aprendizagem significativa da etapa seguinte. Pensamos também num teste comparativo do desenvolvimento da estrutura cognitiva do estudante, antes e depois da experiência de ensino, como forma de avaliação do aprendizado.

A necessidade de uso da aprendizagem significativa e de avaliação da estrutura cognitiva dos estudantes nos orientou para uma revisão dos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel (MOREIRA, 2011), e dos mapas conceituais como ferramenta de avaliação.

2.2 Princípios e Conceitos da UEPS

A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel é um dos fundamentos deste trabalho porque trata das condições necessárias para que os estudantes possam aprender de maneira significativa. E um dos fatores determinantes é o conhecimento já adquirido pelo aprendiz (AUSUBEL apud MOREIRA, 2016). Sendo calcada na visão construtivista do conhecimento, esta teoria concebe a aprendizagem como um processo de construção e reconstrução do conhecimento. Para a teoria de Ausubel a aprendizagem, mais do que ganho de conhecimento, representa uma transformação no conhecimento já existente, algo de fundamental importância para o desenvolvimento da estrutura de conhecimento de um aprendiz.

Ausubel formulou as ideias iniciais de sua teoria ao longo de 1960 e apoiou-se para isso nos trabalhos do teórico construtivista Jean Piaget (BRAATHEN, 2011). Ausubel aprofundou seus estudos nos aspectos cognitivos da aprendizagem e preocupou-se com a aprendizagem que ocorria em sala de aula. Concluiu, ao final de suas pesquisas, que o fator cognitivo determinante na aprendizagem de um conteúdo é aquilo que o aprendiz já sabe sobre aquele conteúdo.

A necessidade de se ter conhecimentos prévios para a aprendizagem de novos conhecimentos, levou Ausubel a considerar a existência de dois tipos de aprendizagem: a aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa. A aprendizagem mecânica é aquela em que o sujeito adquire conhecimento sem significado, por falta de conhecimento prévio. Já a aprendizagem significativa é aquela em que os conhecimentos ganham sentido por se relacionar com as ideias que o sujeito já conhece (NOVAK, 2010).

Subsunçores são os conhecimentos especificamente relevantes que possibilitam dar sentido a outros conhecimentos (MOREIRA, 2011, p.28). O estado de desenvolvimento de um subsunçor varia com o tempo, de acordo com o ganho de aprendizagem significativa.

O conjunto de subsunçores inter-relacionados dinamicamente constitui a estrutura cognitiva de um indivíduo. Moreira (2011) salienta que “no âmbito da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, a estrutura cognitiva é um conjunto hierárquico de subsunçores dinamicamente inter-relacionados”.

É importante aqui observar que para Ausubel a aprendizagem significativa pode ser entendida como um processo de modificação dos subsunçores, levando ao desenvolvimento da estrutura cognitiva do aprendiz. Nesse sentido, podemos compreender a aprendizagem significativa como “uma mudança no conhecimento já existente” (BRAATHEN, 2011). Ou seja, quando um estudante aprende significativamente, seus subsunçores se modificam, gerando o desenvolvimento da estrutura cognitiva e, consequentemente, tornando o estudante mais apto para novas aprendizagens.

A estrutura cognitiva está sempre se reestruturando e se reelaborando durante o processo de aprendizagem significativa. E ela faz isso se utilizando de dois processos simultâneos: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

A diferenciação progressiva “é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos” (MOREIRA, 2011). Ou

seja, quando um estudante interage significativamente com um conhecimento novo, este conhecimento vai se associar aos conhecimentos já existentes em sua estrutura cognitiva. A partir daí acontece uma interação entre o novo conhecimento e o preexistente, de tal maneira que para o estudante ambos se modificam. A repetida utilização desse subsunçor para dar significados a novos conhecimentos modifica o próprio subsunçor, ampliando-o. É o processo de diferenciação progressiva.

Por outro lado, a reconciliação integrativa "é um processo da dinâmica da estrutura cognitiva, simultâneo ao da diferenciação, que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações" (MOREIRA, 2011). Trata-se, portanto, de uma reorganização da estrutura cognitiva que ocorre ao mesmo tempo, no curso da aprendizagem significativa, e que resulta também de interações entre subsunçores preexistentes na estrutura.

A diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa são usadas como princípios básicos para a organização de um conteúdo (AUSUBEL apud MOREIRA, 2016). A diferenciação progressiva, como princípio programático, refere-se à organização do conteúdo partindo de uma ideia mais inclusiva que vai sendo gradativamente diferenciada em níveis de detalhamento mais específico. Segundo Ausubel (apud Faria, 1989) esse princípio tem dois pressupostos básicos:

> a) É menos difícil para os seres humanos compreenderem os aspectos diferenciados de um todo previamente aprendido, mais inclusivo, do que formular o todo inclusivo a partir de suas partes diferenciadas previamente aprendidas; b) Num indivíduo, a organização do conteúdo de uma disciplina particular consiste em uma estrutura hierárquica na sua própria mente.

O princípio da reconciliação integrativa consiste em explorar relações entre ideias diferenciadas, apontando similaridades e diferenças entre conceitos.

Destacamos ainda que para a ocorrência da aprendizagem significativa há duas condições:

1. Material de aprendizagem potencialmente significativo (MOREIRA, 2016) e

2. O aprendiz deve escolher aprender significativamente (AUSUBEL apud NOVAK, 2000).

A primeira condição implica que o material de aprendizagem contenha informações, organizadas de forma lógica, mas que esteja dentro do alcance cognitivo do estudante, de modo que ele consiga relacionar com aquilo que já sabe. Moreira (2011) esclarece que "(...) o material deve ser relacionável a determinados conhecimentos e o aprendiz deve ter esses conhecimentos prévios necessários para fazer esse relacionamento de forma não arbitrária e não literal."

A segunda condição exige que o estudante opte por aprender significativamente. Embora a decisão seja do estudante, Novak (2000) recomenda que "o professor pode encorajar esta decisão, utilizando ferramentas adequadas, tais como os mapas conceituas". Outra forma de despertar a intencionalidade do estudante para a aprendizagem significativa seria propor situações-problema, em níveis crescentes de complexidade, ao longo da instrução (MOREIRA, 2016, p. 141).

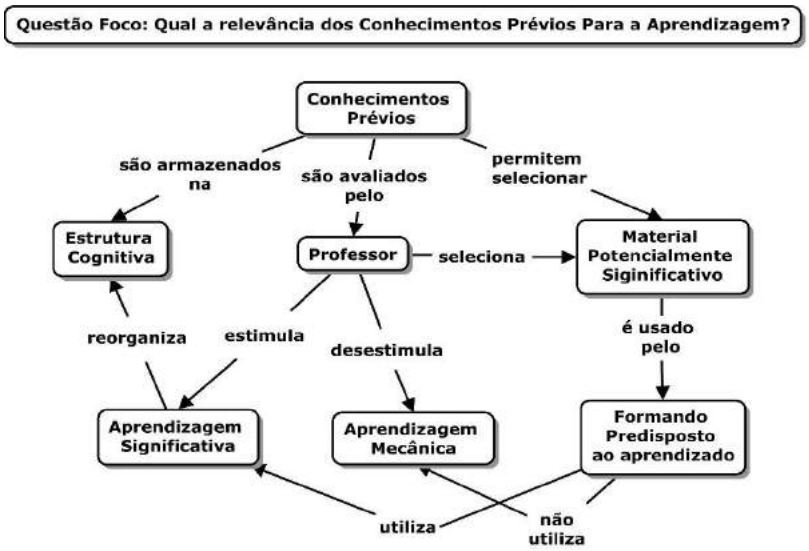
A decisão do estudante por aprender significativamente e a escolha do material significativo são condições fundamentais para a organização de um ensino na perspectiva da aprendizagem significativa. O professor avalia o conhecimento prévio do estudante, e com base nesta avaliação, seleciona o material e as estratégias potencialmente significativas e motiva o estudante a usá-lo para relacionar o novo conhecimento com o conhecimento prévio do estudante (NOVAK 2000; MOREIRA, 2016).

2.3 Mapas Conceituais Para Acompanhar o Aprendizado

Os mapas conceituais serão utilizados para avaliar a evidência de aprendizagem significativa. Embora possam ser úteis para encorajar o estudante a relacionar o novo conhecimento com o conhecimento prévio, nosso foco será utilizá-los como ferramenta de avaliação.

Mapas conceituais são redes hierárquicas de conceitos, com palavras de ligação para explicitar a relação entre os conceitos (NOVAK, 2010). Joseph Novak é considerado o criador desta ferramenta que tem como base a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. A figura 2.1, a seguir, ilustra um mapa conceitual, produzido por nós a partir da leitura da obra Aprender, Criar e Utilizar o Conhecimento, de Novak (2010).

Figura 2.1: Exemplo de mapa conceitual.



Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CmapTools.

Os termos que aparecem envolvidos por retângulos são chamados de conceitos. Segundo Novak (1999), conceito é “uma regularidade nos acontecimentos ou nos objetos que se designa mediante algum termo”. Os conceitos ligados por um termo de ligação constituem uma proposição. A questão colocada na parte superior direita do mapa, é chamada de pergunta focal e a disposição gráfica das informações, em forma radial, damos o nome de hierarquia conceitual. A compreensão destes elementos, juntamente com a necessidade de revisão do mapa, pode nos ajudar a produzir bons mapas conceituais (AGUIAR & CORREIA, 2013).

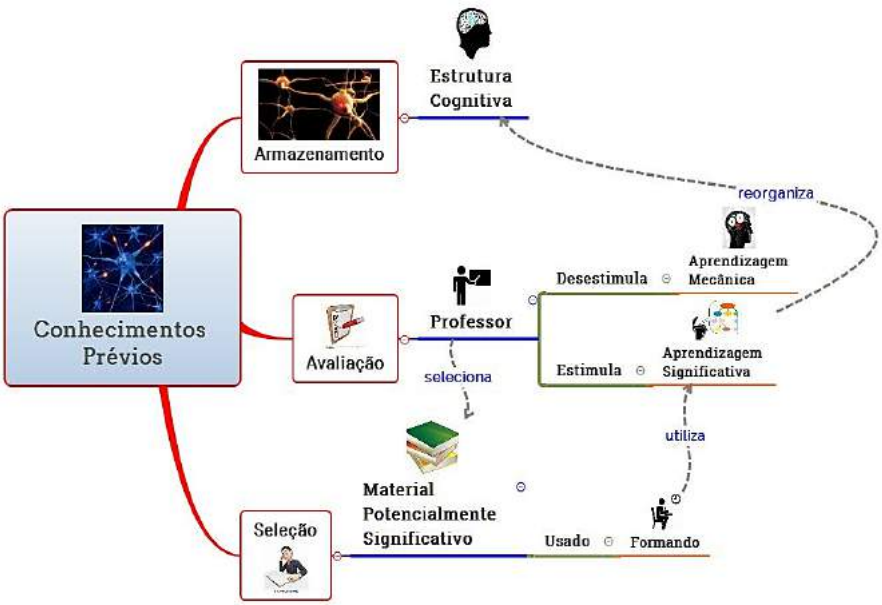
Os mapas conceituais podem ser confundidos com mapas mentais, mas diferenciam-se dos mapas mentais na forma como se estabelecem as associações.

Os mapas conceituais associam apenas conceitos. Já os mapas mentais associam palavras, imagens, cores, números etc., ou seja, coisas que não são necessariamente conceitos.

Os mapas conceituais explicitam as relações entre os conceitos. Os termos de ligação entre os conceitos se encarregam disso. Nos mapas mentais, todavia, não há termos de ligação para explicitar o sentido das associações. O mapeador não deixa claro qual o significado das cores, das associações entre imagens e os termos-chave que utiliza no mapa.

A figura 2.2, a seguir, ilustra um mapa mental dos conceitos que utilizamos para compor o mapa conceitual da Figura 2.1.

Figura 2.2: Mapa mental da Figura 2.1.



Fonte : Autor, 2019. Elaborado no XMind 8.

Os mapas conceituais, mais do que associar, revelam como os conceitos se relacionam. Isso talvez os torne mais adequados para representar informação e conhecimento.

Os mapas conceituais também diferem dos esquemas. Segundo Novak (1999, p. 94), os esquemas e os mapas conceituais distinguem-se em três aspectos:

1. Seletividade. O trabalho de seleção dos conceitos e dos termos de ligação conferem aos mapas conceituais uma linguagem mais enxuta. Os esquemas misturam exemplos, conceitos e proposições numa matriz hierárquica, mas que não é capaz de mostrar as relações de subordinação e supra ordenação entre os conceitos e as proposições.

2. Hierarquização. Nos mapas conceituais, os conceitos são organizados por ordem de importância, indo dos mais inclusivos para os menos inclusivos. A hierarquização permite visualizar facilmente como duas ou mais proposições se relacionam dentro da rede proposicional.

3. Impacto Visual. As relações hierárquicas entre conceitos, proposições e ligações cruzadas são mais realçadas visualmente nos mapas conceituais que nos esquemas.

Novak (1999) ressalta que os esquemas e os mapas conceituais são úteis para a planificação de um assunto. Esclarece que “embora as nossas mentes pareçam funcionar hierarquicamente, para estabelecer uma rede de conceitos inter-relacionados, a educação é necessariamente sequencial” (p. 98). Ou seja, os mapas conceituais podem nos ajudar na organização das relações conceituais e proposicionais que queremos ensinar, mas depois esta organização deve ser traduzida em uma sequência de ideias. O esquema a seguir que foi produzido a partir das informações do mapa conceitual da Figura 1.1.

Quadro 1 - Esquema das informações do mapa conceitual da Figura 2.1.

ESQUEMA - Novak, J.D. Aprender criar e utilizar o conhecimento, cap. 5.
Conhecimentos Prévios

1) Armazenamento dos Conhecimentos Prévios:

Os conhecimentos prévios são armazenados na estrutura cognitiva do formando e servem de base para construção de novos conhecimentos.

2) Material Potencialmente Significativo:

Os conhecimentos prévios dos formandos são avaliados pelo professor e com base nesta avaliação o professor seleciona os materiais de ensino potencialmente significativos.

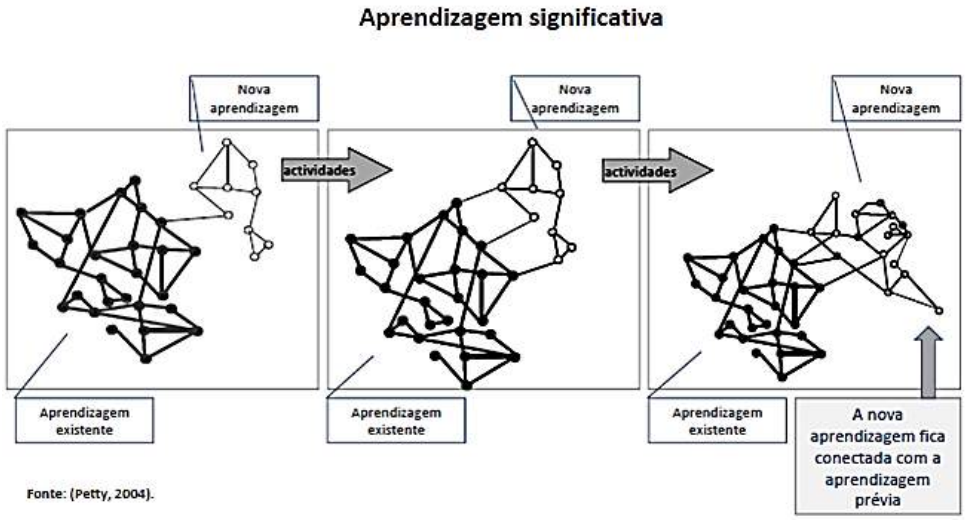
3) Papel do Professor:

O professor encoraja o formando a usar o material potencialmente significativo. O professor estimula a aprendizagem significativa e desestimula a aprendizagem mecânica. A aprendizagem significativa produz reorganizações construtivas na estrutura de conhecimentos do formando.

Fonte: Autor, 2019.

Depois de esclarecer o que são os mapas conceituais, vamos a discussão de um de seus aspectos mais importantes, que justifica seu uso como técnica de avaliação: a forma de representar o processo de construção da aprendizagem. Segundo Novak (1988) “os mapas conceituais constituem um método para mostrar, tanto ao professor quanto ao aluno, que aconteceu uma autêntica reorganização cognitiva”. A Figura 2.3, dada a seguir, ilustra como ocorre a reorganização da estrutura de conhecimento de um indivíduo durante o processo de aprendizagem significativa.

Figura 2.3: Reorganização cognitiva durante a aprendizagem significativa.



Fonte: Petty, 2004

Na ilustração, temos inicialmente os conhecimentos prévios do aprendiz representado pela rede escura e, logo acima, uma nova informação representada pela rede mais clara. Se a nova informação encontra algum subsunçor na estrutura preexistente, ela interage com a estrutura e então assimilada e acomodada por ela. Como resultado, a nova informação ganha significado e a estrutura preexistente é reorganizada. Observe que durante o processo não há apenas um acúmulo de conhecimento, mas também uma transformação do conhecimento. Portanto, a aprendizagem significativa é um processo empoderador, porque ela capacita o aprendiz para novas aprendizagens. E esse processo de ganho de significado pode ser representado pelos mapas conceituais.

3 Etapas da UEPS Para o Ensino dos Modos de Transmissão do Calor

A construção desta UEPS para o ensino dos Modos de Transmissão do Calor é fruto de toda nossa discussão teórica do capítulo anterior. Suas etapas são as seguintes:

Etapa 1: Capacitar os Estudantes Para a Produção de Mapas Conceituais;

Etapa 2: Definir os Modos de Transmissão do Calor em Seus Aspectos Declarativos e Procedimentais;

Etapa 3: Identificar os Conhecimentos Prévios dos Estudantes;

Etapa 4: Utilizar Demonstrações Experimentais Para Facilitar Introdução do Modos de Transmissão do Calor;

Etapa 5: Apresentar os Modos de Transmissão do Calor em Seus Aspectos Mais Gerais;

Etapa 6: Diferenciar Progressivamente os Modos de Transmissão do Calor;

Etapa 7: Reconciliar Conceitos e Leis do Transporte do Calor;

Etapa 8: Avaliar a Aprendizagem;

Etapa 9: Avaliar a UEPS.

A seguir, apresentamos um quadro sintético dos momentos e da duração de cada etapa da proposta.

Quadro 2 - Etapas da UEPS, procedimentos e duração.

Etapas da UEPS	Atividades Propostas	Duração
1. Capacitar os Estudantes Para a Produção de Mapas Conceituais	● Aula sobre mapas conceituais.	3 aulas de 45 minutos

	● Instrução para o uso do programa Cmaptools. ● Produção de mapas conceituais de temas livres pelos estudantes. (produção do 1º mapa conceitual)	cada
2. Definir os Modos de Transmissão do Calor em Seus Aspectos Declarativos e Procedimentais	● Construir mapa conceitual para definir objetivos e procedimentos a serem alcançados na diferenciação progressiva e reconciliação integrativa dos modos de transmissão do Calor.	1 aula de 45 minutos
3. Identificar os Conhecimentos Prévios dos Estudantes	Testes de sondagem. ● Teste 1: Questionário com 3 questões abertas sobre os modos de transmissão do calor. ● Teste 2: Mapa conceitual sobre os modos de transmissão do calor. (produção do 2º mapa conceitual)	1 aula de 45 minutos cada
4. Utilizar Demonstrações Experimentais Para Facilitar a Introdução dos	● Demonstrações experimentais acompanhadas de	Tempo incluso nas etapas 5 e 6

Modos de Transmissão do Calor	perguntas investigativas para facilitar a introdução dos modos de transmissão do calor.	
5. Apresentar os Modos de Transmissão do Calor em Seus Aspectos Mais Gerais	● Leitura de textos sobre a natureza do calor e o modelo cinético-molecular da matéria. ● Aula orientada pelas respostas aos exercícios de compreensão dos textos e finalizada com uma visão geral dos modos de transmissão do calor.	1 aula de 45 minutos
6. Diferenciar Progressivamente os Modos de Transmissão do Calor	● Leitura de textos sobre os modos de transmissão do calor: condução, convecção, radiação, leis de Fourier e Stefan-Boltzmann. ● Aulas com construção de mapas conceituais em colaboração com os estudantes. ● Produção e avaliação de mapas conceituais dos estudantes.	5 aulas de 45 minutos cada

	(produção do 3º mapa conceitual)	
7. Reconciliar Integrativamente Conceitos e Leis do Transporte do Calor	● Sorteio de temas sobre os modos de transmissão do calor. ● Exposição e avaliação de temas em forma de mapas conceituais. (produção do 4º mapa conceitual)	1 aula de 45 minutos
8. Avaliar Aprendizagem	Testes de sondagem final. ● Repassar testes 1 e 2 da Etapa 3. (produção do 5º mapa conceitual)	1aula de 45 minutos
9. Avaliar a UEPS	● Dinâmica de grupo com avaliação de pontos positivos e negativos da UEPS pelos estudantes.	1aula de 45 minutos

Fonte: autor, 2019.

Nossa proposta de UEPS prevê um tempo total de 14 aulas, de 45 minutos cada, para trabalhar o conteúdo. Embora se precise de menos tempo para se trabalhar este conteúdo com o ensino tradicional, acreditamos que os ganhos com a nossa proposta sejam superiores, em termos de aprendizagem dos nossos estudantes. Para se diminuir o número de aulas, o professor pode trabalhar o treinamento em mapas conceituais em outro momento, talvez em

projetos paralelos desenvolvidos na escola ou por meio de instruções virtuais. Estamos convencidos que um tempo gasto com treinamento representam um ganho de desempenho dos estudantes no ano letivo. Acreditamos, também, que o professor possa otimizar a etapa 6, apresentando suas aulas sobre os modos de transmissão de calor em forma de mapas conceituais, sem precisar construí-los, a partir da leitura dos textos, com a colaboração dos estudantes. Presumimos que há outras formas de se trabalhar com esta UEPS, otimizando o número de aulas requeridos por suas etapas.

4 Orientações Didáticas Para as Etapas da UEPS

4.1 Produção de Mapas Conceituais

Objetivo Geral:

Capacitar os formandos para a produção de mapas conceituais a fim de ajudá-los a representar melhor os conhecimentos e possibilitar ao professor acompanhar o desenvolvimento cognitivo deles durante a UEPS.

Objetivos Específicos:

● Definir conceitos e usá-los para representar objetos e eventos.

● Definir proposições e utilizá-las para representar relações conceituais.

● Destacar a importância da questão focal para delimitar a finalidade do mapa conceitual.

● Destacar a importância da hierarquia conceitual para organizar a rede de conceitos.

● Produzir um mapa conceitual em papel 40Kg e no CmapTools.

Conteúdos: mapas conceituais, conceitos, proposições, questão focal, hierarquia conceitual.

Procedimentos: aulas expositivas para definir mapas conceituais e seus elementos caracterizadores e para orientar os formandos na instalação e uso do programa CmapTools para produção de mapas conceituais.

Recursos: tutoriais para produção de mapas conceituais e instalação do programa CmapTools (Apêndice A), folhas de papel “40 Kg” e etiquetas (Post-it), em quantidade suficiente para o uso dos alunos, datashow.

Duração: 3 aulas de 45 minutos.

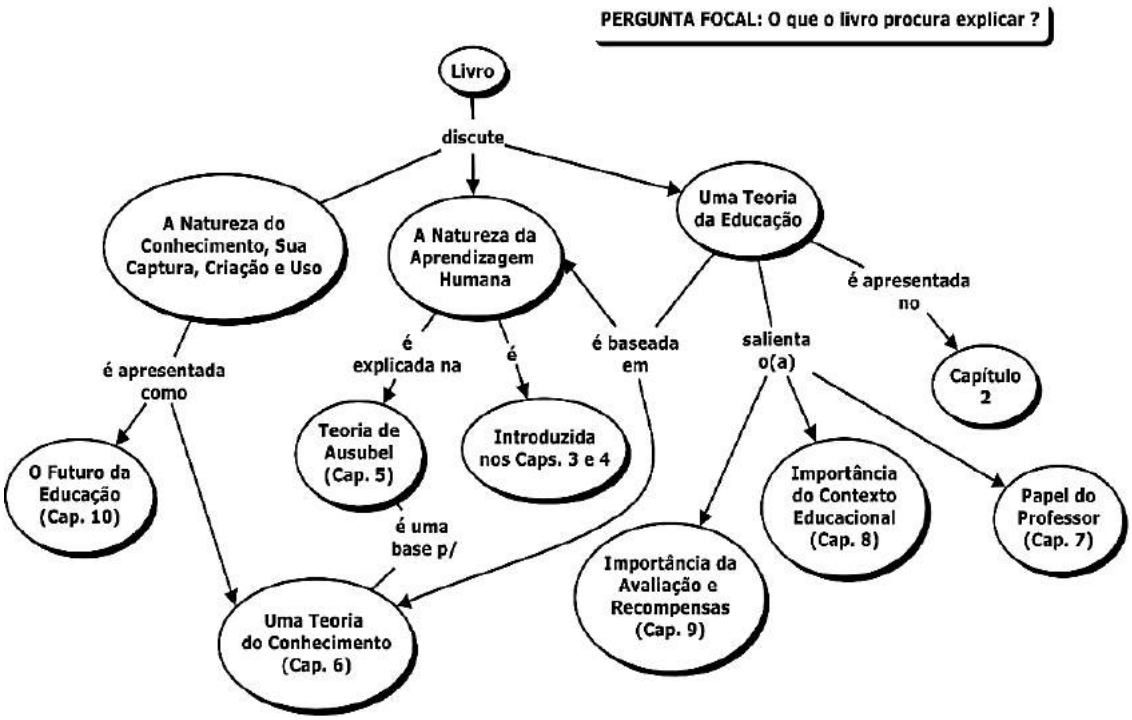
Avaliação: avaliação dos mapas conceituais produzidos pelos formandos com base nos objetivos específicos.

Orientações Didáticas

1. Aulas sobre mapas conceituais

Defina e ilustre mapas conceituais e seus elementos de composição: conceitos, proposições, hierarquia conceitual, pergunta focal e a necessidade de revisão contínua do mapa. A Figura 4.1, dada a seguir, ilustra um mapa conceitual.

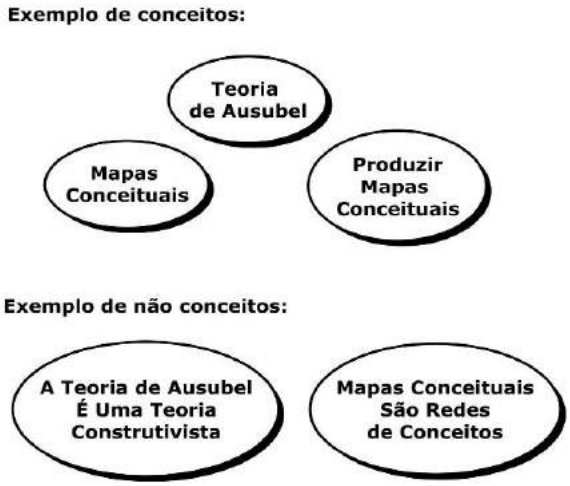
Figura 4.1 - Mapa conceitual e seus elementos característicos.



Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CmapTools

Em seguida, defina “conceito” como uma regularidade percebida nos objetos e acontecimentos e ilustre-o, como mostra a Figura 4.2, a seguir:

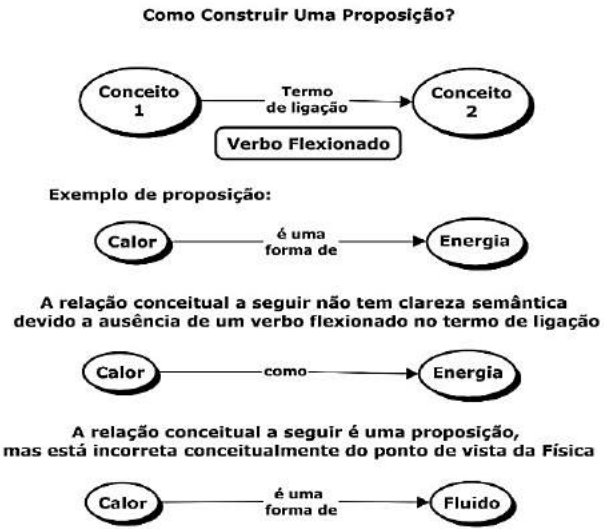
Figura 4.2 - Diferença entre conceito e não conceito.



Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CmapTools.

Depois, defina “proposições” como a relação entre dois conceitos mediada por uma palavra de ligação que dá significado à relação. Faça os estudantes perceberem da necessidade de se usar um verbo flexionado no termo de ligação, para dar clareza de sentido à relação conceitual. Isto é ilustrado na Figura 4.3, a seguir:

Figura 4.3 - Exemplo de construção de proposição.

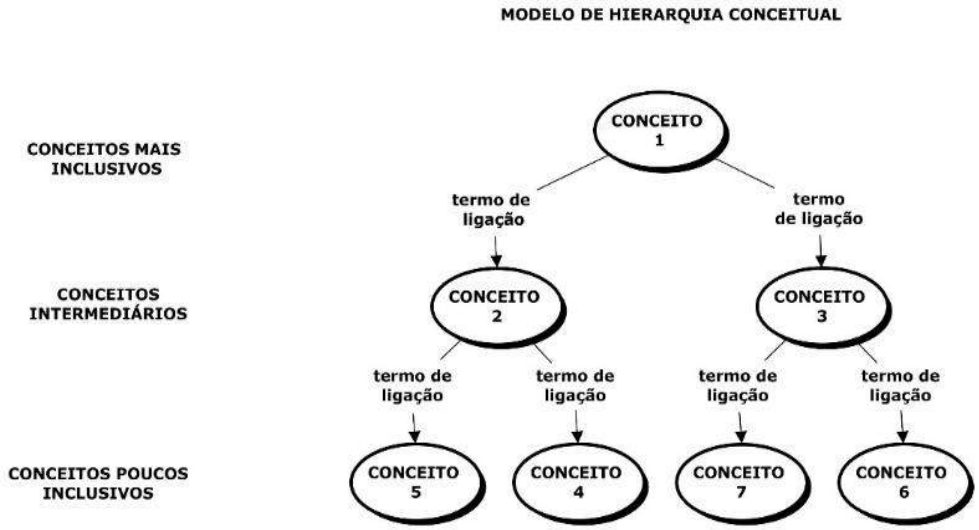


Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CmapTools.

Finalmente, defina a pergunta focal como um recurso de controle do tamanho do mapa e a hierarquia conceitual como uma forma gráfica de

organização dos conceitos por ordem de importância. Ilustre o conceito de hierarquia conceitual, como na Figura 4.4, a seguir:

Figura 4.4 - Exemplo de hierarquia conceitual.



Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CmapTools.

2. Instalação e uso do CmapTools

Inicie a aula instalando o programa Cmaptools (APÊNDICE B). Em seguida, depois de instalado, utilize o aplicativo para demonstrar aos estudantes a produção de mapa conceitual a partir da leitura de um texto.

Para isso, apresente inicialmente aos estudantes o roteiro a seguir para a produção de mapas conceituais (APÊNDICE B), que construímos com base nos trabalhos de Aguiar & Correia (2013):

➢ **Formule uma questão focal**: Se for um texto didático de Física, procure saber por que o texto tem a unidade que tem? Que questão ele procura responder?

Identifique uma questão de foco para a qual as informações do texto sejam uma resposta.

➢ **Organize hierarquicamente os conceitos**: Orientado pela questão focal, identifique os conceitos pertinentes à questão e liste-os. Distribua

hierarquicamente os conceitos em duas dimensões e os ordene, a partir dos conceitos mais gerais para os mais específicos. A identificação da unidade do texto e das informações de apoio poderão ser úteis na classificação dos conceitos.

➢ **Formule proposições semanticamente claras**: Trace linhas entre os conceitos e explicite claramente a relação conceitual por meio de termos de ligação. Não esqueça de utilizar um verbo flexionado no termo de ligação.

➢ **Revise o mapa**: Os mapas funcionam como imagens estáticas da estrutura de conhecimentos sobre determinado assunto. Como essa estrutura é dinâmica, os mapas precisam ser revisados. Não por uma limitação da técnica, mas por conta da natureza da aprendizagem que é processual.

Em seguida, leia o texto “iglu”, orientando-se pelo roteiro.

Texto 1: Casa de gelo (iglu)

A casa de gelo (iglu) é um abrigo feito de neve endurecida (gelo), utilizado por povos que habitam regiões de frio extremo, como o polo norte do Alasca e o continente Ártico (Polo Norte). Para construir tais abrigos, esses povos cortam grandes blocos de gelo e os organizam para formar uma cúpula que é completada com um único bloco na parte superior. A forma arredondada é importante para que a neve, ao cair, escorregue, evitando que o sobrepeso cause o desmoronamento da construção.

A forma arredondada possibilita que seja feita uma fogueira na parte central, região mais fria, e que as pessoas fiquem nas laterais, onde desce o ar mais quente devido à convecção.

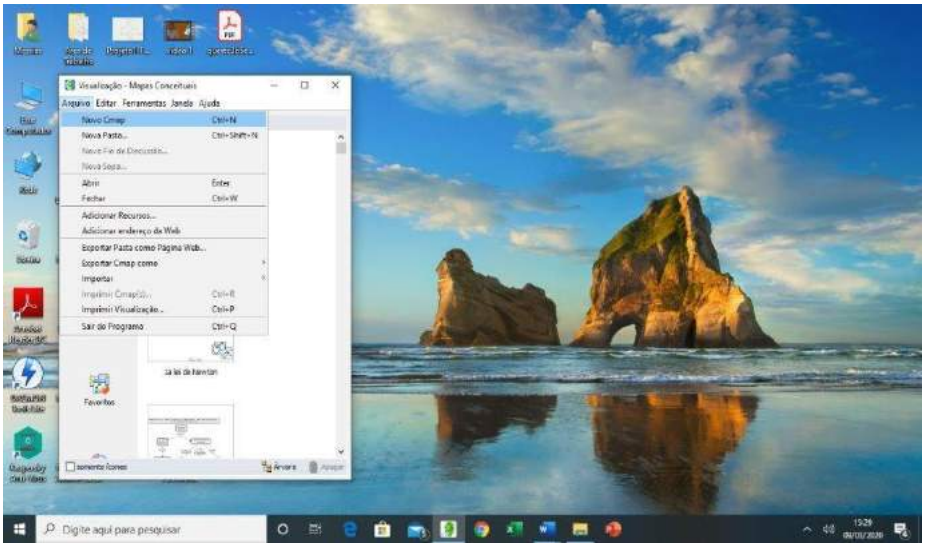
Como o gelo apresenta coeficiente de condutibilidade térmica pequeno (2.10^{-4} cal/s.cm. ^{o}C), ele pode ser considerado um bom isolante térmico. Assim,

o calor produzido no interior do iglu pela transpiração e respiração das pessoas, bem como a energia resultado da queima de óleo de foca ou outro combustível, permanece no interior, aquecendo o ar. Enquanto isso a temperatura externa pode chegar a -50ºC no inverno.

Fonte: Villas Boas, Newton, 2016.

Em seguida, acesse a área de trabalho do CmapTools e abra a opção “arquivo”, e clique em “Novo Cmap”, conforme é mostrado na Figura 4.5, dada a seguir:

Figura 4.5 - Acessando em "novo Cmap" na janela do CmapTools.



Fonte: autor, 2019.

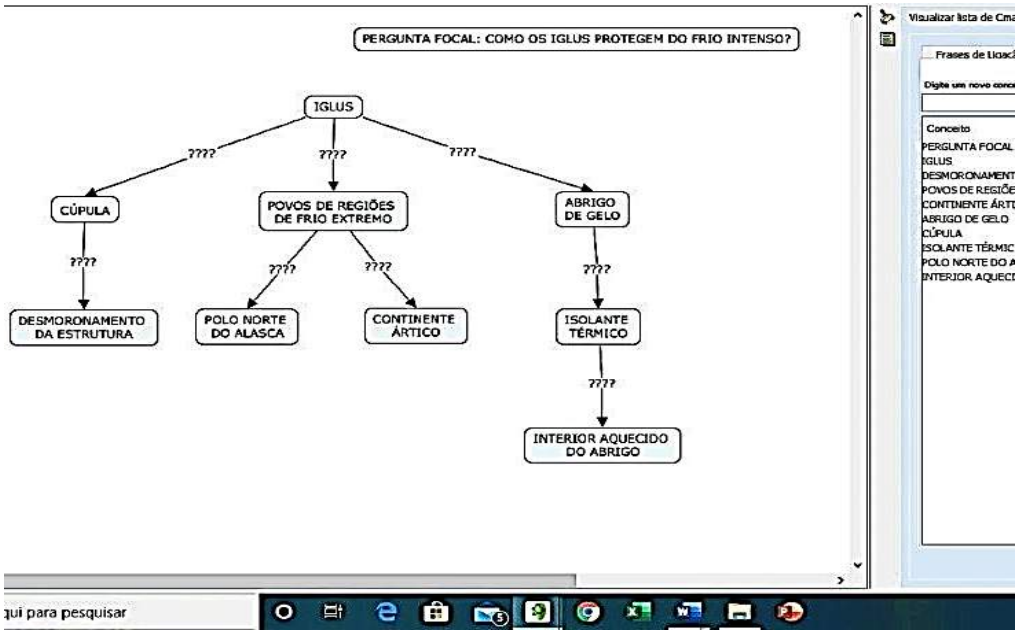
Na caixa de texto da opção “conceitos”, formule a pergunta focal e liste-os conceitos mais importantes para o entendimento do texto. Este procedimento é mostrado na Figura 4.6, dada a seguir.

Figura 4.6 - Criando uma lista de conceitos na caixa de texto do CmapTools.

Fonte: autor, 2019.

Na sequência, organize hierarquicamente os conceitos por ordem de importância, dos mais inclusivos para os menos inclusivos, conforme é indicado na Figura 4.7, dada abaixo.

Figura 4.7 - Organizando hierarquicamente os conceitos no cmapTools.



Fonte: autor, 2019.

Depois, escreva o termo de ligação para explicitar a relação conceitual dos pares de conceitos. Oriente os estudantes a incluir um verbo flexionado no termo de ligação, para garantir a clareza das relações conceituais, chegando ao mapa conceitual, mostrado na Figura 4.8, dada a seguir:

Figura 4.8 - Mapa conceitual final produzido no CmapTools.

Fonte: Autor, 2019.

No final, solicite aos estudantes que escolham um tema livre para a produção colaborativa de mapas conceituais, para serem apresentados e avaliados na aula seguinte.

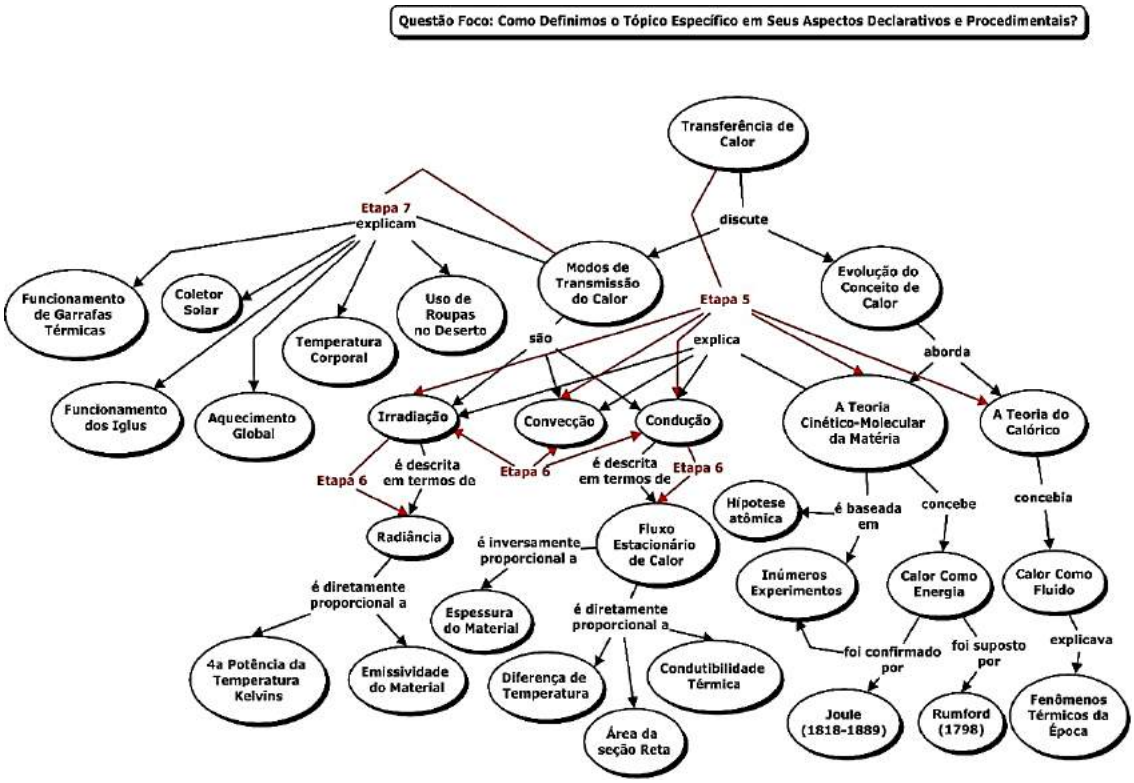
3. Avaliação de mapas conceituais produzidos pelos estudantes

Na aula seguinte, avalie os mapas conceituais produzidos, com base nos objetivos específicos estabelecidos para esta etapa.

4.2 Transferência do Calor: Aspectos Declarativos e Procedimentais

Observe o mapa conceitual da Figura 4.9, dada a seguir:

Figura 4.9 - Plano de ensino para os modos de transmissão do calor.



Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CampTools.

As linhas em vermelho indicam o percurso da UEPS, nas etapas 5,6 e 7, para o alcance da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa dos conteúdos sobre os modos de transmissão do calor. Na etapa 5, as linhas indicam que discutiremos a evolução do conceito de calor, passando pelo modelo cinético-molecular até a apresentação dos modos de transmissão do calor em seus aspectos mais gerias. Na etapa 6, elas indicam que diferenciaremos progressivamente os modos de transmissão do calor, discutindo os conceitos condução, convecção, radiação, fluxo de calor e radiância. Finalmente, na etapa 7 faremos a reconciliação integrativa, discutindo situações que envolvem a aplicação desses conceitos e das leis do transporte do calor.

Com base nessas informações, esclarecemos os objetivos a serem alcançados nas etapas 5, 6 e 7 da UEPS, conforme o quadro, a seguir:

Objetivo Geral:

● Propiciar aos estudantes um entendimento básico dos conceitos e leis do transporte do calor.

Objetivos Específicos:

● Diferenciar a Teoria do Calórico da Teoria Cinético-Molecular da matéria;

● Explicar os modos de transmissão do calor com base na Teoria Cinético-Molecular da matéria;

● Identificar os fatores que influenciam o fluxo de calor no interior de um material;

● Identificar os fatores que influenciam a potência térmica irradiada por uma superfície;

● Aplicar conceitos e leis da transmissão do calor em novas situações-problema.

4.3 Os Conhecimentos Prévios dos Estudantes

Objetivo: conhecer a estrutura inicial de conhecimento dos formandos sobre os modos de transmissão do calor.

Recursos: questionário, papel A4 e post-it, Cmaptools.

Procedimentos: orientação dos formandos para a realização de 2 testes de sondagens: teste 1 contendo questões sobre trocas de calor e teste 2, mapa de conceitos-chave sobre os modos de transmissão do calor.

Duração: 1 aula de 45 minutos.

Orientações Didáticas

Convide os estudantes a realizarem os testes de sondagem a seguir:

Atividade 1: Teste de sondagem

1ª Questão: Na série de TV “Todo mundo odeia o Chis”, Chris, descalço, sai do quarto, de piso de madeira, e dirige-se para o banheiro, com piso de cerâmica. Rochelle grita:

— Chris is is is is..., não pise esse chão gelado, garoto!

— Chris assustado, responde:

— Mãe, não se preocupe, está tudo na mesma temperatura!

Com qual das hipóteses você concordaria: com a de Rochelle ou com a de Cris? Justifique.

Resposta:_____

_____

_____

2ª Questão: Ao aquecer a água em uma panela, a porção de água que está em contato com o fundo da panela se aquece primeiro. Como você explica o aquecimento da água que está na região de cima da panela? Justifique.

Resposta:_____

_____

_____

3ª Questão: Numa xícara você coloca café. Numa outra xícara, idêntica, você coloca a mesma quantidade de leite. Ambos, café e leite, estão à temperatura de 80ºC. Qual deles esfria mais depressa? Justifique.

Resposta:_____

_____

A seguir, temos a segunda parte das atividades de sondagem. Convide os estudantes a produzirem um mapa conceitual, com conceitos-chave, sobre os modos de transmissão do calor.

Atividade 2: Relação conceitual

A seguir você dispõe de uma lista de conceitos-chave, em ordem aleatória, do conteúdo de Física que pretendemos estudar. Para avaliar o seu conhecimento sobre o assunto sugerimos, nesta atividade, a construção de um mapa conceitual com esses conceitos.

Orientação para a elaboração do mapa:

Diferencie os conceitos mais gerais dos mais específicos: distribua os conceitos numa folha de papel da maneira que preferir, respeitando a seguinte regra: os conceitos mais gerais (mais inclusivos) devem ser escritos dentro de retângulos; os conceitos intermediários, escritos em círculos e os mais específicos, sem nenhuma figura geométrica.

Relacione os conceitos por meio de linhas: em seguida, trace linhas ligando aqueles conceitos que, no seu entender, estão mais relacionados entre si.

Numere as linhas e esclareça a relação: numere cada linha traçada e no espaço livre da folha explique o que representa cada linha.

Conceitos:

Calor	Fluxo de calor
Condução térmica	Ondas eletromagnéticas
Radiação térmica	Convecção
Condutibilidade térmica	Emissividade
Radiância	Temperatura absoluta
Diferença de temperatura	Espessura do material
Área da secção reta do material	

4.4 Demonstrações Experimentais Para os Modos Transmissão do Calor

Objetivo: utilizar demonstrações experimentais como situações-problema para facilitar a introdução dos modos de transmissão do calor.

Duração: inclusa nas aulas da etapa 6 da UEPS.

Recursos: seis (6) demonstrações experimentais sobre transferência de calor, materiais e objetos utilizados nos experimentos.

Orientações Didáticas

Nossas demonstrações experimentais foram projetadas para introduzir os conteúdos a serem trabalhados na etapa 6 da UEPS. Utilizaremos as demonstrações 1, 2, 3 e 4 para introduzir, respectivamente, as aulas sobre condução, convecção e radiação. Utilizaremos as demonstrações 5 e 6 para introduzir, respectivamente, as aulas sobre a leis de Fourier e de Stefan-Boltzmann. (ANEXO B).

4.5 Os Modos de Transmissão do Calor em Seus Aspectos Mais Gerais

Objetivo Geral:

Apresentar os modos de transmissão do calor em seus aspectos mais gerais.

Objetivo Específico: ao final da etapa o formando deverá ser capaz de:

- Diferenciar a Teoria do Calórico da Teoria Cinético-Molecular da matéria.

Conteúdos: Teoria Cinético-Molecular da Matéria, Teoria do Calórico, Modos de Transmissão do calor.

Recursos: seções de textos de Máximo (2010) e GREF (1998). Quadro branco e pincel, Cmaptools, datashow.

Procedimentos:

● Leitura de textos pelos formandos sobre a evolução do conceito de calor (MÁXIMO, 2010) e o modelo cinético-molecular da matéria (GREF, 1998).

● Aula expositiva orientada pelas respostas dos formandos aos exercícios de compreensão e finalizada com uma visão geral dos modos de transmissão do calor.

Duração: 1 aula de 45 minutos.

Avaliação: avaliação das respostas dos formandos aos exercícios de compreensão.

Orientação Didáticas

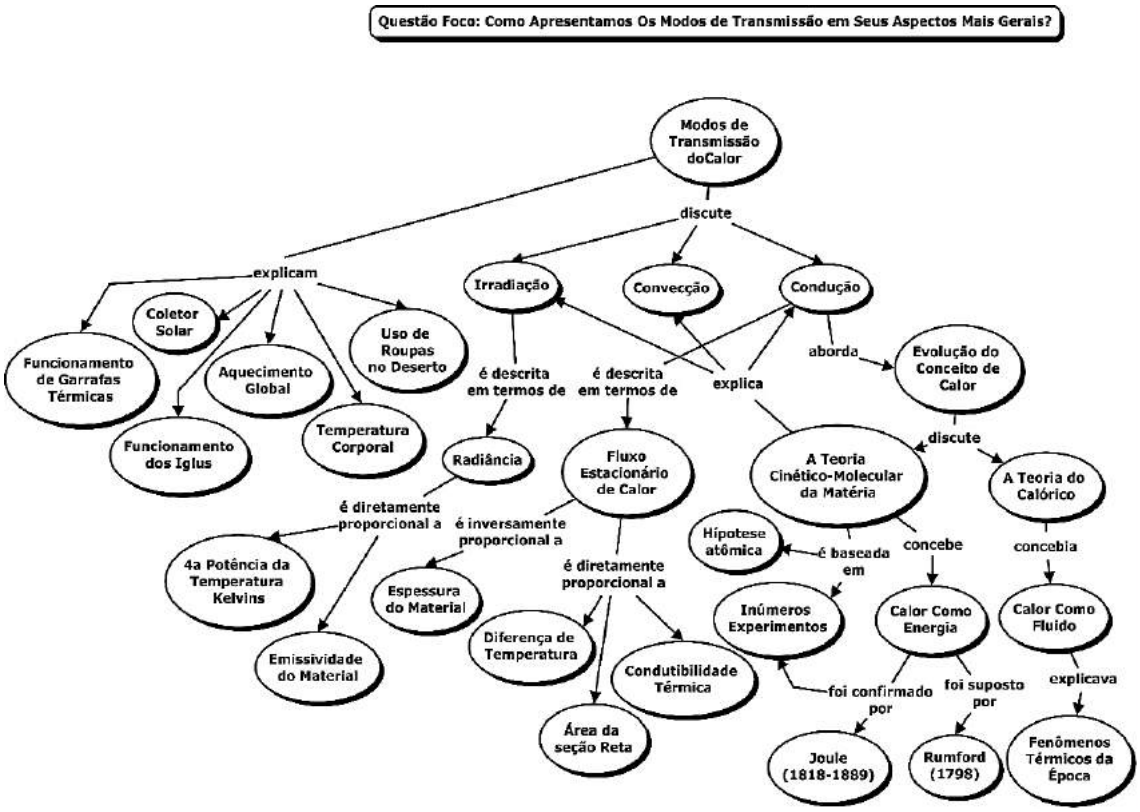
1. Leitura de textos

Inicie a aula com a entrega de textos de Máximo (2010) e GREF (1998) aos estudantes (ANEXO A). Oriente os formandos a ler os textos e responder às questões de compreensão contidas no final.

2. Aula expositiva

Em seguida, ministre uma aula, orientada pelas respostas às questões de compreensão dos textos. Discuta a Teoria do Calórico, a Teoria Cinético-Molecular da Matéria e finalize a aula apresentando os modos de transmissão de calor em seus aspectos mais gerais. Usamos o mapa conceitual da Figura 4.10, a seguir, para oferecer aos estudantes uma visão geral do conteúdo a ser trabalhado. Talvez ele possa ser útil para esta finalidade.

Figura 4.10 - Visão dos Modos de transmissão do calor por meio de um mapa conceitual.



Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CmapTools.

4.6 Diferenciação Progressiva dos Modos de Transmissão do Calor

Objetivo Geral:

Discutir os conceitos de condução, convecção e radiação, buscando a diferenciação progressivamente destes conceitos.

Objetivo Específico:

Ao final da etapa o formando deverá ser capaz de:

● Aplicar a Teoria Cinético-Molecular da matéria como base explicativa para os mecanismos de transmissão do calor;

● Produzir um mapa conceitual sobre os modos de transmissão do calor;

● Identificar os fatores que influenciam o fluxo de calor no interior de um material;

● Identificar os fatores que influenciam a potência térmica irradiada por uma superfície.

Conteúdos: condução, convecção, radiação, fluxo de calor e radiância.

Recursos: seções de textos de Hewitt (2015) e Máximo (2010), Cmaptools, Datashow e Papel 40 kg.

Procedimentos:

● Leitura de textos sobre os modos de transmissão do calor.

● Aula sobre os tópicos com produção de mapas conceituais pelo professor em colaboração com os estudantes.

● Produção e avaliação de mapas conceituais pelos estudantes.

● Leitura de textos sobre as Leis de Fourier e Stefan – Boltzmann (Máximo, 2010)

● Aulas com produção de mapas conceituais pelo professor com colaboração dos estudantes.

Duração: 5 aulas de 45 minutos cada.

Avaliação: avaliação do conteúdo dos mapas conceituais produzidos pelos estudantes.

Orientações Didáticas

1. Aulas Sobre Condução e Convecção

Introduza a aula sobre condução com a demonstração, dada na Figura 4.11, a seguir:

Figura 4.11 - Condução do calor ao longo de um arame de cobre.

Fonte: Autor, 2019.

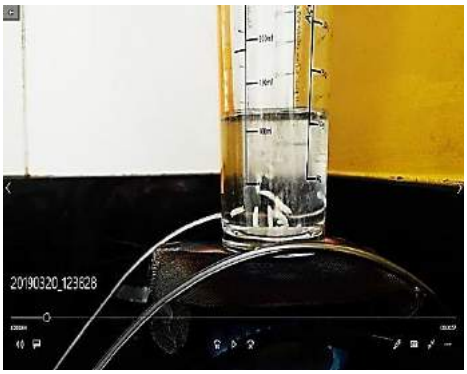
Pergunte aos estudantes: O que acontecerá com a parafina se aquecermos o arame? Em seguida, faça a demonstração experimental e novamente pergunte: De que maneira o calor vai se propagando dentro do arame? Os pinos se soltam simultaneamente? Como você explica isso?

Em seguida, entregue aos estudantes o texto “condução”, de Hewitt (2015) (ANEXO B). Durante a leitura com a turma, relacione ao conceito “condução” novos conceitos do texto, com a ajuda dos estudantes. Selecione os conceitos condução térmica, agitação da estrutura atômica, elétrons-livres, condutores térmicos, isolantes térmicos e condutividade térmica. Argumente que estes conceitos são fundamentais para o entendimento do texto e isso justifica as escolhas.

No final, com a colaboração dos estudantes, produza um mapa conceitual sobre condução.

Vencido esse momento, inicie a aula sobre convecção. Apresente o arranjo experimental da Figura 4. 12, a seguir, e indague: ao aquecermos a água, como o arroz se comporta dentro do copo? Aguarde as respostas dos estudantes e, em seguida, com a demonstração em andamento, pergunte: por que o arroz circula dentro do copo?

Figura 4.12 - Experimento Ilustrando a formação de correntes de convecção.



Fonte: Autor, 2019.

Entregue aos estudantes o texto “convecção”, de Hewitt (2015) (ANEXO B). Durante a leitura do texto, à medida que for explicando o assunto, integre ao conceito “convecção” novos conceitos do texto. Incentive os estudantes a relacionarem o conceito “convecção” aos conceitos correntes de convecção, diferença de densidade, circulação do ar na atmosfera e resfriamento do ar com altitude. Pergunte aos estudantes: como o conceito “formação de ventos na atmosfera” se relaciona com os conceitos anteriores? E o conceito “brisa marítima”? Por que o vapor que sai de uma panela de pressão é mais quente próximo da válvula do que a certa altura dela? Incentive os estudantes a estabelecerem estas relações conceituais no mapa. Questione: que diferença há entre o processo de convecção e o de condução? Como os processos se relacionam? O objetivo é ajudar os estudantes a reconciliar os conceitos. No final, com ajuda da turma, produza um mapa conceitual sobre convecção.

2. Aula Sobre Radiação Térmica

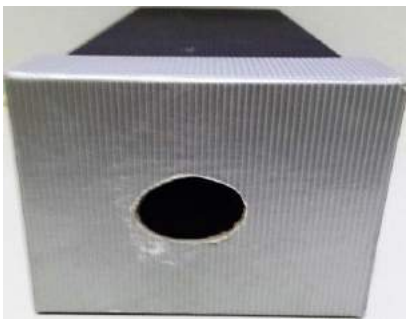
Inicie a aula com duas demonstrações experimentais, conforme Figuras 4.13 e 4.14, respectivamente, apresentadas a seguir:

Figura 4.13 - Absorção de calor em superfícies preta e branca de latinhas.

Fonte: Autor, 2019.

Pergunte aos estudantes: expondo as duas latas ao calor, como mostra a Figura 4.13 acima, em qual delas o pino cairá primeiro: na lata preta ou na lata branca? Observe as respostas dos estudantes e com a demonstração em andamento, interpele: Por que o pino solta primeiro na lata pintada de preto? Como você explica isso?

Figura 4.14 - Ilustração de um corpo negro.



Fonte: Autor, 2019.

Pergunte aos estudantes: de que cor vocês imaginam que sejam as paredes internas da caixa, apresentada na Figura 4.14 acima? Aguarde as respostas e, em seguida, retire a tampa da caixa e indague: por que o furo central da caixa indica um interior perfeitamente escuro, se suas paredes internas são brancas? Como você explica isso?

Entregue aos estudantes o texto “radiação”, de Hewitt (2015) (ANEXO B). Em seguida, ministre uma aula sobre radiação térmica. Defina radiação térmica como o transporte de calor via ondas eletromagnéticas. Relacione a radiação com a temperatura absoluta e a frequência das ondas eletromagnéticas da superfície emissora. Relacione estas duas características com o espectro de radiação de uma superfície. Sugerimos ao professor que neste momento utilize as animações virtuais phet[1] para ilustrar a curva de distribuição da energia para diferentes temperaturas. Ilustre a curva com os espectros de radiação solar e terrestre. Relacione a taxa temporal de absorção e emissão da radiação térmica com a natureza da superfície e sua temperatura e, com base nas características das superfícies emissoras, dê exemplos de bons e maus absorvedores de radiação térmica. Relacione todas as explicações com as demonstrações experimentais apresentadas no início da aula.

No final, faça uma lista dos conceitos principais do texto e, com a colaboração dos estudantes, produza um mapa conceitual sobre radiação.

Durante a produção do mapa, questione: que diferença há entre a radiação térmica e os outros processos de transferência de calor? Há alguma relação entre os modos de transmissão? Que diferença percebem? Que semelhanças?

3. Produção e Avaliação de Mapas Conceituais dos Estudantes

Deixe exposto em sala de aula os mapas sobre condução, convecção e radiação, produzidos nas aulas anteriores. Os mapas poderão ser fixados no quadro, em papel 40kg.

Em seguida, oriente os estudantes a produzirem colaborativamente um mapa conceitual dos três mecanismos de transmissão do calor. No final, avalie

[1] http://phet.colorado.edu/en/simulation/states-of-matte

os conteúdos dos mapas produzidos com base nos objetivos específicos a serem alcanças nesta etapa da UEPS.

4. Aulas sobre as leis de Fourier e Stefan-Boltzmann

Introduza a demonstração experimental, conforme Figura 4.15, ilustrada a seguir.

Figura 4.15 - Experimento de propagação do calor em materiais diferentes.

Fonte: autor, 2019.

Pergunte aos estudantes: Em qual dos arames a parafina derrete primeiro: no arame de cobre ou no arame de alumínio? Aguarde as respostas e em seguida, durante a demonstração, questione: Por que a parafina derrete primeiro no arame de cobre? Qual a razão disso?

Em seguida, apresente mais outra demonstração experimental, conforme Figura 4.16, ilustrada a seguir:

Figura 4.16 - Absorção de calor em superfícies clara e escura.

Fonte: Autor, 2019.

Indague: ao ligarmos a lâmpada, em qual das placas a parafina vai derreter primeiro: na placa branca ou na placa preta? Aguarde as explicações e, em seguida, ligue a lâmpada e pergunte: Qual a razão da parafina derreter primeiro na folha metálica pintada de preto? Como você explica isso?

Distribua aos estudantes os textos “Lei de Fourier” e “Lei de Stefan-Boltzmann”, de Máximo (2010) (ANEXO B). Proceda da mesma forma como nas aulas anteriores. À medida que for explicando o assunto, relacione novos conceitos aos conceitos “Fluxo estacionário de calor” e “Radiância”.

Questione: quais fatores alteram a rapidez de propagação do calor num metal? O que poderíamos fazer para controlar esta transferência de calor? De que forma podemos controlar a taxa de emissão ou de absorção de calor de uma superfície? De que forma a natureza da superfície influencia isso? Qual dos seguintes objetos não emitem radiação térmica? a) Sol? b) o carvão em brasa? c) o livro que você lê? d) um cubo de gelo? No final, construa um mapa conceitual sobre os conceitos trabalhados nesta etapa.

4.7 Reconciliação Integrativa de Conceitos e Leis do Transporte de Calor

Objetivo: buscar a reconciliação integrativa de conceitos e leis do transporte do calor.

Recursos: Cmaptools, datashow, papel 40 kg e textos temáticos de apoio.

Procedimentos:

● Sorteio de temas relacionados aos conceitos e leis do transporte do calor.

● Exposição dos temas pelos estudantes em forma de mapas conceituais.

Duração: 1 aula de 45 minutos.

Avaliação: avaliação do conteúdo de mapas conceituais criados pelos estudantes.

Orientação Didática:

1. Sorteio de Temas

Sorteie os temas que tratam dos modos de transmissão do calor (APÊNDICE C). Oriente os estudantes a formarem grupos de 5 alunos. Cuide para que os temas sejam entregues com antecedência aos estudantes. Oriente-os a apresentar os temas em forma de mapas conceituais.

2. Exposição dos Temas

Na aula seguinte, após as exposições dos temas, avalie o conteúdo dos mapas com base nos objetivos propostos nesta etapa.

4.8 Avaliação da aprendizagem

Objetivo: analisar evidência de aprendizagem significativa em questões abertas e em mapas conceituais produzidos por estudantes durante a aplicação da UEPS.

Recursos: questionário, Cmaptools, papel 40 kg e post-it.

Procedimentos: repassar os testes 1 e 2 da Etapa 3.

Duração: 1 aula de 45 minutos.

Avaliação: análise comparativa das questões abertas e análises estrutural e de conteúdo dos mapas conceituais produzidos durante a UEPS.

Orientação Didática

Convide os estudantes, sem aviso prévio, a realizarem os mesmos testes de sondagem propostos na etapa 3. Encoraje os estudantes a editarem no CmapTools o mapa conceitual, proposto na atividade 2 do teste de sondagem.

Convide os estudantes a realizarem um teste, com 6 questões objetivas, modelo Enem, envolvendo conceitos e leis dos mecanismos de transmissão do calor (APÊNDICE D).

Para facilitar a avaliação dos mapas produzidos pelos estudantes, durante a UEPS, utilize as ferramentas de análise estrutural e a tabela de clareza

proposicional (APÊNDICE A). Com base nas categorias de análise destas ferramentas, verifique se houve ou não progresso do estudante na aprendizagem do conteúdo. Verifique se, durante a UEPS, os mapas evoluíram para a forma de rede. Se conceitos, durante a instrução, foram diferenciados progressivamente e reconciliados com outros conceitos espalhados no mapa. Verifique se proposições, formuladas pelos estudantes nos mapas conceituais, se mostraram conceitualmente corretas? No final, compare as respostas dos estudantes para as questões das atividades de sondagens, inicial e final.

4.9 Avaliação da UEPS

Objetivo: interpretar os registros com base no marco teórico adotado.

Recursos: lousa (quadro branco) e pinceis.

Procedimentos:

● Coletar relatos dos estudantes durante a aplicação de uma dinâmica, de pontos positivos e negativos, para avaliar a proposta de UEPS.

Duração: 1aula de 45 minutos.

Orientação Didática

Recomendamos nesta etapa aplicar uma dinâmica, utilizando a técnica do *brainstorming* (Snead, 2005), para estimular os estudantes a avaliarem pontos positivos e negativos de nossa proposta de UEPS.

Para coletar relatos dos estudantes, utilize o quadro branco e pinceis. Proceda da seguinte forma: Desenhe uma linha de separação no quadro onde, de um lado, ficará escrito “pontos positivos” e, do outro, “pontos negativos”, conforme ilustra Figura 4.17 a seguir:

Figura 4.17 - Disposição da lousa para avaliação da UEPS.

Fonte: Autor, 2019.

Deixe os pinceis sobre a mesa e solicite aos estudantes que coloquem, numa das colunas, uma palavra-chave que represente um ponto positivo ou negativo da metodologia de ensino utilizada. No final, solicite aos estudantes que justifiquem o uso das palavras-chave.

Consideramos esta atividade muito importante, porque acreditamos que os relatos dos estudantes são informações preciosas para uma reelaboração e uma nova aplicação futura da UEPS.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. M.; CORREIA, P. R. M. Como fazer bons mapas conceituais? estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. São Paulo, v. 13, n. 2, 2013.

BAUER, W.; WESTFALL, G. D.; DIAS, H. **Física para universitários: relatividade, oscilações, ondas e calor**. Porto Alegre: AMGH, 2013.

BRAATHEN, P. C. **Curso Aprendizagem Significativa**. Viçosa: CPT, 2011.

CACHAPUZ *et al*. **A necessária renovação do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

CARVALHO, A. M. P. de. **Calor e temperatura: um ensino por investigação**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

CORREIA, P. R. M. *et al*. Por que vale apena usar mapas conceituais no ensino superior? **Revista de Graduação USP**, São Paulo, v. 1, n. 1, 2016.

DEMO, P. **Metodologia para quem gosta de aprender**. São Paulo: Atlas, 2008.

FARIA. W. de. **Mapas conceituais: aplicações ao ensino, currículo e avaliação**. São Paulo: EPU, 1995.

GONÇALVES, D. **Física: Termologia, ótica, Ondas**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1979.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. **Física: Física térmica, óptica**. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

KAKU, M. **A Física do futuro: como a ciência moldará o destino humano e o nosso cotidiano em 2100**. S. Paulo, 2011.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. v. 2. São Paulo: Scipione, 2010.

MOREIRA, M. A. **Uma abordagem cognitivista ao ensino de Física: a teoria de aprendizagem de David Ausubel como sistema de referência para organização do ensino de ciências**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, UFRGS, 1983.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M.A e MASSONI, N.T. **Noções Básicas de epistemologias e teorias de aprendizagem como subsídios para organização de sequências de ensino-aprendizagem e ciências/Física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

MOREIRA, M.A. **Ensino e aprendizagem significativa**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

NOVAK, J. D. **Aprender, criar e utilizar o conhecimento**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1998.

NOVAK, J. D. **Learning, creating, and using knowledge: concept maps as facilitative toos in schools and corporations**. 2. ed. New York and London: Routledge, 2010.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996.

NOVAK, J.D. **Uma teoria de educação**. São Paulo: Pioneira, 1981.

ONTORIA, A. *et al*. **Mapas conceituais: uma técnica para aprender**. São Paulo: Edições Loyola. 2005.

PIMENTEL, R.; LUZ, F.; AZEVEDO, M.; OLIVEIRA, R. Temperatura do corpo humano durante a atividade física. **Física na Escola**, v.9, n. 2, 2008.

QUADROS, S. **A termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas**. São Paulo: Scipione, 1996.

RESNICK, R; HALLIDAY, D; KRANE, K. S. **Física**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

SALOMON, D. V. **A maravilhosa incerteza: ensaio de metodologia dialética sobre problematização no processo do pensar, pesquisar e criar**. 2.ed. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

SALOMON, D. V. **Como fazer uma monografia**. 11. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

SEVERINO, A.J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2002.

SILVA, V. G. da; ZOMPÊRO, A. F.; LABURÚ, C. E. Utilização de materiais potencialmente significativos sobre transferência de calor para alunos do Ensino Médio. **Aprendizagem significativa em revista**. Paraná, v. 4, 2014.

SNEAD, G. L. **O programa FranklinCovey para a execução eficaz: comece e conclua com sucesso seus projetos pessoais e profissionais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

TEIXEIRA, E. **As três metodologias: acadêmica, da ciência e da pesquisa**. 5. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2008.

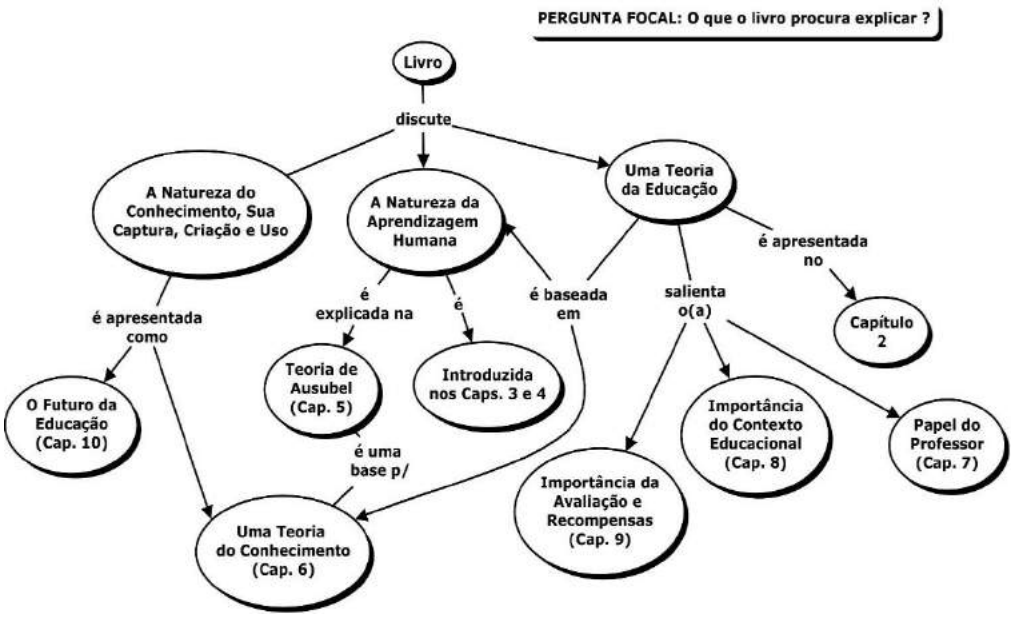
VILLAS BOAS, N; DOCA, R. H; BISCUOLA, G. J. **Física: termologia, ondulatória, óptica**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

APÊNDICE A - Produção e Avaliação de Mapas Conceituais.

1 - Mapas Conceituais.

Mapas Conceituais consistem em redes hierárquicas de conceitos, com palavras de ligação para explicitar a relação entre os conceitos (NOVAK, 2010). A Figura 1.1, a seguir, ilustra melhor esta definição:

Figura 1.1 - Mapa conceitual elaborado por Novak (2010).



Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CmapTools.

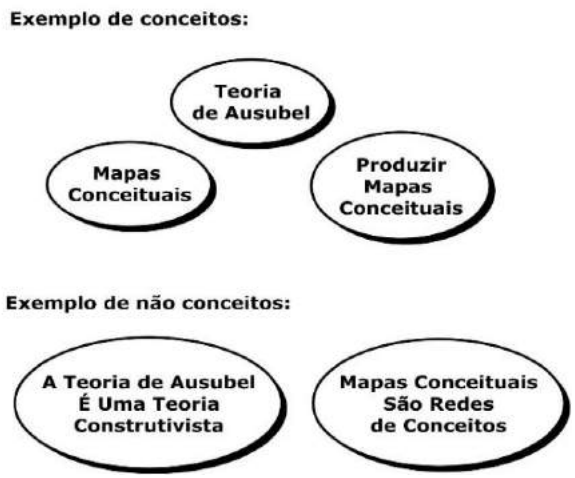
Esse mapa foi retirado da obra de Novak (2010) e traduzido em português. Os termos que aparecem envolvidos por círculos são chamados de conceitos. Pares de conceitos conectados por um termo de ligação é chamado de proposição. A pergunta envolvida por uma caixa, na parte superior direita do mapa, é chamada de pergunta focal e a disposição gráfica das informações em forma radial damos o nome de hierarquia conceitual. A compreensão destes

elementos, juntamente com a necessidade de revisão do mapa, pode nos ajudar a elaborar bons mapas conceituais. Vejamos em detalhe a definição de cada um deles:

1.1 - Conceito

Entende-se por conceito “uma regularidade nos acontecimentos ou nos objetos que se designa mediante algum termo” (NOVAK, 1999). Por exemplo, “cadeira”, é um objeto com a seguinte regularidade: possui perna, assento, costas e que serve para nos sentarmos. Usamos, então, o termo em português “cadeira” para se referir a esta regularidade. Vento, por exemplo, é um acontecimento que envolve o ar em movimento. Para se referi a esta regularidade empregamos o termo em português “vento”. A Figura 1. 2, a seguir apresenta alguns exemplos:

Figura 1.2 - conceitos e não conceitos.



Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CmapTools.

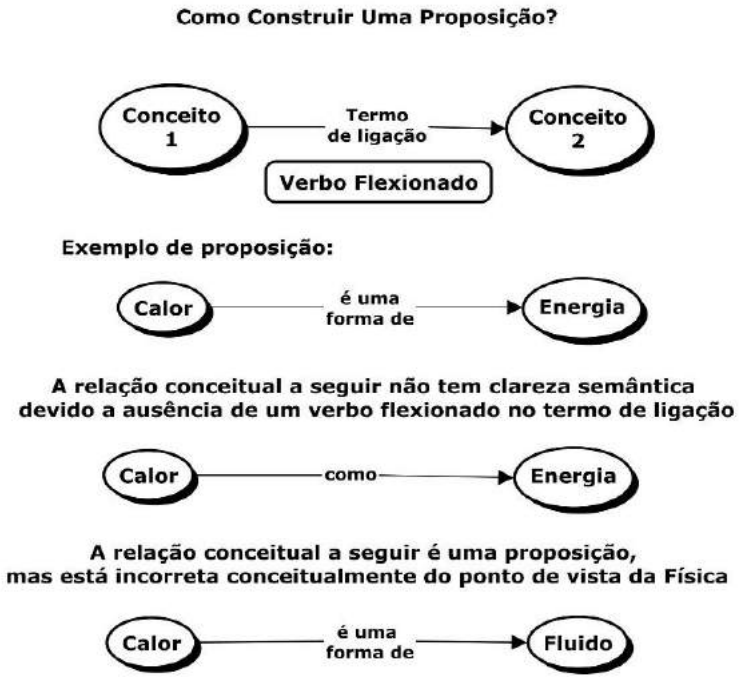
No primeiro exemplo temos conceitos, porque os termos representam regularidades específicas em objetos ou em eventos. Note que o termo “mapa conceitual” é um objeto que pode ser transformado num evento, ao pensarmos no termo “elaborar mapa conceitual”, por exemplo. O verbo no infinitivo é útil para transformar conceitos-objeto em conceitos-evento, permitindo a passagem do pensamento descritivo para o pensamento explicativo (AGUIAR; CORREIA,

2013). No segundo exemplo, todavia, temos uma relação de conceitos e não exatamente conceitos. Os termos, na verdade, representam proposições e não regularidades percebidas.

1.2 - Proposição

São dois ou mais conceitos unidos por uma palavra de ligação para formar uma unidade de sentido. As posições explicam as relações conceituais percebidas pela pessoa que elabora o mapa. Exemplo de proposição:

Figura 1.3 - Exemplo de proposição.



Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CmapTools.

Observe que o verbo flexionado no termo de ligação dá clareza de sentido para a relação conceitual. Isso nos permite avaliar se a relação é conceitualmente correta ou não.

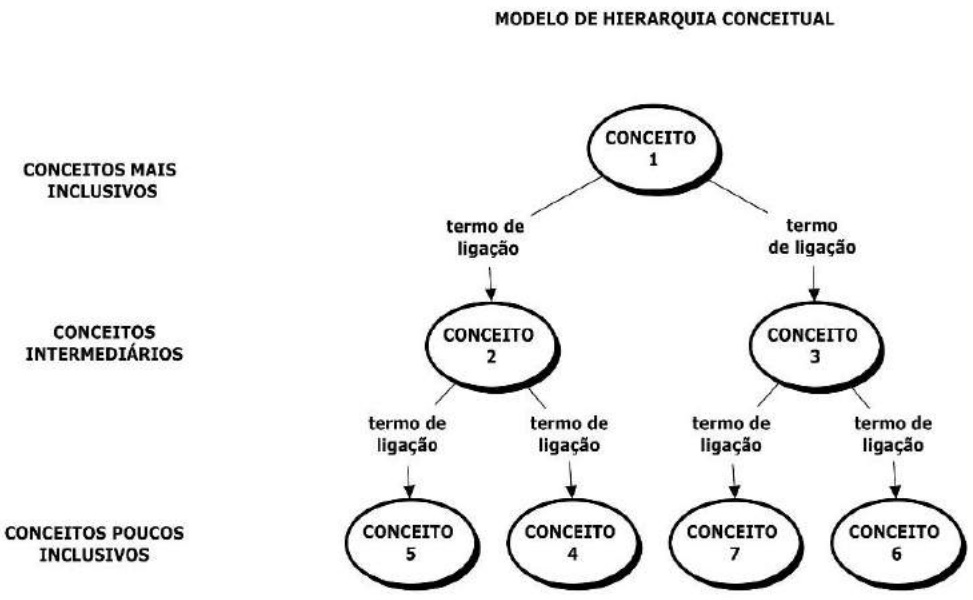
1.3 - Pergunta Focal

É uma questão de interesse formulada na parte superior do mapa e que serve para controlar o tamanho dele. Às vezes um mapa perde a sua organização inicial por conta das muitas informações que são geradas. Para evitar isso, formulamos uma pergunta focal para qual as informações do mapa respondem a própria pergunta focal. Novak (2010) recomenda formularmos uma pergunta focal, que pode ir se refinando ao longo da compreensão do assunto. Pode ser que no final haja a necessidade de ampliar a pergunta focal ou talvez reduzir o tamanho do mapa para respondê-la.

1.4 - Hierarquia Conceitual

É a forma gráfica estrutural com que os conceitos são organizados por ordem de importância no mapa. Os conceitos mais inclusivos ocupam os lugares superiores da estrutura em rede, como ilustra a Figura 1.4:

Figura 1.4 - Exemplo de hierarquia conceitual.



Fonte: Autor, 2019. Elaborado no CmapTools.

1.5 - Revisão do mapa

Toda aprendizagem é contínua, por conta das modificações contínuas na estrutura de conhecimentos do indivíduo (BRAATHEN, 2011). Portanto, é natural que os mapas sejam continuamente revisados para representar estas mudanças de entendimento conceitual do indivíduo.

2 - Roteiro Para Construção de Mapas Conceituais

Baseado nos trabalhos de Aguiar-Correia (2013), elaboramos a seguir um roteiro para produção de mapas conceituais.

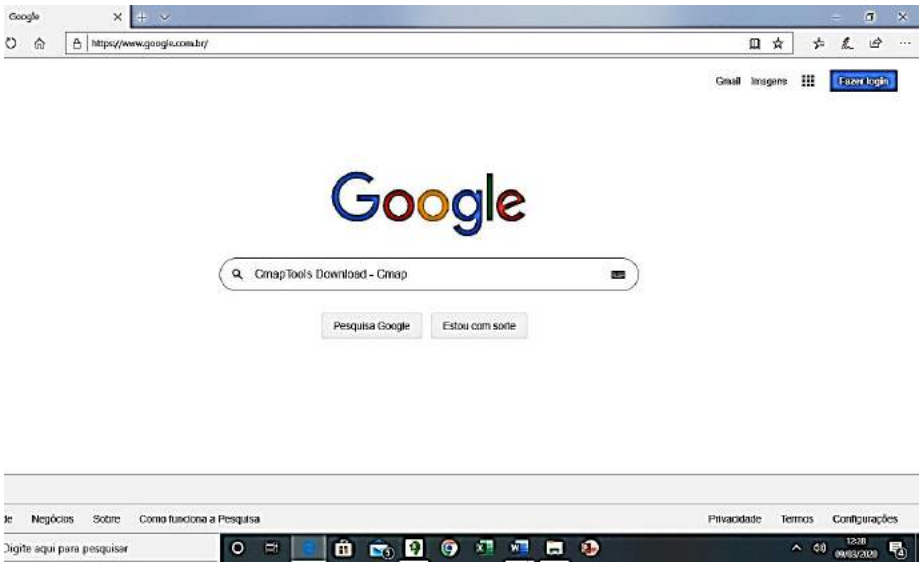
- **Formule uma questão focal**: Se for um texto didático de Física, procure saber por que o texto tem a unidade que tem. Que questão ele procura responder. Identifique uma questão de foco para a qual as informações do texto sejam uma resposta.
- **Organize hierarquicamente os conceitos**: Orientado pela questão focal, identifique os conceitos pertinentes à questão e liste-os. Distribua hierarquicamente os conceitos em duas dimensões e os ordene a partir dos conceitos mais inclusivos para os menos inclusivos.
- **Formule proposições semanticamente claras**: Trace linhas entre os conceitos e explicite claramente a relação conceitual por meio de termos de ligação.
- **Revise o mapa**: Os mapas funcionam como imagens estáticas da estrutura de conhecimentos sobre determinado assunto. Como essa estrutura é dinâmica, os mapas precisam ser revisados. Não por uma limitação da técnica, mas por conta da natureza da aprendizagem que é processual.

3 - Tutorial Para Instalação e Uso do CmapTools

CmapTools[2] é um programa computacional, gratuito, desenvolvido pelo Instituto de Cognição Humana e de Máquinas da Universidade da Flórida, EUA, e que serve para elaborar mapas conceituais. Nossa intenção é utilizá-lo ao longo da UEPS para produzir mapas conceituais a partir de textos de Física.

Recomendamos que se obtenha o programa diretamente do *site* oficial para obter sempre a versão atualizada do programa, ou acesse o Google e digite "Cmaptools download – Cmap", como mostra a Figura 3.1 a seguir:

Figura 3.1 - Acessando o CmapTools a partir da página do Google.

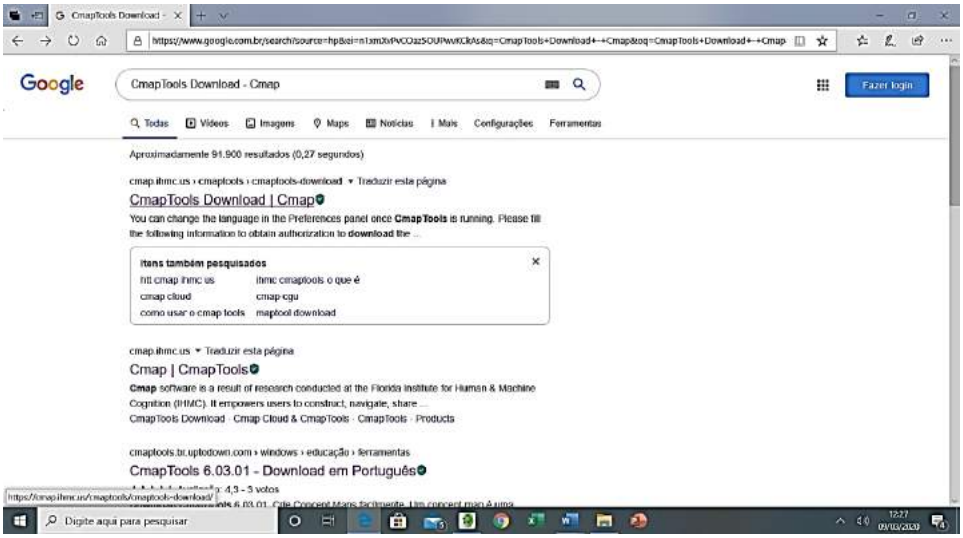


Fonte: Autor, 2019.

Em seguida, acesse na opção "CmapTools Download/ Cmap", como ilustra a Figura 3.2:

[2] https://cmap.ihmc.us

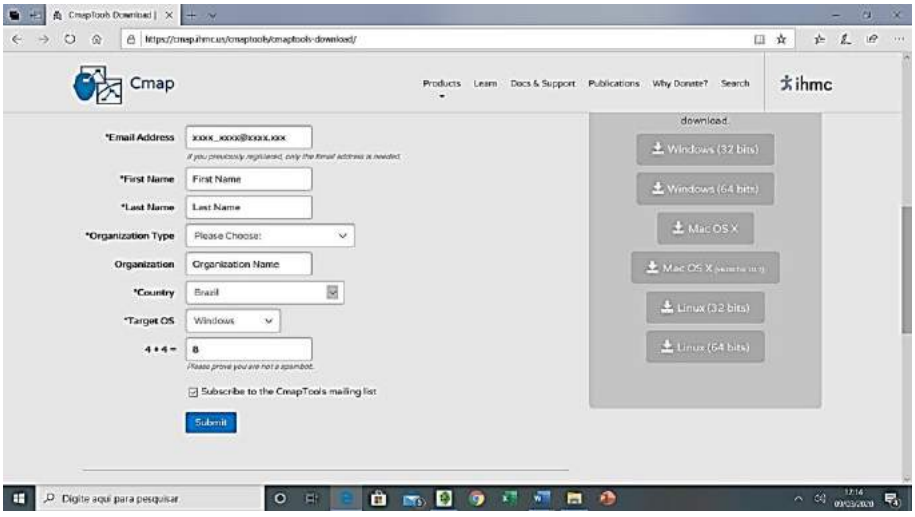
Figura 3.2: Acessando a opção de download do software no Google.



Fonte: Autor, 2019.

Após o acesso, você é encaminhado para página oficial do programa CmapTools. Para quem já usa o programa, a reinstalação exigirá apenas a digitação do e-mail, do país de origem, do sistema operacional e da efetuação de um cálculo para provar que o usuário não é um robô, como ilustra a Figura 3.3, a seguir. Para quem está instalando pela primeira vez o programa, além das informações citadas, se exigirá do usuário uma senha.

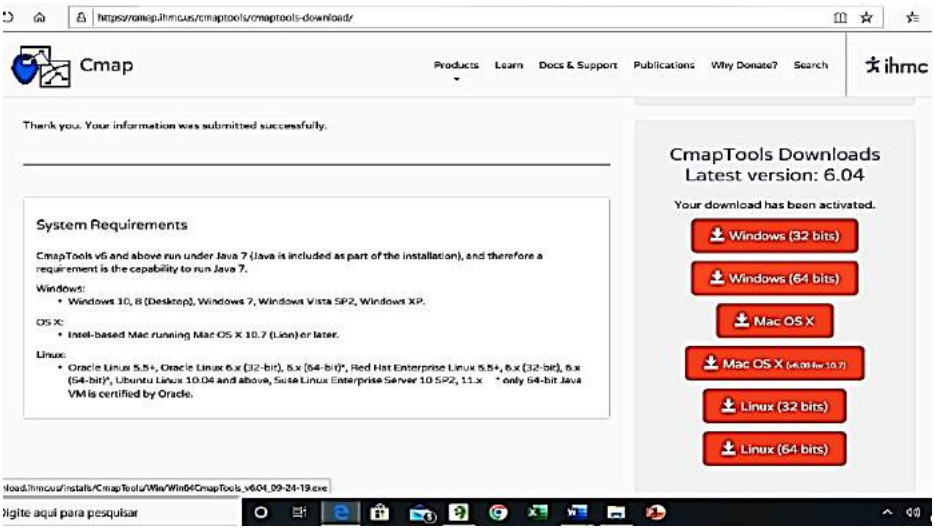
Figura 3.3 - Criando sua conta na página oficial do CmapTools.



Fonte: Autor, 2019.

Depois de acessar a opção “Submit”, aparece as opções de *download* da versão mais recente do programa, de acordo com o sistema operacional do seu computador, como mostra a Figura 3.4. Acesse a versão operacional do seu computador.

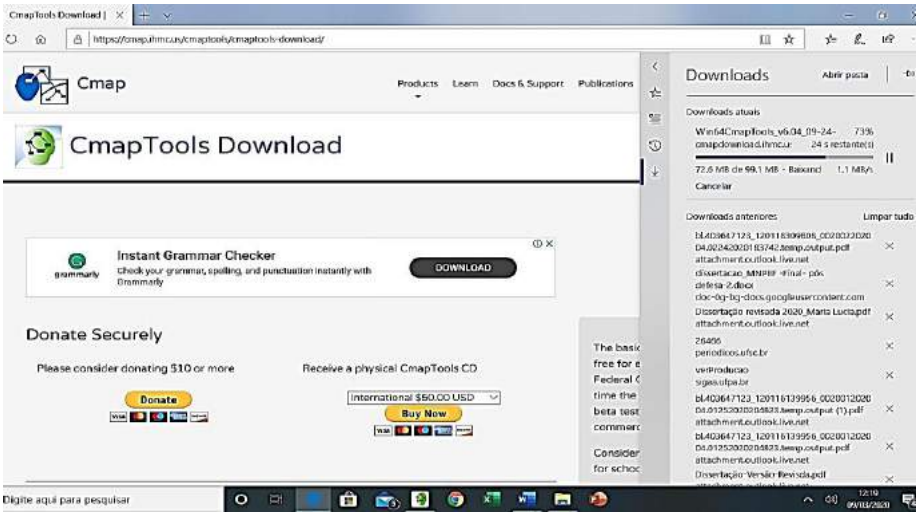
Figura 3.4 - Acessando a versão mais recente do programa.



Fonte: Autor, 2019.

Dependendo da velocidade de sua internet, o processo de *download* pode demorar um pouco. Veja esta etapa na Figura 3.5, a seguir:

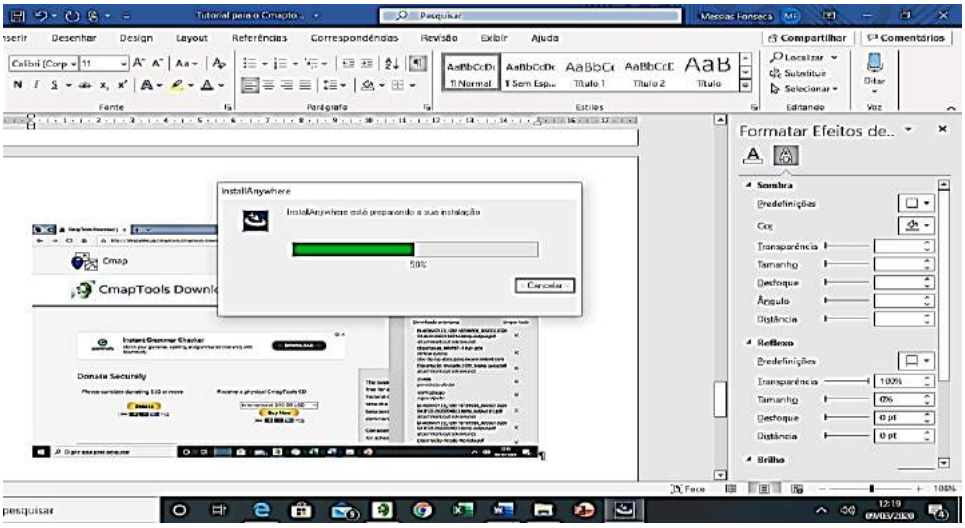
Figura 3.5 - Fazendo download do arquivo de instalação do programa.



Fonte: Autor, 2019.

Depois que o download do arquivo de instalação for concluído, acesse em “abrir” para que o arquivo seja executado e depois instale o programa, conforme mostra a Figura 3.6, a seguir:

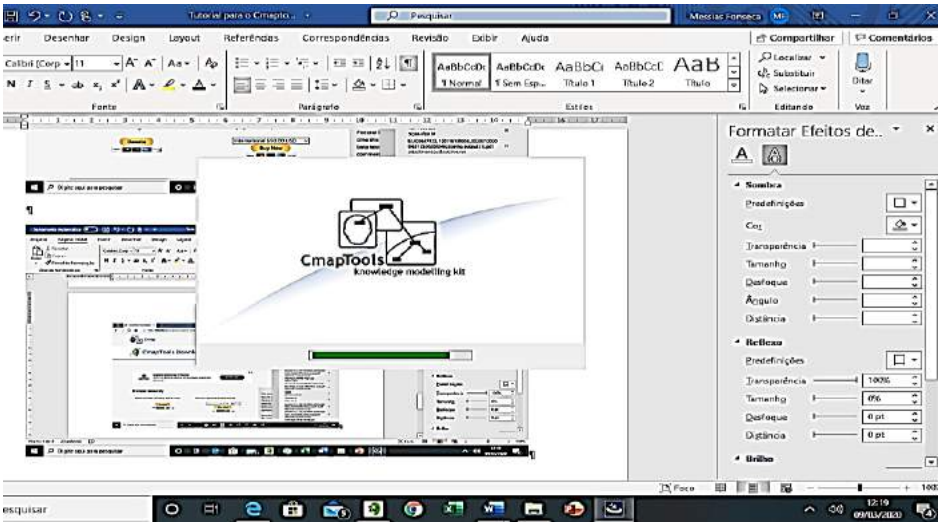
Figura 3.6 - Executando o arquivo de instalação.



Fonte: Autor, 2019.

Acesse em “continuar” até que todas as etapas sejam feitas, como mostra a figura 3.7, a seguir:

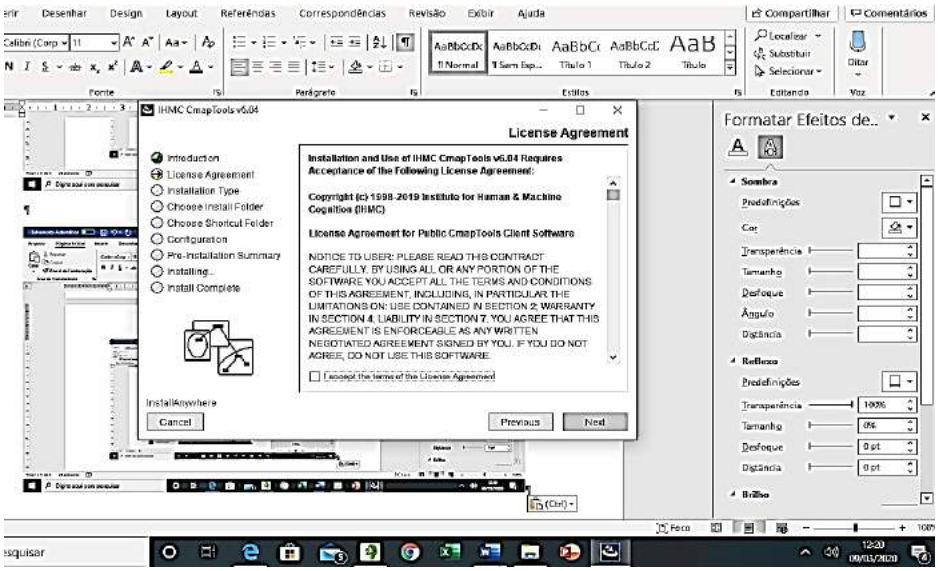
Figura 3.7 - Iniciando a instalação do programa.



Fonte: Autor, 2019.

Acesse a opção “Next” e aceite as condições de licença do programa, como ilustra a Figura 3.8, a seguir:

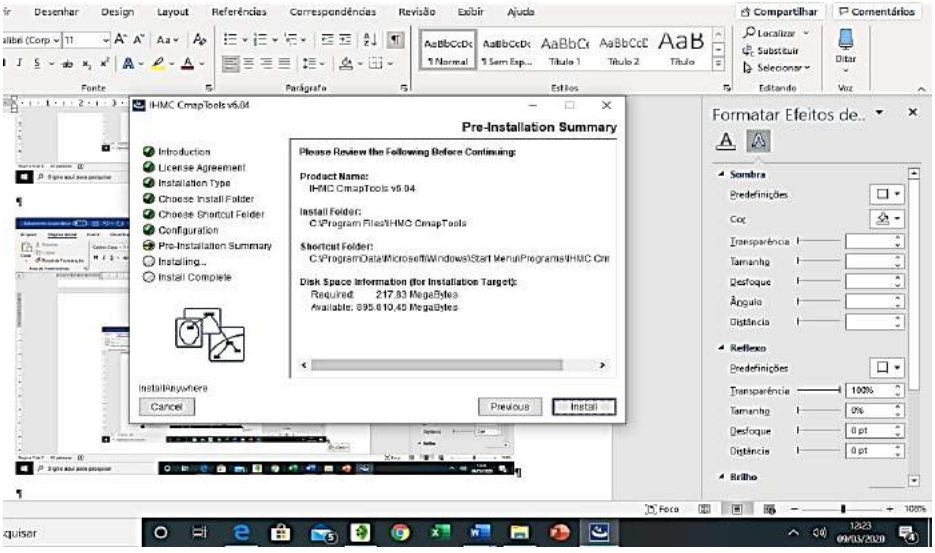
Figura 3.8 - Aceitando as condições de licença do programa.



Fonte: Autor, 2019.

Continue o processo acessando a opção “Next”, até finalizar a instalação, como mostra a Figura 3.9, a seguir.

Figura 3.9 - Concluindo a instalação.



Fonte: Autor, 2019.

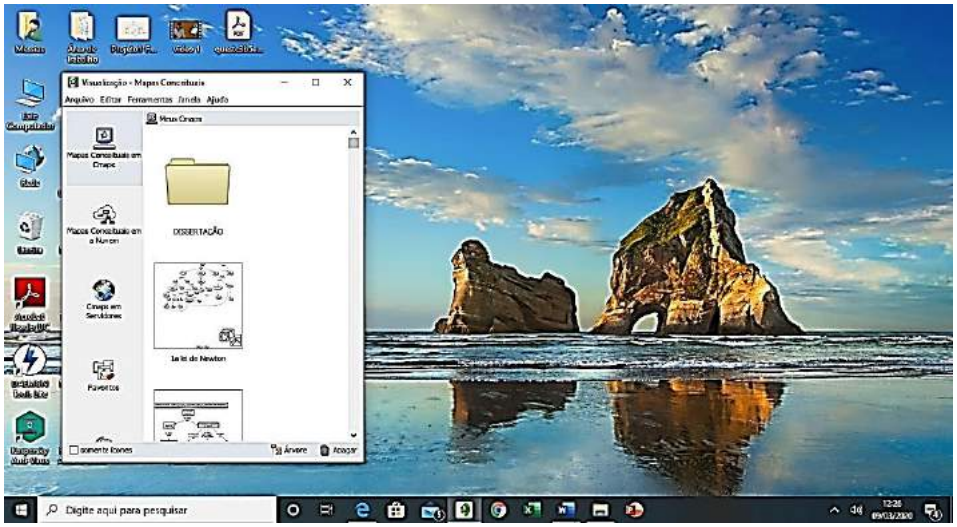
Depois de instalado, ajuste a opção de idioma e acesse a opção “Next”, como ilustra a Figura 3.10.

Figura 3.10 - Acessando a opção de idioma.

Fonte: Autor, 2019.

Aparecerá na tela de seu computador a janela de trabalho do Cmaptools, como mostra a Figura 3.11.

Figura 3.11 - Janela de trabalho do CmapTools.



Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 3.11 acima, aparece um portifólio de mapas porque já somos usuários. Para um usuário novo este espaço aparece vazio.

Agora, na janela de trabalho do Cmap, vamos produzir um mapa conceitual a partir do texto de Física a seguir.

4 - Exemplos de Construção de Mapas Conceituais

Texto 1: Casa de gelo (iglu)

A casa de gelo (iglu) é um abrigo feito de neve endurecida (gelo), utilizado por povos que habitam regiões de frio extremo, como o polo norte do Alasca e o continente Ártico (Polo Norte). Para construir tais abrigos, esses povos cortam grandes blocos de gelo e os organizam para formar uma cúpula que é completada com um único bloco na parte superior. A forma arredondada é importante para que a neve, ao cair, escorregue, evitando que o sobrepeso cause o desmoronamento da construção.

A forma arredondada possibilita que seja feita uma fogueira na parte central, região mais fria, e que as pessoas fiquem nas laterais, onde desce o ar mais quente devido à convecção.

Como o gelo apresenta coeficiente de condutibilidade térmica pequeno (2.10^{-4} cal /s.cm.ºC), ele pode ser considerado um bom isolante térmico. Assim, o calor produzido no interior do iglu pela transpiração e respiração das pessoas, bem como a energia, resultado da queima de óleo de foca ou outro combustível, permanece no interior, aquecendo o ar. Enquanto isso a temperatura externa pode chegar a -50ºC no inverno.

Fonte: Villas Boas, Newton, 2016.

Depois de lido o texto, e termos identificado sua unidade, localizamos os conceitos mais importantes para o seu entendimento. Em seguida, passamos a produção do mapa conceitual, orientando-se pelo roteiro anteriormente sugerido. O conhecimento da unidade do texto nos permite esboçar a pergunta focal: Como os iglus protegem do frio intenso? Os conceitos que sustentam no texto esta ideia são: iglus, abrigo de gelo, povos de regiões de frio extremo, polo note do Alasca, Continente Ártico, isolante térmico, cúpula, desmoronamento da estrutura e Interior aquecido do abrigo. Os termos “coeficiente de condutividade térmica pequeno” e “isolante térmico” são sinônimos. Optamos pelo segundo termo, por julgarmos que ele seria mais compreensivo ao estudante. Agora estamos prontos para iniciar a construção do mapa conceitual.

4.1 - Formule a pergunta focal

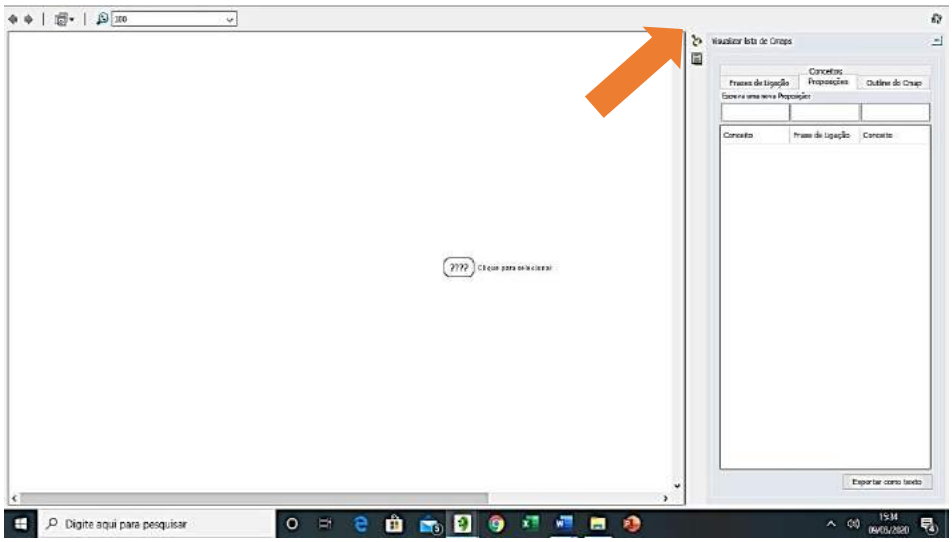
Vamos então até a janela de trabalho do Cmap, abrimos a opção “arquivo” e clicamos em “novo Cmap”, como mostra Figura 4.1.

Figura 4.1 - Acessando área de trabalho do CmapTools.

Fonte: Autor, 2019.

Aparece a área de visualização de lista do Cmap, como mostra a Figura 4.2, a seguir:

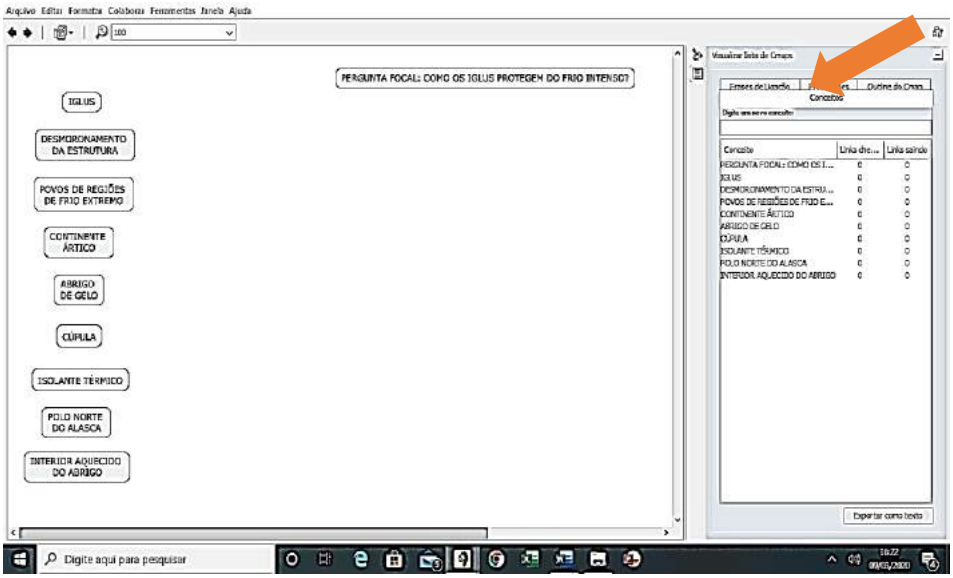
Figura 4.2 - Acessando a área de visualização de lista do CmapTools.



Fonte: Autor, 2019.

Em seguida, clicamos na opção “conceitos” e, na caixa de texto, formulamos nossa pergunta focal e nossa lista de conceitos, conforme ilustra a Figura 4.3.

Figura 4.3 - Formulando pergunta focal e conceitos na caixa de texto do Cmap.

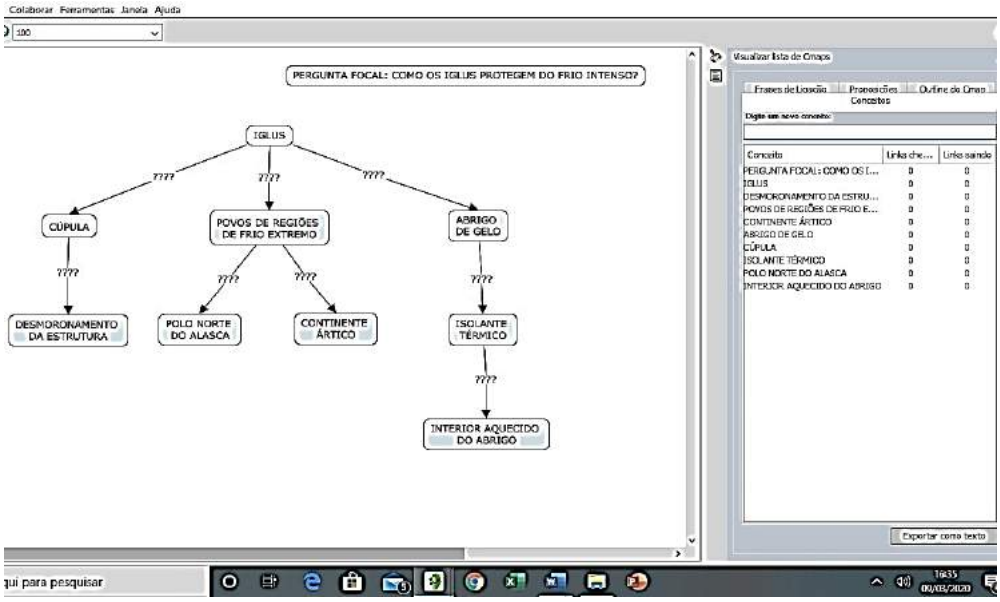


Fonte: Autor, 2019.

4.2 - Organize hierarquicamente os conceitos

Em seguida, organizamos os conceitos por ordem de importância, dos mais inclusivos para os menos inclusivos, conforme ilustra a Figura 4.4, a seguir:

Figura 4.4 - Organizando hierarquicamente os conceitos no mapa.



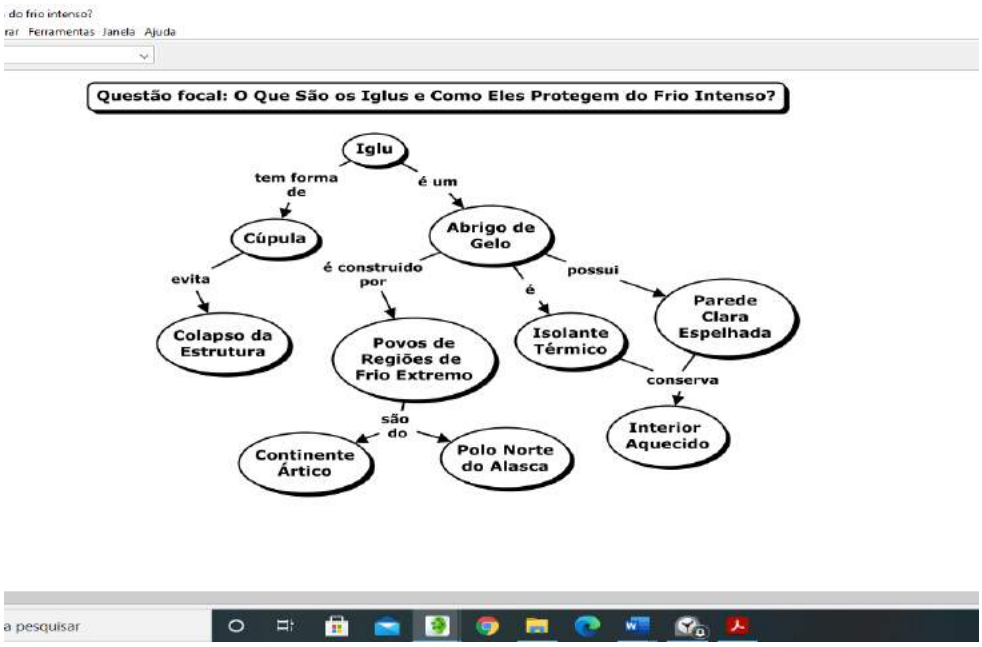
Fonte: Autor, 2019.

4.3 - Formule proposições semanticamente claras

Depois de ordenados os conceitos, o próximo passo será a explicitar a relação conceitual dos pares de conceitos. Para garantir a clareza das relações conceituais, incluímos um verbo flexionado no termo de ligação.

Depois de usados os recursos de formatação do programa, produzimos o seguinte mapa, como mostra a Figura 4.5 abaixo.

Figura 4.5 - Mapa conceitual final produzido no CmapTools.



Fonte: Autor, 2019.

4.4 - Revise o mapa

Novas informações poderão ser acomodadas no mapa, resultante de aprendizado significativo. As novas aprendizagens serão representadas por um mapa modificado, evidenciando a reestruturação da estrutura cognitiva. Isto significa que à medida que a nossa compreensão das relações conceituais muda, os mapas também se modificam (NOVAK, 2010).

Texto 2: Memória.

Fatores que influenciam no melhoramento da memória.

Hoje assisti a um documentário na Cultura que apresentou algumas das recentes descobertas da ciência sobre o funcionamento da memória.

O resultado da pesquisa revelou quatro fatores que influenciam o desempenho da memória. Seriam eles: a substância ômega 3, o sono, as associações mnemônicas e uma boa ducha de água fria.

O primeiro fator seria o ômega 3. Os pesquisadores mostraram que esta substância melhora os níveis de concentração e de disposição para o estudo. O teste foi realizado com um grupo de crianças, de 8 a 12 anos, e os resultados obtidos, segundo os pesquisadores, foram extraordinários. O tratamento com a substância foi feito sob a forma de pílulas, durante algumas semanas. Acredita-se que o ômega 3 provoca um aumento no fluxo de pulsos elétricos entre os neurônios e isso ocasionaria, então, um melhor rendimento na memória.

O segundo importante fator seria o sono. Segundo os pesquisadores, é durante o sono que as aprendizagens são efetivadas. Acredita-se que o sono não seria apenas um momento de repouso para o cérebro, mas também um momento em que o cérebro carrega e organiza na memória de longo prazo as informações importantes que ficaram armazenadas na consciência durante o dia.

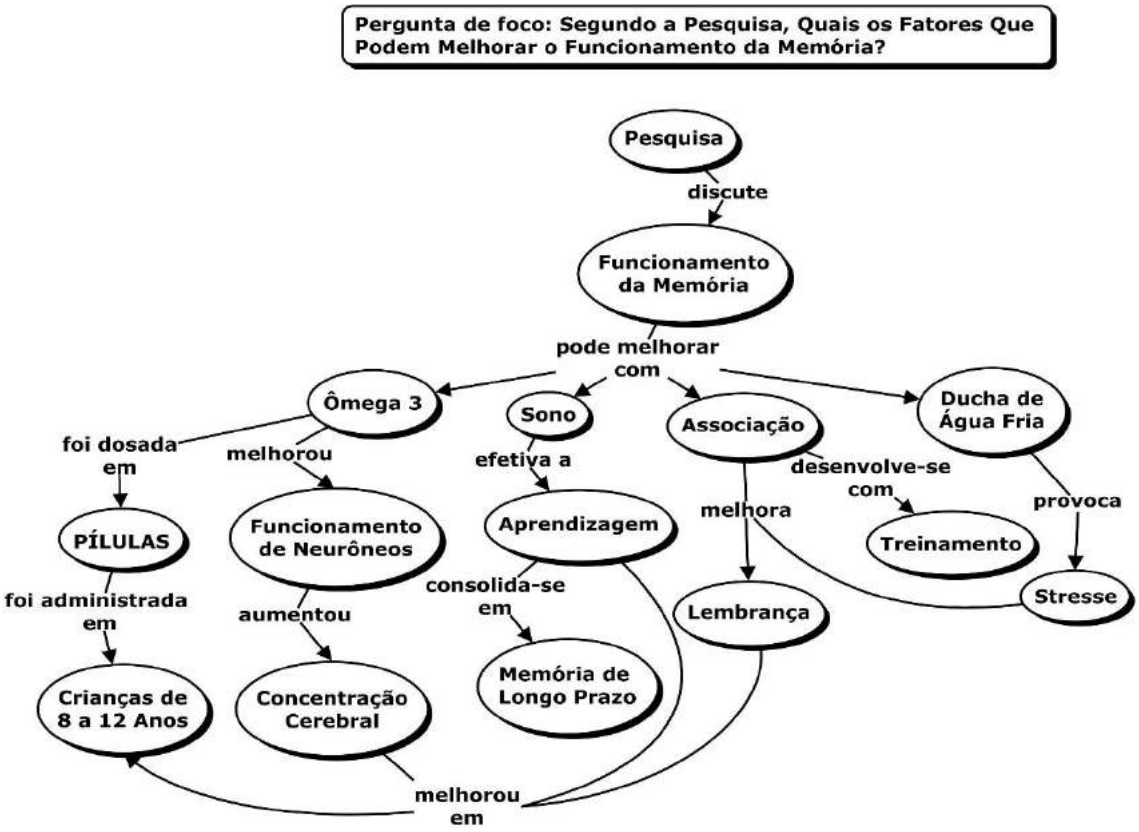
O terceiro fator seriam as associações mnemônicas, aquelas feitas por meio de historinhas. Duas pessoas foram convidadas a memorizar números com uma grande quantidade de algarismos além de cartas de baralho. A pessoa que obteve um expressivo resultado foi aquela que conseguiu fazer o maior número de associações. A associação serviu de gancho para lembrar de todos os números e cartas. Concluiu-se que seria possível melhorar a memória treinando-a por associações.

O quarto e último fator seria uma ducha de água fria. Indivíduos, curiosamente, submetidos a este procedimento apresentaram um expressivo melhoramento na memória, segundo os pesquisadores. Segundo eles, a explicação para esse melhoramento seria o estresse a que ficou submetido o indivíduo durante a ducha. Fica então a dica para aqueles que desejam melhorar a memória: ômega 3, sono, associações e uma boa ducha de água fria!

Fonte: documentário apresentado na TV Cultura, no dia 25 de fevereiro de 2007.

Depois de compreendermos o texto 2, formulado a questão focal, organizado hierarquicamente os conceitos e explicitado as relações conceituais, produzimos o mapa conceitual, apresentado na Figura 4.6 abaixo.

Figura 4.6 - Mapa conceitual final produzido a partir da leitura do texto.



Fonte: Autor, 2019. Produzido no CmapTools.

5 - Avaliação de Mapas Conceituais

Um mapa conceitual pode ser avaliado segundo a estrutura da rede proposicional e segundo ao conteúdo declarado no mapa.

5.1 - Ferramenta para a análise estrutural de um mapa conceitual

Para a avaliação estrutural utiliza-se as seguintes categorias: 1 – Densidade Proposicional; 2 – Conceitos Iniciais Múltiplos (CIM) e 3 – Conceitos Finais Múltiplos (CFM) (AGUIAR; CORREIA, 2013).

1 – Densidade Proposicional: Obtêm-se dividindo-se o número de proposições pelo número de conceitos num mapa conceitual. Ela é um parâmetro de avaliação da mudança da forma do mapa durante o processo de aprendizagem.

2 – Conceitos Iniciais Múltiplos (CIM): Representam as diferenciações progressivas de conceitos num mapa conceitual. Graficamente, no mapa, os CIM apresentam mais de uma seta saindo, detalhando o conceito.

3 – Conceitos Finais Múltiplos (CFM): Representam as reconciliações integrativas de conceitos espalhados num mapa conceitual. Visualmente, os CFM apresentam mais de uma seta chegando, reconciliando outros conceitos espalhados no mapa.

A Tabela 1, dada a seguir, foi pensada para analisar a estrutura de um mapa conceitual.

Tabela 1: Uma ferramenta para a análise estrutural de um mapa conceitual.

Análises	**Categorias**	**Mapa 1**	**Mapa 2**	**Mapa 3**	**Mapa 4**
Estrutural	Densidade Proposicional				
	Conceitos Múltiplos Iniciais				
	Conceitos Múltiplos Finais				
Conteúdo	Proposições Corretas				

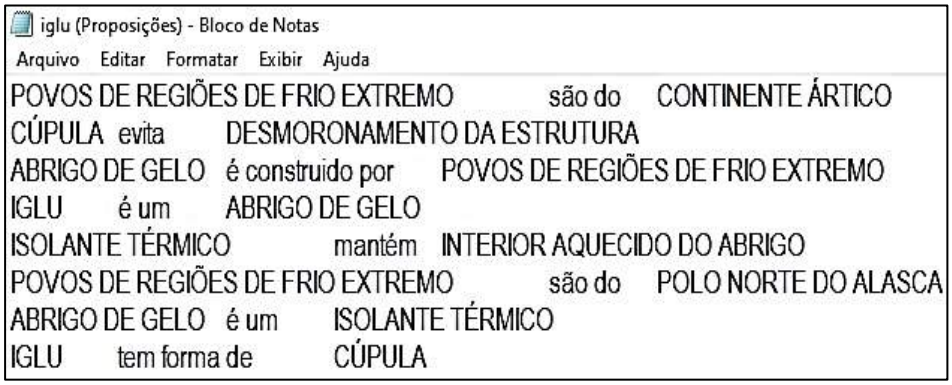
Fonte: autor, 2019.

5.2 - Ferramenta para a análise do conteúdo de um mapa conceitual

Para a análise do conteúdo de um mapa conceitual, devemos ler suas proposições. Uma ferramenta útil para isso é a Tabela de Clareza Proposicional (TCP)[3], um recurso do próprio CmapTools.

A Figura 5.1, a seguir, ilustra a TCP do mapa conceitual produzido no CmapTools sobre o texto Iglu, ilustrado na Figura 4.5.

Figura 5.1 - TCP do mapa conceitual da Figura 4.5.


iglu (Proposições) - Bloco de Notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

POVOS DE REGIÕES DE FRIO EXTREMO	são do	CONTINENTE ÁRTICO	
CÚPULA	evita	DESMORONAMENTO DA ESTRUTURA	
ABRIGO DE GELO	é construido por	POVOS DE REGIÕES DE FRIO EXTREMO	
IGLU	é um	ABRIGO DE GELO	
ISOLANTE TÉRMICO	mantém	INTERIOR AQUECIDO DO ABRIGO	
POVOS DE REGIÕES DE FRIO EXTREMO	são do	POLO NORTE DO ALASCA	
ABRIGO DE GELO	é um	ISOLANTE TÉRMICO	
IGLU	tem forma de	CÚPULA	

Fonte: Autor, 2019.

[3] Tabela de Clareza Proposicional (TCP) é um recurso do CmapTools que permite exportar mapas como texto para análise da clareza e do conteúdo das proposições de forma mais detalhada.

APÊNDICE B - Demonstrações Experimentais Investigativas.

O texto a seguir apresenta as demonstrações experimentais realizadas em sala de aula. Em cada uma delas são apresentadas o material utilizado, a construção, os procedimentos e as perguntas investigativas que acompanharam as demonstrações.

Demonstração 1: Condução do Calor (parte I)

● Material utilizado

- Um arame de cobre de 35cm de comprimento e 2mm de diâmetro.

- Uma vela.

- Pequenos pinos de arame de cobre.

● Construção do experimento

- Dobre o arame até alcançar 15 cm na horizontal.

- Em seguida, coloque-o no suporte de madeira.

● Procedimentos em sala de aula

- Prenda dois pinos de cobre no arame com pedaços de cera. Procure deixar os pinos a uma distância cerca de 2cm um do outro.

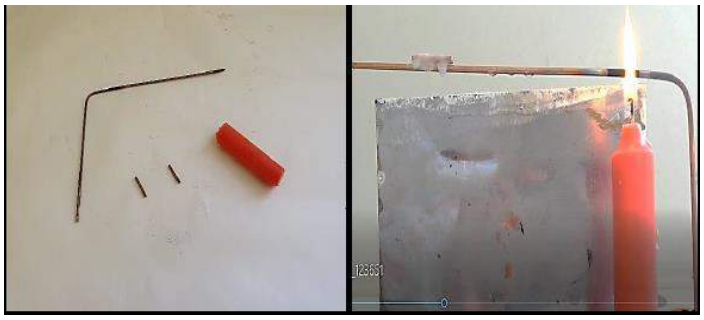
- Coloque a vela sobre o arame e observe os pedaços de pino.

● Perguntas investigativas

- O que acontecerá com os pinos se aquecermos o arame? Como e por que isso acontece?

- De que forma o calor vai se propagando? A parafina derrete tudo ao mesmo tempo? Como você explica isso? O experimento é ilustrado na Figura 1, dada a seguir:

Figura 1: Experimento sobre condução do calor ao longo de um arame de cobre.



Fonte: Autor, 2019.

Demonstração 2: Convecção do Calor

● Material utilizado

- Base de arame em forma de arco.

- Fonte de calor, que produza chama.

- Copo graduado, resistente ao fogo.

- 200ml de água.

- Suporte com tela de amianto.

- Pequena porção de arroz.

● **Construção do experimento**

- Prenda a tela de amianto na base em forma de arco. Este conjunto funcionará como suporte para o copo.

● **Procedimento em sala de aula.**

- Coloque 200ml de água no copo e o coloque sobre a tela.

- Coloque a pena porção de arroz no copo.

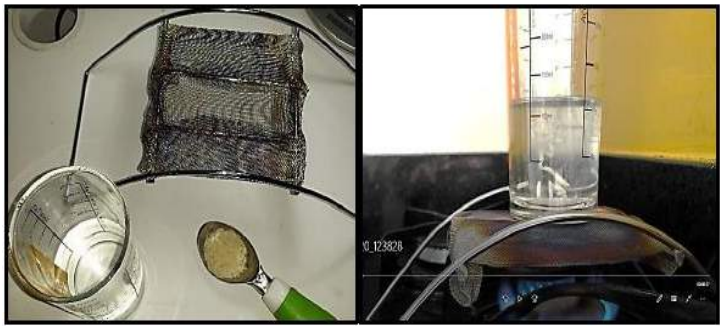
A Figura 2, dada a baixo, ilustra o experimento.

- Acenda o fogo e disponha o copo com o suporte sobre a fonte de calor. Observe o que acontece com o arroz, e a água.

● **Perguntas investigativas**

- Ao aquecermos a água, por que o arroz circula dentro do copo?

Figura 2: Experimento que ilustra
a formação de correntes de convecção.



Fonte: Autor, 2019.

Demonstração 3: Radiação Térmica (parte I)

● **Material utilizado**

- Duas latas de Coca – Cola, uma pintada de preto fosco e a outra pintada de branco polido.

- Pequenos pinos de cobre.

- Cera de vela.

- Fonte de calor, que produza chama.

● Construção

- Pinte as latas, uma com tinta preta e a outra com tinta branca.

● Procedimentos em sala de aula

- Fixe com pedaços de cera os pinos de cobre na superfície de cada lata.

- Coloque as latas próximas a uma fonte térmica, dispostas simetricamente em relação à fonte, e observe o que acontece com os pinos. Este procedimento é ilustrado na Figura 3, dada a abaixo.

● Perguntas investigativas

- Expondo as duas garrafas ao calor, em qual delas o pino cairá primeiro: na garrafa preta ou na garrafa branca? Por quê?

Figura 3: Segundo experimento demonstrativo da absorção e emissão de calor em superfpicies de cores diferentes.

Fonte: Autor, 2019.

Demonstração 4: Radiação Térmica (parte II)

● Material usado:

- caixa de papel, com um furo central na tampa. A caixa deve ter as paredes internas pintadas em branco.

● Construção

- Faça um furo central no centro da tampa da caixa.

● **Procedimento em sala de aula**

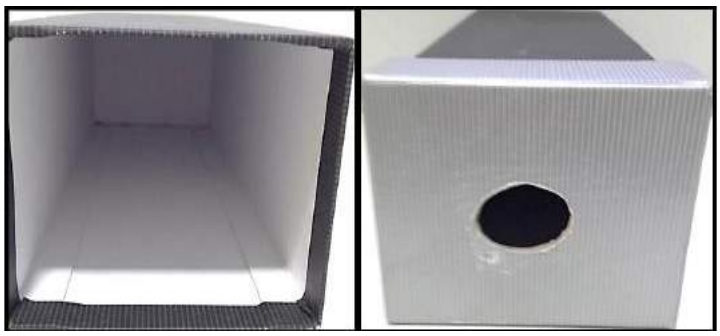
- Apresente aos estudantes a caixa, com o furo no centro da tampa, conforme ilustra a Figura 4, dada a seguir:

- Pergunte qual a cor das paredes internas da caixa. Aguarde as respostas, em seguida retire a tampa e mostre aos estudantes o interior da caixa.

● **Pergunta de investigação**

- Por que o interior da caixa, visto pelo furo central, parece ser preto, se suas paredes internas são brancas?

Figura 4: Demonstração ilustrando um corpo negro.



Fonte 1: Autor, 2019.

Demonstração 5: Condução do Calor (parte III)

● **Material utilizado**

- 2 arames de 35 cm, de 1 a 2mm de diâmetro, um de cobre e o outro de alumínio.

- Suporte de madeira.

- Uma vela.

- Pequenos pinos de arame de cobre.

● **Construção do experimento**

- Junte os dois pedaços de arame, torcendo-os até atingir 15 cm; abra as extremidades livres em forma de “V”, como indica a Figura 5.

- Dobre a parte retorcida e coloque-a no suporte de madeira.

● Procedimentos em sala de aula

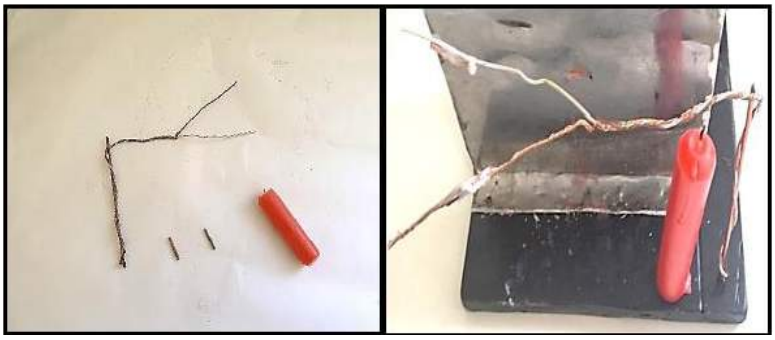
- Prenda com pedaços de cera os pinos de arame em cada extremidade em “V”, atentando para uma igual distância do ponto de união.

- Coloque a vela acesa sob a parte retorcida e observe os pedaços de cera.

● Perguntas investigativas

- Há dois arames de materiais diferentes no arranjo experimental. Em qual deles a parafina derrete primeiro: no arame de cobre ou no arame de alumínio? Por que isso acontece?

Figura 5: Experimento ilustrando a propagação do calor em materiais diferentes.



Fonte: autor, 2019.

Demonstração 6: Radiação Térmica (parte III)

● Material utilizado

- Uma placa de madeira, com dimensões 20cm x 20cm x 2cm; duas placas de alumínio, com dimensões 15cm x 17cm; um bocal para lâmpada; uma tomada de pinos; uma lâmpada de 42W; 50cm de fio condutor elétrico; parafina (vela); dois *sprays* de tinta nas cores preta e branca foscas; uma lixa nº 180; quatro parafusos para fixação em madeira, com dimensões aproximadas de 1cm de comprimento e 2mm de diâmetro; dois pinos de fio de cobre.

● Construção do experimento

- Pinte apenas uma das faces de cada placa metálica com os *splays*, sendo uma com a tinta preta e a outra com branca.

- Fixe com parafusos a lâmpada no centro do suporte de madeira.

- Fixe com parafusos as placas metálicas no suporte de madeira, deixando a lâmpada entre elas. As placas deverão guardar uma distância da lâmpada em torno de 2cm.

● Procedimentos em sala de aula

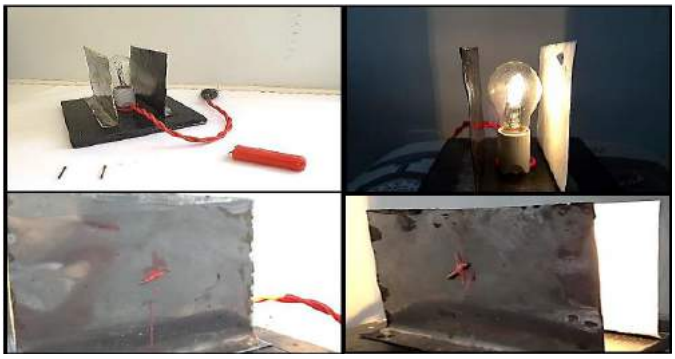
- Fixe com cera de parafina os dois pedaços de pinos de cobre nos versos das faces pintadas de cada placa, na altura do filamento da lâmpada.

- Acenda a lâmpada e depois de um tempo observe o que acontece com os pinos que estão conectados às placas. A Figura 6, dada abaixo, ilustra este procedimento.

● Perguntas investigativas

- Como você pode explicar o fato de que os pinos se soltam primeiro na placa de cor preta?

Figura 6: Experimento para abordar a absorção e emissão de calor de acordo com a cor da superfície.



Fonte: Autor, 2019

APÊNDICE C - Temas Sobre Os Modos de Transmissão do Calor.

O texto a seguir estabelece os critérios para avaliação no bimestre. Dentro desta avaliação, ficou definido que 2,0 pontos seria reservado para as apresentações dos temas na forma de mapas conceituais.

Escola Estadual de Ensino Médio "_____" ANO: _____

Professor:_____

Disciplina: _____

Prezado (a) aluno (a),

Para este bimestre nossa avaliação terá a seguinte distribuição de pontos:

Prova com questões de múltipla escolha = 6,0 pontos.

Atividade individual = 2,0 pontos.

Atividade coletiva = 2,0 pontos.

Observação: De acordo com a necessidade, esta distribuição de pontos poderá ser reajustada.

Procedimento:

Cada turma deverá formar grupos de no máximo 5 alunos. Cada grupo elegerá seu representante. Os temas serão previamente organizados pelo professor e sorteados aleatoriamente em classe.

Data de apresentação	temas	Grupo
____ / ___ / ___	01- Roupas no deserto	Grupo _____

____ / ____/ ____	02- Casa de gelo (Iglu)	Grupo _____
_____/ ____ / ___	03- Garrafa térmica	Grupo _____
____ / ____ / ___	04 - Temperatura corporal e atividade física	Grupo _____
____ / ___ / ___	05 - Coletor solar	Grupo_____
____ / _____ / __	06 - Aquecimento Global	Grupo _____

Grupo 1:

Aluno 1: _____

Aluno 2: _____

Aluno 3: _____

Aluno 4: _____

Aluno 5: _____

Tema 1: Como são as roupas usadas no deserto?

As roupas usadas pelos moradores do deserto em geral são escuras, largas e confeccionadas com lã de camelo, material de péssima condutibilidade térmica.

Viajante no deserto.

Pode parecer estranho o fato de usarem roupas com essas características, no entanto, a lã de camelo serve como isolante térmico. Esse material evita que o calor do Sol entre diretamente em contato com a pele durante o dia e dificulta a saída do calor gerado pelo corpo humano durante as noites frias.

Essas roupas são largas para facilitar a convecção do ar existente entre a face interna da roupa e a pele da pessoa. Desse modo, o ar aquecido sobe e sai pela parte de cima, na região próxima ao pescoço. Como o ar mais quente sobe, entra pela parte inferior da roupa ar mais frio, circulando e resfriando o corpo da pessoa.

A temperatura no deserto do Saara, na África, pode atingir 50ºC durante o dia e – 5ºC à noite.

Fonte: Villas Boas, Newton, 2016.

Tema 2: Casa de gelo (iglu)

A casa de gelo (iglu) é um abrigo feito de neve endurecida (gelo), utilizado por povos que habitam regiões de frio extremo, como o polo norte do Alasca e o continente Ártico (Polo Norte). Para construir tais abrigos, esses povos cortam grandes blocos de gelo e os organizam para formar uma cúpula que é completada com um único bloco na parte superior. A forma arredondada é importante para que a neve, ao cair, escorregue, evitando que o sobrepeso cause o desmoronamento da construção.

A forma arredondada possibilita que seja feita uma fogueira na parte central, região mais fria, e que as pessoas fiquem nas laterais, onde desce o ar mais quente devido à convecção.

Como o gelo apresenta coeficiente de condutibilidade térmica pequeno (2.10^{-4} cal/s.cm.ºC), ele pode ser considerado um bom isolante térmico. Assim,

o calor produzido no interior do iglu pela transpiração e respiração das pessoas, bem como a energia resultado da queima de óleo de foca ou outro combustível, permanece no interior aquecendo o ar. Enquanto isso a temperatura externa pode chegar a -50^{o}C no inverno. V

Fonte: Villas Boas, Newton, 2016.

Tema 3: funcionamento de uma garrafa térmica

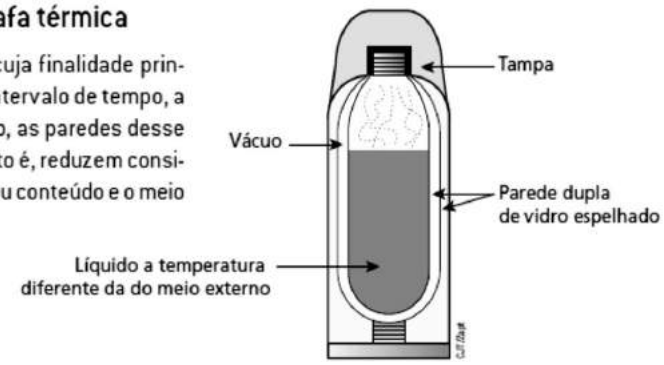
O vaso de Dewar

Ao contrário do que muita gente pensa, a garrafa térmica não foi inventada para manter o café quente. Foi o físico britânico James Dewar (1842-1923) que, no final do século XIX, a pedido de colegas, inventou um recipiente que pudesse conservar soluções biológicas a temperaturas estáveis. Dewar havia lido trabalhos do físico italiano Evangelista Torricelli, que no século XVII tinha comprovado ser o vácuo um bom isolante térmico. O grande problema de Dewar era como manter o vácuo. Para tanto, ele construiu uma garrafa de vidro com paredes duplas. O ar existente entre essas paredes foi retirado, e a garrafa, lacrada. Para evitar que a luz atingisse a solução biológica e provocasse alguma alteração, Dewar espelhou as paredes da garrafa. Com isso, evitava que as ondas de calor entrassem ou saíssem dela.

James Dewar era um daqueles cientistas que achavam que suas descobertas deviam ser usadas por todos, por isso não patenteou essa invenção, considerando-a um presente à Ciência. Somente no início do século XX, o alemão Reinhold Burger, fabricante de vidros, aperfeiçoou o invento de Dewar, diminuindo o seu tamanho e lançando-o no mercado. Foi um sucesso de vendas, que tornou Burger muito rico.

Detalhes funcionais de uma garrafa térmica

A garrafa térmica é um dispositivo cuja finalidade principal é manter constante, por um maior intervalo de tempo, a temperatura de seu conteúdo. Para tanto, as paredes desse sistema são praticamente **adiabáticas**, isto é, reduzem consideravelmente as trocas de calor entre o seu conteúdo e o meio externo.



Com a finalidade de isolar termicamente o conteúdo de uma garrafa térmica do meio ambiente, adotam-se os seguintes procedimentos:

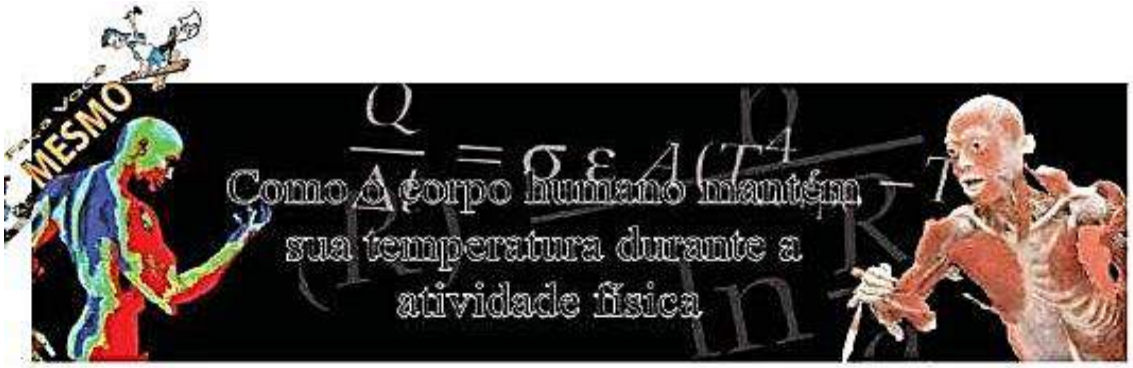
- as paredes internas são feitas de vidro, que, por ser mau condutor, atenua as trocas de calor por condução;
- as paredes internas são duplas, separadas por uma região de vácuo, cuja função é tentar evitar a condução do calor que passa pelas paredes de vidro;
- o vidro de que são feitas as paredes internas da garrafa é espelhado, para que o calor radiante seja refletido, atenuando assim as trocas por radiação.

Para evitar as possíveis trocas de calor por convecção, basta fechar a garrafa, pois dessa forma as massas fluidas internas não conseguem sair do sistema.

É evidente que não existe o isolamento térmico perfeito; assim, apesar dos cuidados citados, após um tempo relativamente grande (várias horas), o conteúdo da garrafa térmica acaba atingindo o equilíbrio térmico com o meio ambiente.

Fonte: Villas Boas, Newton, 2016

Tema 4: Como o corpo humano mantém sua temperatura corporal durante a atividade física



O ser humano é homeotérmico, isto é, possui a capacidade de manter a temperatura corporal dentro de uma faixa razoavelmente estreita (em torno de 36,5 °C)[1], apesar das variações térmicas do ambiente. O equilíbrio térmico é conseguido através do balanço entre a perda e a produção ou aquisição de calor.

Parte da energia liberada pelo funcionamento normal dos órgãos internos e pelos músculos durante a atividade física é energia térmica (calor). Uma pessoa em repouso libera a cada segundo uma quantidade de calor correspondente a cerca de 90 joules. Ao se praticar exercício, a velocidade de produção de calor pelo músculo aumenta em função da intensidade do exercício, que transitoriamente é maior que a velocidade de dissipação de calor do músculo. O primeiro meio utilizado para remover o calor dos músculos durante o exercício é a sua transferência (por condução) para o sangue. A velocidade de transferência do calor é proporcional ao produto do fluxo sangüíneo local e à diferença de temperatura entre o músculo e o sangue arterial. Desta maneira, grande parte do calor produzido pelos músculos trabalhados é transferida para o resto do organismo pela circulação. Quando isso ocorre, a temperatura interna como um todo começa a se elevar, desencadeando reflexos fisiológicos que promovem um aumento da transferência do calor interno para a pele e desta para o meio ambiente. Estes reflexos servem para diminuir e eventualmente cessar o aumento da temperatura do organismo, pois seu aquecimento excessivo durante o exercício reduz a eficiência do sistema circulatório, limitando a capacidade do coração de liberar sangue oxigenado na velocidade necessária para a pele e para os músculos. Portanto os mecanismos de transferência de calor para o ambiente são fundamentais para a fisiologia humana.

Estando o ambiente externo a uma temperatura mais baixa que a temperatura corporal, há três mecanismos básicos pelos quais se dá a perda de calor para o ambiente: condução, irradiação e, caso a temperatura da pele atinja 37,0 °C, disparando os mecanismos de controle homeostático do hipotálamo, a transpiração [1].

O ser humano é homeotérmico (possui a capacidade de manter a temperatura corporal dentro de uma faixa razoavelmente estreita, apesar das variações térmicas do ambiente). O equilíbrio térmico é conseguido através do balanço entre a perda e a produção ou aquisição de calor

Condução

A transferência de calor por condução ocorre na medida em que o corpo, a uma temperatura maior do que a ambiente, transfere energia através da pele e aquece o ar a sua volta. Nesse caso a transferência se dá molécula a molécula, e portanto depende não apenas da área exposta ao ar mas também dos tipos de moléculas e das formas pelas quais elas estão ligadas e interagem entre si. Esta dependência está expressa pela constante de proporcionalidade k (condutividade térmica do material) na equação básica da condução

$$\frac{Q}{\Delta t} = k A \frac{(T_{corpo} - T_a)}{d}$$

onde o fluxo de calor transferido por condução (à esquerda) é proporcional à área exposta e ao gradiente de temperatura, no caso entre a pele e o ar ambiente [2]. A distância d representa portanto a distância (no ar) ao longo da qual a temperatura cai da temperatura da pele para a temperatura ambiente. Assumindo uma estima-

Fernanda Luz, Marina Azevedo e Raiza Oliveira
Alunas da 3ª série do ensino médio do Colégio de Aplicação, Universidade Federal do Rio de Janeiro (CAp-UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Roberto Pimentel
Professor de física do Colégio de Aplicação, Universidade Federal do Rio de Janeiro (CAp-UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: beto@if.ufrj.br

O corpo humano troca calor com o ambiente através de três processos básicos: condução, irradiação e transpiração. Este último processo constitui a ferramenta básica do organismo para a manutenção de uma temperatura corporal aproximadamente constante. Ele é disparado não apenas quando a temperatura externa é maior do que a temperatura corporal, mas também quando o calor gerado internamente devido à realização de atividades físicas demanda um aumento da taxa com que o corpo perde calor para o ambiente. Monitorou-se não só o aumento da temperatura corporal com a intensidade da atividade física realizada por uma pessoa, mas também a relação entre a freqüência cardíaca e a temperatura, destacando uma defasagem que ocorre entre a diminuição da primeira e da segunda à medida em que a intensidade da atividade física é reduzida. Para realizar as medições, usou-se um termômetro eletrônico construído e calibrado pelas autoras dentro do curso de física da 2ª série do ensino médio.

Fonte: Física na Escala, v.9, n. 2, 2008.

tiva de 5 cm para esta distância, considerando 2 m² como a área exposta do corpo de uma pessoa média e tomando o valor da condutividade térmica do ar ($k_{ar} = 5{,}7 \times 10^{-5}$ cal/(s.cm.°C)), obtemos uma perda de calor por condução de aproximadamente 10,5 W para uma pessoa exposta ao ar em repouso a 23,0 °C [3].

Irradiação

Todo corpo irradia (e absorve) energia na forma de ondas eletromagnéticas. O fluxo de calor irradiado por um corpo pode ser calculado pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \sigma \varepsilon A T^4,$$

onde T é a temperatura do corpo em kelvins e A sua área em m². σ é uma constante universal, a constante de Stefan-Boltzmann, e vale $5{,}67 \times 10^{-8}$ W/(m².K⁴). ε é a emitância do material considerado. Para o corpo humano podemos considerar $\varepsilon = 0{,}97$.

Entretanto, o corpo não apenas emite calor na forma de radiação eletromagnética como também a absorve do meio externo. A perda "líquida" de calor depende então da temperatura do ar ambiente. Podemos ajustar a lei de Stefan-Boltzmann para levar em consideração a radiação absorvida da seguinte forma

$$\frac{Q}{\Delta t} = \sigma \varepsilon A (T_{corpo}^4 - T_{at}^4).$$

Assim podemos calcular que a mesma pessoa, na mesma condição ambiente do cálculo anterior, também estará perdendo 133 W "líquidos" por irradiação. A perda por irradiação, pelo menos neste caso, é portanto muito mais relevante que a perda por condução.

Transpiração

Quando não estamos fazendo exercício físico, se a temperatura ambiente subir acima da temperatura corporal, boa parte da umidade da pele evapora (no mínimo 600 g por dia), "roubando" cerca de 17 W do corpo. Em casos extremos é possível perder até 1,5 litro por hora, levando a perda de calor em uma taxa de quase 2,4 kW! Isso mostra o quão importante (e eficiente) é o processo da transpiração na regulação da temperatura do corpo.

Mesmo no caso mais comum da temperatura ambiente estar abaixo da temperatura corporal, a atividade física intensa pode chegar a um ponto em que as perdas por condução e irradiação não são suficientes para dar vazão à produção interna de calor do corpo. Quando a pele atinge uma temperatura de cerca de 37,0 °C, começamos a suar. A transpiração é um importante mecanismo de controle da temperatura do corpo[2]. Ela faz uso do alto calor de vaporização da água (580 cal/g a 37°C)[1] para retirar quantidades apreciáveis de calor do corpo.

Medição da temperatura corporal durante exercícios físicos

No laboratório de informática do CAp-UFRJ, a uma temperatura ambiente controlada de aproximadamente 23 °C e ar relativamente seco (ar-condicionado), as autoras fizeram uma série de exercícios, de intensidade crescente: 10 min em repouso sentadas (A), 2 min andando rápido (B), 2 min trotando (C), 3 min fazendo deslocamentos laterais (D), e 3 min subindo e descendo de uma cadeira (E). Ao final da série, passavam 5 min andando devagar (F), diminuindo o ritmo, até retornar finalmente ao repouso por mais 5 min (G).

Ao longo dos exercícios, mediu-se a temperatura com o termômetro digital preso a uma das axilas. Os batimentos cardíacos foram medidos simultaneamente através de um freqüencímetro comercial (aparelho utilizado para monitorar a freqüência cardíaca), posto na altura do peito, local onde se consegue sentir bem as pulsações do coração. Junto com esse aparelho vem um relógio digital próprio, que nos mostra a freqüência dos batimentos.

Quando não estamos fazendo exercício físico, se a temperatura ambiente subir acima da temperatura corporal, a transpiração faz com que boa parte da umidade da pele evapore (no mínimo 600 g por dia), "roubando" cerca de 17 W do corpo. Em casos extremos é possível perder até 1,5 litro por hora, levando a perda de calor a uma taxa de quase 2,4 kW!

O termômetro digital construído pelo grupo foi conectado a um computador através da porta de jogos (DB-15) e mediu-se a resistência com o auxílio de um programa específico.[4] Com o computador, a resistência do sensor (termistor)[5] pôde ser medida praticamente a cada instante. Esta resistência pode ser convertida em valores de temperatura porque conhecemos a relação entre as duas grandezas para o termistor

$$R(T) = ae^{\frac{b}{T}},$$

em que as constantes a e b são próprias de cada termistor e podem ser determinadas experimentalmente (calibração)[6]. A função inversa

$$T(R) = \frac{b}{\ln \frac{R}{a}}$$

nos dá a temperatura em função dos valores de resistência lidos [4]. Os gráficos a seguir mostram os resultados obtidos.

A temperatura começa estável[7] e aumenta progressivamente à medida que a atividade física vai ficando mais intensa (Fig. 1). A fase E, que corresponde à atividade física mais intensa (subindo e descendo rapidamente de uma cadeira) corresponde à temperatura mais alta alcançada, em torno de 37,5 °C. Note que, devido à transpiração, a temperatura se estabiliza neste patamar mesmo com a continuação do exercício.

O monitoramento da freqüência cardíaca no mesmo período mostra uma repetição do comportamento observado para a temperatura (Fig. 2), com algumas pequenas diferenças. No começo quase não há variação na freqüência cardíaca, mas a partir dos 10 min (fase B), quando a pessoa começa a andar rapidamente, os batimentos sobem bastante. Nos últimos

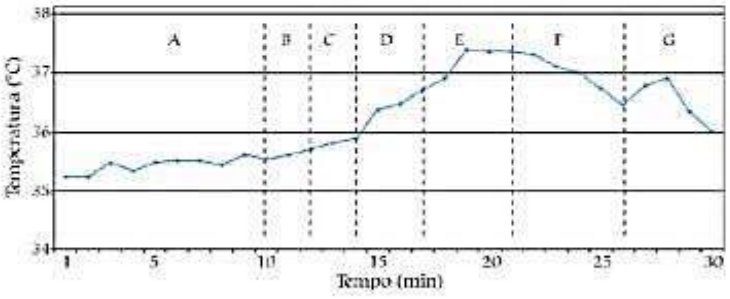


Figura 1 – variação da temperatura corporal (axila) ao longo da série de exercícios realizada.

Fonte: Física na Escala, v.9, n. 2, 2008.

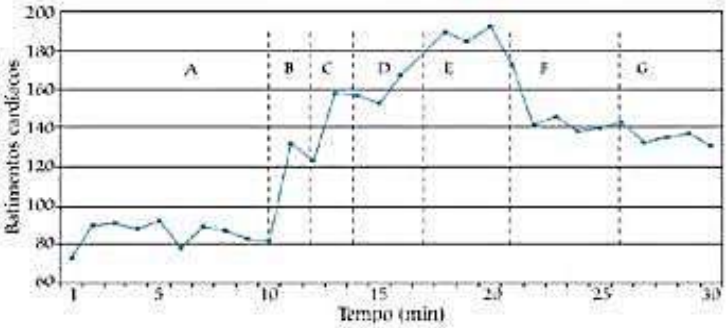


Figura 2 – Variação da freqüência cardíaca (em batimentos por minuto) ao longo da série de exercícios realizada.

10 min os batimentos caíram bruscamente logo que os exercícios encerraram-se, mas depois foram se estabilizando.

Está bem nítida a correlação entre temperatura e freqüência cardíaca. Quando os batimentos estão baixos (entre 80 e 100 batimentos por minuto) a temperatura não varia nem um grau Celsius, pois quase não há uma variação da freqüência. Já quando há um aumento grande da freqüência a temperatura também fica muito mais alta. É interessante perceber que a temperatura não cai tão rapidamente quanto a freqüência cardíaca ao final da série de exercícios: quando a freqüência abaixou para cerca de 130 ou 140 batimentos por minuto (fase F) a temperatura ainda se manteve alta por algum tempo antes de começar a baixar – em torno de 37,0 °C. Isso significa que a temperatura não "retorna" pelo mesmo caminho à medida que diminuímos a intensidade do exercício, apresentando portanto um efeito de histerese. Por exemplo, em duas situações diferentes (fases B e F), a freqüência é de aproximadamente 140 batimentos por minuto, mas com mais de 1,0 °C de diferença entre uma situação e outra.

Conclusão

Se a pessoa estiver com um índice de Massa Corporal (IMC)[3] normal, isto é, entre 18,5 e 25 kg/m², seu peso e sua altura não fazem muita diferença na evolução da temperatura. Caso ela esteja fora desta faixa, no entanto, a sua relação superfície-volume provavelmente causará uma diferença. Porém, o que provavelmente mais influencia o perfil da evolução da temperatura e principalmente dos batimentos cardíacos são os hábitos de cada um: no caso de uma pessoa sedentária, o coração vai ter que bombear o sangue a uma velocidade maior do que se ela praticasse alguma atividade, pois ela já estaria acostumada aos exercícios e assim os batimentos não aumentariam tanto [5]. Além disso, no caso da pessoa sedentária, os batimentos cardíacos demorariam mais tempo para diminuir e voltar ao normal. A influência de ambos os fatores (IMC e sedentarismo) pode ser estudada pelo método apresentado, o que constitui uma perspectiva de continuação do trabalho.

O que provavelmente mais influencia o perfil da evolução da temperatura e dos batimentos cardíacos de quem faz exercícios são os hábitos de cada um. No caso de uma pessoa sedentária, o coração vai ter que bombear o sangue a uma velocidade maior do que se ela praticasse alguma atividade, pois ela já estaria acostumada aos exercícios e assim os batimentos não aumentariam tanto

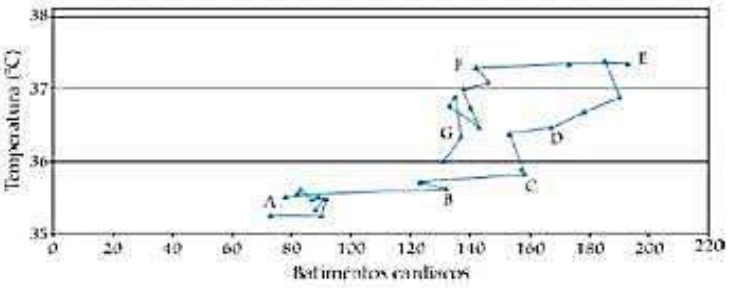


Figura 3 - Correlação entre freqüência cardíaca (em batimentos por minuto) e temperatura corporal ao longo da série de exercícios realizada.

O trabalho de finalização do curso de física da segunda série do ensino médio do CAp-UFRJ de 2006 envolveu a elaboração de um projeto original baseado no uso de um termômetro digital construído e calibrado previamente pelas alunas como trabalho de grupo do bimestre anterior. A proposta realizada consistiu em estudar os processos pelos quais o corpo troca calor com o meio ambiente e relacionar a variação da temperatura corporal com a freqüência cardíaca em diferentes situações: em repouso e praticando exercícios físicos de diferentes intensidades.

Além do caráter transdisciplinar do projeto, que envolveu a articulação de conhecimentos de física do calor com os conteúdos desenvolvidos no curso de matemática sobre as funções exponenciais e logarítmicas e os tópicos de saúde e fisiologia abordados no curso de educação física, a proposta de trabalho de grupo é relevante no contexto do ensino de física por três outros motivos. O primeiro diz respeito ao caráter experimental do projeto, que supre a deficiência de um espaço específico para esse tipo de pesquisa (laboratório). O segundo remete à importância de relacionar elementos da tecnologia e do dia-a-dia dos alunos (computadores, softwares, eletrônica, termologia, fisiologia e atividades físicas) entre si e com os conteúdos desenvolvidos nas disciplinas escolares. Por último, a proposta relativamente aberta constitui uma atividade de natureza criativa e de caráter cooperativo. O trabalho em grupo pode ser desenvolvido fora do horário de aula, em casa ou na escola, atingindo os interesses de cada grupo de alunos [6].

Agradecimentos

Agradecemos a Arantes Neto e João Faria, alunos do CAp-UFRJ, bem como ao licenciando em física Bernardo Medina. O professor de educação física do CAp-UFRJ, Marcos Pimentel, criou a série de exercícios. Agradecemos ainda ao professor de biologia Igor França, do CAp-UFRJ, pelas dicas de fisiologia, e, finalmente, ao professor Carlos Eduardo Aguiar, do Instituto

Fonte: Física na Escala, v.9, n. 2, 2008.

de Física da UFRJ, pelas sugestões relativas ao texto.

Notas

[1]A temperatura da pele é, no entanto, cerca de dois a três graus mais baixa, em geral.

[2]Parte do calor é perdido através da umidade do ar exalado na respiração.

[3]O calor latente de vaporização da água é 540 cal/g no ponto de ebulição, mas a temperaturas mais baixas ele é significativamente maior, dado que as energias de ligação entre as moléculas de água são maiores a temperaturas mais baixas.

[4]O programa utilizado foi o AqDados 2.0 desenvolvido por Ives Solano Araujo (UFRGS) e disponível pela internet em http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/Aqdados20.zip.

[5]Elemento de circuito cuja resistência elétrica varia fortemente com a temperatura.

[6]Isto já havia sido feito previamente. Para tanto basta tomar duas temperaturas dentro da faixa de operação do termistor e montar um sistema de equações em que as únicas variáveis são *a* e *b*.

[7]A incerteza da calibração é da ordem de 2 °C, portanto o valor em torno de 35,3 °C não deve ser estranhado.

[8]O IMC é um parâmetro fisiológico de uso rotineiro, e é calculado como a razão entre a massa em quilogramas e o quadrado da altura, em metros, de uma pessoa [7].

Referências

[1] E. Okuno, I.L. Caldas e C. Chow, *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas* (Editora Harbra, São Paulo, 1982), cap. 11.

[2] L.A. Guimarães e M. Fonte Boa, *Física para o Ensino Médio, Termologia e Óptica* (Editora Galera Hipermídia, Niterói, 2006).

[3] http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/coobod.html#c1 (Hyper Physics).

[4] http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/cap/capjoystick.html.

[5] http://www.gssiweb.com/ (Gatorade Sports Science Institute).

[6] B. Medina, *Termometria Através do Computador: Projeto de Instrumentação Para o Ensino (trabalho final de licenciatura)* (IF, UFRJ, 2006).

[7] http://www.copacabanarunners.net/imc.html.

É ouro! Brasil campeão da XIII Olimpíada Ibero-Americana de Física

No dia 4 de outubro voltou do México a equipe brasileira da Olimpíada Brasileira de Física (OBF) que participou da XIII Olimpíada Ibero-americana de Física (OIbF). A XIII OIbF ocorreu de 28 de setembro a 3 de outubro, em Morélia, no México, com a participação de 68 estudantes de 19 países. Nossa equipe, selecionada e preparada pela Olimpíada Brasileira de Física, foi formada pelos estudantes Mariana Quezado Costa Lima, George Gondim Ribeiro, Leonardo Mendes Valerio Almeida e Deric de Albuquerque Simão e conquistou três medalhas de ouro e uma de prata. A delegação brasileira foi acompanhada pelo Prof. Carlito Lariucci, do Instituto de Física da Universidade Federal de Goiás. Além das medalhas, a Equipe Brasileira obteve a melhor nota nas provas experimental e teórica, e a primeira posição na classificação geral.

O resultado obtido na XIII OIbF é fruto do trabalho que a Sociedade Brasileira de Física (SBF) vem realizando por meio da Olimpíada Brasileira de Física, através da Comissão Nacional e das Coordenações Estaduais, com o apoio do CNPq. Foi na edição da OBF 2006 que esses estudantes começaram sua maratona de estudos. Desde então, eles receberam orientação de seus professores, dos coordenadores estaduais da OBF, além de terem feito diversas provas seletivas sob a orientação da Comissão de Preparação. Antes da viagem ao México eles ainda passaram por um treinamento intensivo no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, em São Carlos, sob a Coordenação do Prof. Euclydes Marega Júnior, da Comissão de Preparação.

Nossos parabéns à delegação, aos Colégios e Professores que apóiam a Olimpíada Brasileira de Física e dela participam, e a toda a equipe - Coordenadores Estaduais, Secretaria da OBF- que fez o acompanhamento e preparação dos estudantes.

Equipe OIbF: da direita para esquerda, Deric de Albuquerque Simão (Medalha de Prata), Leonardo Mendes V. Almeida, George Gondim Ribeiro e Mariana Quezado Costa Lima (Medalhas de Ouro).

Maiores informações:

http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/

Fonte: Física na Escala, v.9, n. 2, 2008.

Tema 5: Coletor Solar

Formas de aproveitamento da energia solar

Aquecimento de água por energia solar

O Brasil recebe anualmente, em média, 1 800 kWh/m^2 de energia proveniente do Sol. Para se ter uma ideia disso, a radiação que incide em um ano na área do Distrito Federal, onde se encontra a cidade de Brasília, equivale a mais de 160 usinas de Itaipu. A utilização de parte dessa energia poderia representar uma grande economia para cada um de nós e para o país, que não precisaria construir novas usinas hidrelétricas, termelétricas ou nucleares.

As placas coletoras são, geralmente, colocadas no telhado das residências.

A utilização de coletores solares para uso doméstico no aquecimento de água pode representar uma economia de 30% a 40% na conta de energia elétrica das residências. Cada metro quadrado de coletor solar em uso representa 56 m^2 a menos de área inundada em usinas hidrelétricas e a economia de 55 kg/ano de gás ou 215 kg/ano de lenha que deixaria de ser queimada, nas usinas termelétricas.

Segundo dados divulgados pelo Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), cerca de 80% das residências brasileiras têm chuveiro elétrico (são mais de 80 milhões de aparelhos) e poucas possuem aquecedor solar. Nos países de primeiro mundo, 80% dos lares possuem aquecimento solar para aquecer a água utilizada nos banhos e para a calefação (aquecimento dos cômodos), sendo também empregadas células fotovoltaicas, que transformam energia solar em energia elétrica.

O aquecedor solar é um sistema simples que utiliza a radiação, a condução e a convecção térmica para aquecimento da água. Esse dispositivo é constituído de duas partes: o coletor solar (placas) e o reservatório térmico (onde a água aquecida é armazenada).

Fonte: Villas Boas, Newton, 2016

Tema 6: Aquecimento Global

O aquecimento global

Pela metade do século, o impacto de uma economia de combustíveis fósseis deve estar em pleno andamento: o aquecimento global. É hoje indiscutível que a Terra está se aquecendo. Dentro do último século, a temperatura da Terra subiu 1,3° C, e o ritmo são acelerados. Os sinais são inconfundíveis em todos os lugares que olhamos: A espessura do gelo do Ártico diminuiu espantosamente em 50 por cento apenas nos últimos cinquenta anos. Muito desse gelo do Ártico está logo abaixo do ponto de congelamento, flutuando na água. Por isso, é extremamente sensível a pequenas variações de temperatura dos oceanos, agindo como um canário em uma mina, um sistema de alerta precoce. Hoje, algumas regiões do Norte as calotas polares desapareçam nos meses de verão, e poderão desaparecer completamente durante o Verão já em 2015. A calota de gelo polar pode desaparecer definitivamente até o final do século, interrompendo o clima do mundo, alterando o fluxo do oceano e as correntes de ar ao redor do planeta.

As planícies de gelo da Groelândia diminuíram 24 milhas quadradas em 2007. Este número saltou para 71 milhas quadradas em 2008. (Se todo o gelo da Groelândia fosse de algum modo derreter, o nível do mar subiria cerca de vinte metros ao redor do mundo).

Grandes pedaços de gelo da Antártica, que permaneceram estáveis por dezenas de milhares de anos, estão gradualmente se rompendo. Em 2000, um pedaço do tamanho de Connecticut rompeu, com 4.200 milhas quadradas de gelo. Em 2002, um pedaço de gelo do tamanho de Rhode Island quebrou a geleira Thwaites. (Se todo o gelo da Antártida derretesse, o nível do mar subiria cerca de 180 metros ao redor do mundo).

Para cada metro vertical que o oceano se levanta, a propagação horizontal do oceano é de cerca de 100 pés. Já, os níveis do mar subiram 8 polegadas na século passado, causados principalmente pela expansão da água do mar como ela esquenta. Segundo as Nações Unidas, os níveis do mar poderão subir de 7 até 23 polegadas em 2100. Alguns cientistas disseram que o relatório da ONU foi muito cauteloso em interpretar os dados. De acordo com cientistas da Universidade do Instituto do Colorado do Ártico e Alpine Research, até 2100 o nível do mar pode subir de 3 a 6 pés. Assim, aos poucos os mapas dos litorais da Terra irão mudar. As temperaturas começaram a ser registradas de forma confiável no final dos anos de 1700, 1995, 2005 e 2010, classificado entre os anos mais quentes já registrados, de 2000 a 2009 foi à década mais quente. Da mesma forma, os níveis de dióxido de carbono estão crescendo dramaticamente. Eles estão nos níveis mais altos dos últimos 100 mil anos.

Como a Terra se aquece, as doenças tropicais estão migrando gradualmente para o norte. A recente disseminação do vírus do Nilo Ocidental transportado por mosquitos pode ser um prenúncio do que está por vir. Os funcionários da ONU estão especialmente preocupados com a disseminação da malária indo para o norte. Normalmente, os ovos de muitos insetos nocivos morrem a cada inverno, quando o solo congela. Mas, com o encurtamento da temporada de inverno, isso significa que as propagações inexoráveis de substâncias perigosas dos insetos irão para o norte.

Fonte: KAKU, 2011

O Dióxido de Carbono e os Gases de Efeito Estufa

De acordo com Intergovernamental da ONU Panel on Climate Change, os cientistas concluíram, com 90 por cento de confiança que o aquecimento global seja impulsionado pela atividade humana, especialmente na produção de dióxido de carbono através da queima de petróleo e carvão. A luz do sol atravessa facilmente o dióxido de carbono. Mas, como a luz solar aquece a Terra, ele cria a radiação infravermelha, que não passa de volta através de dióxido de carbono tão facilmente. A energia da luz do sol não pode refletir de volta no espaço e fica presa.

Vemos também um efeito semelhante em estufas ou carros. O sol aquece o ar, o que é impedido de fugir pelo vidro. É sinistra, a quantidade de dióxido de carbono gerada tem crescido de forma explosiva, especialmente no século passado. Antes da Revolução Industrial, o teor de dióxido de carbono no ar era 270 partes por milhão (PPM). Hoje, ela subiu para 387 PPM.

(Em 1900, o mundo consumiu cerca de 150 milhões barris de petróleo. No ano 2000, saltou para 28 bilhões de barris, um salto 185 vezes maior. Em 2008, 9,4 bilhões de toneladas de dióxido de carbono foram enviados para a atmosfera pela queima de combustíveis fósseis e também o desmatamento, mas apenas 5 bilhões de toneladas foram recicladas nos oceanos, solos e vegetação. O restante vai ficar parado no ar por décadas, o aquecimento a terra).

Fonte: KAKU, 2011

APÊNDICE D - Teste Final com 6 Questões Objetivas, Modelo Enem.

O texto a seguir é um teste, contendo 6 questões objetivas, sobre transferência de calor. Sugere-se ao professor que o teste seja passado no final, na oitava etapa da UEPS.

1ª Questão:

Uma parede dupla de um frigorífico industrial tem uma camada de cortiça, de 10 cm de espessura, justaposta a outra camada de concreto de 20 cm de espessura. Sabendo-se que a temperatura no interior do frigorífico é de – 20ºC e a temperatura externa é de 25º C, qual a temperatura na superfície de separação das duas camadas da parede?

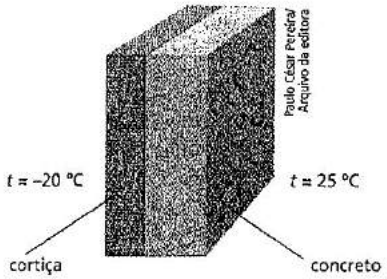
(a) 21ºC

(b) 0ºC

(c) 18ºC

(d) 20º C

(e) 10ºC



Fonte: Máximo, 2010,

2ª Questão:

(Enem-MEC) Uma garrafa de vidro e uma lata de alumínio, cada uma contendo 300 ml de refrigerante, são mantidas em um refrigerador pelo mesmo período. Ao retirá-las do refrigerador com as mãos desprotegidas, tem-se a sensação de que a lata está mais fria que a garrafa.

É correto afirmar que:

a) A lata está realmente mais fria, pois a capacidade calorífica da garrafa é maior que a da lata.

b) A lata está de fato menos fria que a garrafa, pois o vidro possui condutividade menor que o alumínio.

c) A garrafa e a lata estão à mesma temperatura, possuem a mesma condutividade térmica, e a sensação deve-se à diferença nos calores específicos.

d) A garrafa e a lata estão à mesma temperatura, e a sensação é devida ao fato de a condutividade térmica do alumínio ser maior que a do vidro.

e) A garrafa e a lata estão à mesma temperatura, e a sensação é devida ao fato de a condutividade térmica do vidro ser maior que a do alumínio.

3ª Questão:

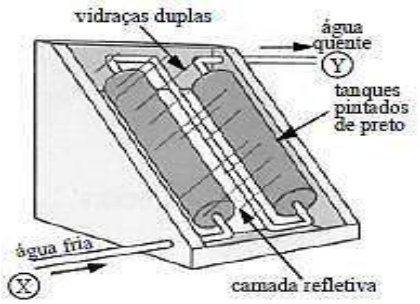
(Enem-MEC) O uso mais popular de energia solar está associado ao fornecimento de água quente para fins domésticos. Na figura ao lado, é ilustrado um aquecedor de água constituído de dois tanques pretos dentro de uma caixa termicamente isolada e com cobertura de vidro, os quais absorvem energia solar.

Nesse sistema de aquecimento,

(a) Os tanques, por serem de cor preta, são maus absorvedores de calor e reduzem as perdas de energia.

(b) a água circula devido à variação de energia luminosa existente entre os pontos X e Y.

(c) a camada refletiva tem como função armazenar energia luminosa.



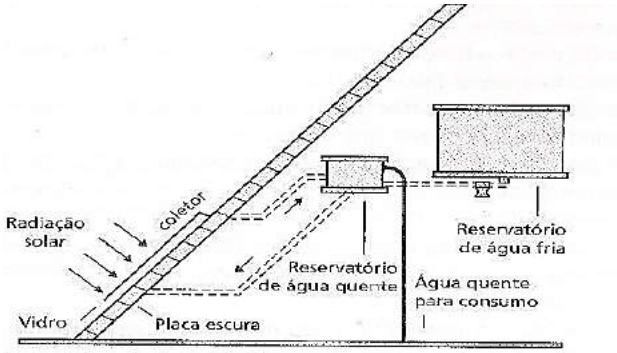
Fonte: A. Hinrichs e M. Kleinbach. Energia e meio ambiente. São Paulo: Thompson, 3a ed.. p. 529 (com adaptações)

(d) a cobertura de vidro deixa passar a energia luminosa e reduz a perda de energia térmica utilizada para o aquecimento.

(e) o vidro, por ser bom condutor de calor, permite que se mantenha constante a temperatura no interior da caixa.

4ª Questão:

(Enem-MEC) O resultado da conversão direta de energia solar é uma das várias formas de energia alternativa de que se dispõe. O aquecimento solar é obtido por uma placa escura coberta por vidro, pela qual passa um tubo contendo água. A água circula conforme mostra o esquema abaixo



Fonte: Adaptado de PALZ, Wolfgang. *Energia solar e fontes alternativas*. Hemus, 1981.

São feitas as seguintes afirmações quanto aos materiais utilizados no aquecedor solar:

I. O reservatório de água quente deve ser metálico para conduzir melhor calor

II. A cobertura de vidro tem como função reter melhor o calor, de forma semelhante ao que ocorre em uma estufa.

III. A placa utilizada é escura para absorver melhor a energia radiante do sol, aquecendo a água com mais eficiência.

Dentre as afirmações, está (ão) correta(s):

(a) I

(b) I e II

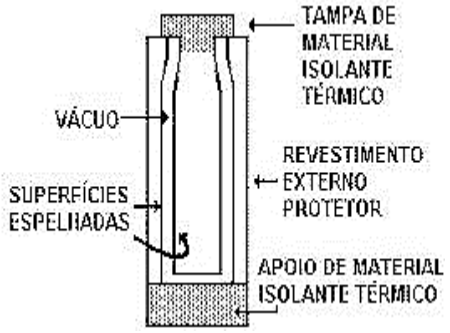
(c) II

(d) I III

(e) II e III

5ª Questão:

A figura a seguir é um corte transversal de uma garrafa térmica. Ela é constituída por duas paredes. A parede interna é espelhada em suas duas faces e entre ela e a parede externa existe uma região com vácuo.



Como se explica o fato de um líquido, no interior da garrafa, manter sua temperatura quase que inalterada durante um longo período?

(a) A temperatura só permanecerá inalterada se o líquido estiver com uma baixa temperatura;

(b) As faces espelhadas da parede interna impedem totalmente a propagação do calor por condução;

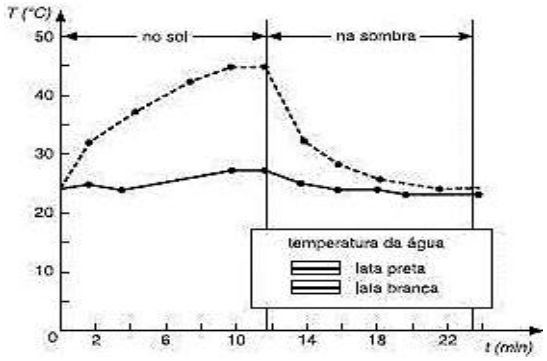
(c) Como a parede interna é duplamente espelhada, ela reflete o calor que chega por irradiação, e a região de vácuo evita a propagação do calor através da condução;

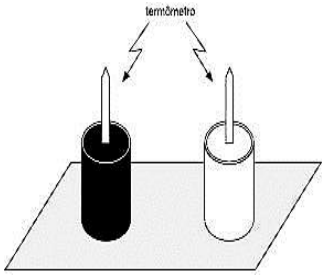
(d) Devido à existência de vácuo entre as paredes, o líquido não perde calor para o ambiente através de radiação eletromagnética;

(e) Qualquer material plástico é um isolante térmico perfeito, impedindo, portanto, toda e qualquer propagação de calor através dele.

6ª Questão:

(UnB-DF) No experimento ilustrado na figura ao lado, uma equipe de alunos usou duas latas fechadas, cada uma com 1 kg de água armazenado em seu interior e munida de termômetro que permitia medir a temperatura da água. Uma das latas foi pintada externamente com tinta de cor preta e a outra, de cor branca. Primeiramente, as duas latas foram expostas ao Sol, em um dia sem nebulosidade, e, em seguida, recolhidas à sombra de uma árvore. As variações da temperatura da água em função do tempo encontram-se registradas no gráfico abaixo.





Com o auxílio das informações apresentadas e considerando o calor específico da água igual a 1 kcal/(kgºC), assinale a alternativa correta.

(a) Estando sob a sombra de uma árvore, as latas, independentemente de sua cor, absorverão as mesmas quantidades de energia luminosa.

(b) A máxima diferença de temperatura entre a água no interior da lata preta e a água no interior da lata branca foi maior que 20ºC.

(c) O valor da máxima energia térmica absorvida pela água no interior da lata preta durante a experimentação é maior que 19 kcal.

(d) Se uma terceira lata fosse acrescentada à experiência nas mesmas condições, exceto por ter sido polida externamente até que se tivesse uma superfície prateada espelhada, a curva de variação da temperatura da água no seu interior em função do tempo teria seus pontos entre as duas curvas apresentadas no gráfico acima

ANEXO A -Textos para Conhecimento Introdutório, etapa 5 da UEPS

Os textos a seguir foram selecionados para subsidiar o professor na produção de uma aula para introduzir o assunto principal, etapa 5 da UEPS. O objetivo é apresentar uma breve discussão sobre a evolução histórica do calor, passando pelo modelo cinético-molecular da matéria até chegar aos mecanismos de transmissão do calor, o assunto principal.

1. Texto de Máximo (2010)

12.1. O calor como energia

A TEORIA DO CALÓRICO

Quando analisamos o conceito de equilíbrio térmico, vimos que, se dois corpos a temperaturas diferentes são colocados em contato, eles atingem, após um certo tempo, uma mesma temperatura. Até o início do século passado, os cientistas explicavam este fato supondo que todos os corpos continham, em seu interior, uma substância fluida, invisível, de peso desprezível, que era denominada *calórico*. Quanto maior fosse a temperatura de um corpo, maior seria a quantidade de calórico em seu interior. De acordo com este modelo, quando dois corpos, a temperaturas diferentes, eram colocados em contato, haveria passagem de calórico do corpo mais quente para o mais frio, acarretando uma diminuição na temperatura do primeiro e um aumento na temperatura do segundo corpo. Quando os corpos atingiam a mesma temperatura, o fluxo de calórico era interrompido e eles permaneciam, a partir daquele instante, em equilíbrio térmico.

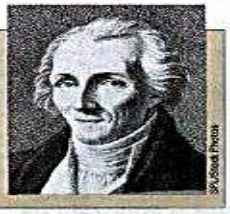
Apesar de esta teoria ser capaz de explicar satisfatoriamente um grande número de fenômenos, alguns físicos mostravam-se insatisfeitos em relação a certos aspectos fundamentais da idéia do calórico e tentaram substituí-la por outra, mais adequada, na qual o calor é considerado como uma forma de energia.

CALOR É ENERGIA

A idéia de que o calor é energia foi introduzida por Rumford, um engenheiro militar que, em 1798, trabalhava na perfuração de canos de canhão. Observando o aquecimento das peças ao serem perfuradas, Rumford teve a idéia de atribuir este aquecimento ao *trabalho* que era realizado contra o atrito, na perfuração. Em outras palavras, a *energia* empregada na realização daquele trabalho era transferida para as peças, provocando uma elevação em suas temperaturas. Portanto, a antiga idéia de que um corpo mais aquecido possui maior quantidade de *calórico* começava a ser substituída pela idéia de que este corpo possui, realmente, maior quantidade de *energia* em seu interior.

Conde Rumford (1753-1814)

Engenheiro americano que, sendo leal à coroa britânica durante a Revolução da Independência Americana, viu-se obrigado a se exilar na Inglaterra, onde trabalhou como alto funcionário do governo. Após ser sagrado cavalheiro pelo Rei George III, recebeu permissão para trabalhar em uma fábrica de armas em Munique. Nessa ocasião, ele iniciou estudos que o levaram a questionar a teoria do calórico, lançando as bases da moderna teoria do calor como uma forma de energia.



A divulgação destas idéias provocou muitas discussões entre os cientistas do século passado. Alguns deles realizaram experiências que vieram confirmar as suposições de Rumford. Entre estes cientistas, devemos destacar James P. Joule (1818-1889), cujas célebres experiências acabaram por estabelecer, definitivamente, que o calor é uma forma de energia.

Modernamente, considera-se que, quando a temperatura de um corpo é aumentada, a energia que ele possui em seu interior, denominada *energia interna*, também aumenta. Se este corpo é colocado em contato com outro, de temperatura mais baixa, haverá transferência de energia do primeiro para o segundo, energia esta que é denominada calor. Portanto, o conceito moderno de calor é o seguinte:

calor é a energia transferida de um corpo para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles.

COMENTÁRIOS

1) Deve-se observar que o termo *calor* só deve ser usado para designar a energia em *trânsito*, isto é, enquanto ela está sendo transferida de um corpo para outro, em virtude de uma diferença de temperatura. A transferência de calor para um corpo acarreta um aumento na energia de agitação de seus átomos e moléculas, ou seja, acarreta um aumento da *energia interna* do corpo o que, em geral, provoca uma elevação em sua temperatura. Não se pode, portanto, dizer que "um corpo possui calor" ou que "a temperatura é uma medida do calor no corpo". Na realidade, o que um corpo possui é *energia interna* e quanto maior for a sua temperatura, maior será esta energia interna. Naturalmente, se um corpo está a uma temperatura mais elevada do que outro, ele pode transferir parte de sua energia interna para este outro. Esta energia transferida é o calor que está passando de um corpo para o outro (fig. 12-1).

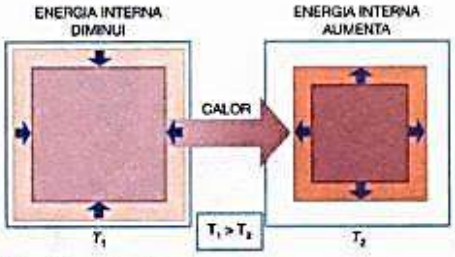


Fig. 12-1: *Calor é a energia que se transfere de um corpo para outro em virtude de uma diferença de temperatura entre eles.*

2) É importante observar, ainda, que a energia interna de um corpo pode aumentar sem que o corpo receba calor, desde que receba alguma outra forma de energia.

Quando, por exemplo, agitamos uma garrafa contendo água, sua temperatura se eleva, apesar de a água não ter recebido calor. O aumento de energia interna, neste caso, ocorreu em virtude da transferência da energia mecânica à água, ao realizarmos o trabalho de agitar a garrafa.

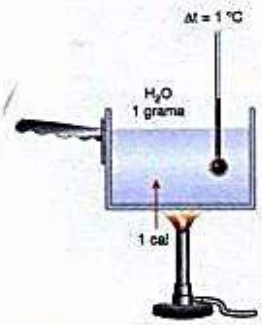


Fig. 12-2: *1 caloria é a quantidade de calor necessária para elevar de 1°C a temperatura de 1 g de água. Ilustração esquemática.*

UNIDADES DE CALOR

Uma vez estabelecido que o calor é uma forma de energia, é evidente que uma certa quantidade de calor deve ser medida em unidades de energia. Então, no S.I., mediremos o calor em *joules*.

Entretanto, na prática, é até hoje usada uma outra unidade de calor, muito antiga (da época do calórico), denominada 1 caloria = 1 cal. Por definição, 1 cal é a quantidade de calor que deve ser transferida a 1 g de água para que sua temperatura se eleve de 1°C (fig. 12-2).

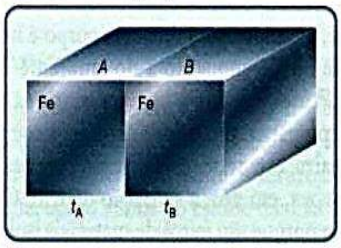
Em suas experiências já mencionadas, Joule estabeleceu a relação entre estas duas unidades, encontrando

$$1\ cal = 4{,}18\ J$$

exercícios de fixação

Antes de passar ao estudo da próxima secção, responda às questões seguintes, consultando o texto sempre que julgar necessário.

1. Dois blocos idênticos, *A* e *B*, ambos de ferro, são colocados em contato e isolados de influências externas, como mostra a figura deste exercício. As temperaturas iniciais dos blocos são $t_A = 200°C$ e $t_B = 50°C$.
   a) Depois de um certo tempo, o que ocorreu com a temperatura t_A? E com t_B?
   b) De acordo com os cientistas anteriores a Rumford e Joule, qual era a causa das variações das temperaturas t_A e t_B?



Exercício 1.

2. Considere, ainda, os blocos do exercício anterior. De acordo com o ponto de vista dos cientistas atuais:
   a) Depois de um certo tempo, o que ocorreu com a energia interna de *A*? E com a de *B*?
   b) Houve transferência de energia de um bloco para outro? Em que sentido?
   c) Como se denomina esta energia transferida?

3. Uma pessoa, usando um martelo, golpeia repetidas vezes um bloco de Pb. Verifica-se que a temperatura do bloco se eleva apreciavelmente. Lembrando-se do 2º comentário feito nesta secção, responda:
   a) A energia interna do bloco de Pb aumentou?
   b) Houve alguma transferência de calor para o Pb?
   c) Então, qual foi a causa do aumento da energia interna do bloco de Pb?

4. a) No exercício 1, suponha que 100 cal de calor foram transferidas de *A* para *B*. Qual é, em joules, o valor desta quantidade de calor?
   b) Suponha que o trabalho total realizado pelo martelo sobre o bloco de Pb, no exercício anterior, tenha sido de 836 J. Qual a quantidade de calor, em calorias, que deveria ser fornecida ao Pb para provocar nele a mesma elevação de temperatura?

2. Texto de GREF (1998)

09

Transportando o calor.

Utensílios.

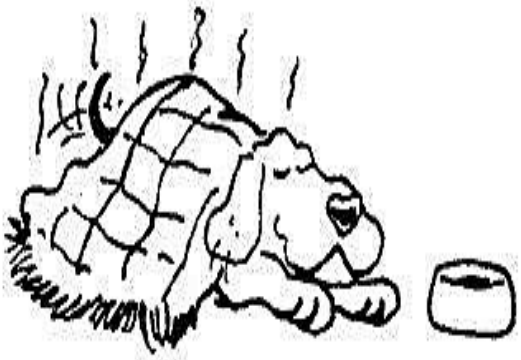
Materiais de Construções.

Roupas.

Isolantes ou Condutores?

Por quê os cabos de panelas normalmente não são feitos de metal?

Por quê sentimos um piso de ladrilho mais frio do que um de madeira, apesar de ambos estarem à temperatura ambiente?



Um cobertor de lã é "quente" ? Ele produz calor ?

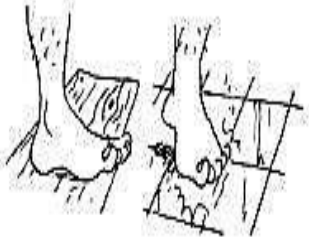
09 Transportando o calor: de isolantes a condutores.

Tabela 9.1

Substância	Coeficiente de condutividade térm. (cal/s.cm.°C)(20°C))
água	1,15x10⁻³
ar	0,006x10⁻³
aço	11,06x10⁻³
alumínio	49,04x10⁻³
amianto	0,02x10⁻³
cerâmica	0,11x10⁻³
chumbo	0,30x10⁻³
cobre	92,08x10⁻³
concreto	0,2x10⁻³
cortiça	0,04x10⁻³
ferro	16,03x10⁻³
lã de vidro	0,0075x10⁻³
gelo (a 0°C)	0,22x10⁻³
isopor	26,08x10⁻³
madeira	0,02x10⁻³
mercúrio	1,97x10⁻³
óleo	0,3x10⁻³
vidro	0,25x10⁻³
poliestireno	0,0075x10⁻³

Os cabos de panelas são de madeira ou de material plástico (baquelite) porque quando a panela está quente, eles sempre se encontram à uma temperatura bem menor, o que nos permite retirar a panela do fogo segurando-a pelo cabo.

Ao tocarmos um piso de madeira, temos a sensação de que este é mais quente que o piso de ladrilho. O pé e o ladrilho trocam calor muito mais rapidamente do que o pé e a madeira. A madeira é um mau condutor de calor. Os maus condutores de calor são chamados de **isolantes térmicos**.



Encontrar o material adequado para um uso específico, pode ser uma tarefa simples como escolher um piso frio para uma casa de praia, ou tão complexa como definir a matéria prima das peças de motores de carros.

É importante na escolha de materiais levarmos em conta o seu comportamento em relação a condução térmica. Para compararmos esses materiais segundo essa característica, definimos uma propriedade: o coeficiente de condutividade que indica quantas calorias de energia térmica são transferidas por segundo, através de 1 cm do material, quando a diferença de temperatura entre as extremidades é de 1°C.

A tabela 9.1 nos permite comparar a condutividade de alguns materiais sólidos. Traz também o coeficiente de um líquido (a água) e de um gás (o ar) com os quais trocamos calor constantemente.

Sendo o coeficiente de condutividade do ar muito baixo, como mostra a tabela, podemos afirmar que o calor quase não se propaga através do ar por condução. Quando sentimos calor ao colocarmos a mão abaixo de uma panela quente, a propagação não poderia ter ocorrido por convecção pois o ar quente sobe, nem por condução pois ela é muito pequena, tendo sido portanto irradiado.

A tabela 9.1 nos mostra também que os metais e as ligas metálicas são bons condutores de calor.

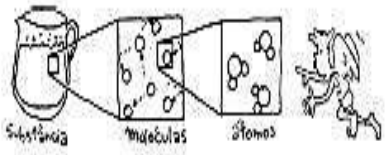
Ser um bom condutor de calor, entre outras propriedades faz com que o aço, o ferro e o alumínio sejam a matéria prima das peças de motores de carros. Nesses motores a combustão, o calor interno devido a explosão do combustível é muito intensa e deve ser rapidamente transferido para o meio ambiente, evitando que as peças se dilatem e até mesmo se fundam.

MAS, AFINAL COMO É QUE ACONTECE A CONDUÇÃO DE CALOR NOS DIVERSOS MATERIAIS? EXISTE UMA DIFERENÇA ENTRE A CONSTITUIÇÃO DO ALUMÍNIO À TEMPERATURA AMBIENTE OU DO ALUMÍNIO AQUECIDO?

Não podemos ver como as substâncias são constituídas, nem mesmo com microscópios potentes, mas podemos imaginar como elas são fazendo um "modelo" baseado em resultados experimentais.

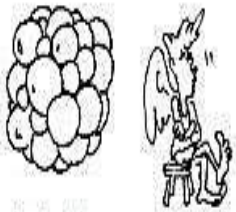
Como são constituídos os materiais?

Um modelo proposto pela comunidade científica, é o que supõe que todas as substâncias são formadas por pequenas porções iguais chamadas moléculas. As moléculas diferem umas das outras pois podem ser constituídas por um ou mais átomos iguais ou diferentes entre si.

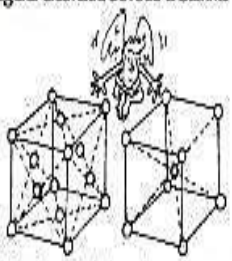


Fontes e trocas de calor.

Cada substância é formada por um tipo de molécula diferente que a caracteriza. No caso do alumínio que está no estado sólido, os átomos estão próximos uns dos outros e interagem entre si. Esses átomos não mudam de posição facilmente e por isso os sólidos mantêm a forma e o volume.

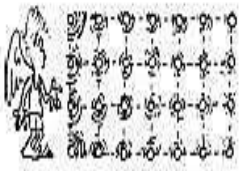


Os átomos do alumínio como as moléculas dos outros sólidos nesse modelo estão organizados formando uma estrutura regular chamada de rede cristalina.



Neste modelo de matéria imaginamos que as moléculas não ficam paradas e sim que elas oscilam. Essa oscilação é mais ou menos intensa dependendo da temperatura do material.

Os átomos do alumínio de uma panela aquecida vibram mais do que se estivessem à temperatura ambiente. Os átomos que estão em contato com a chama do fogão adquirem energia cinética extra e vibrando mais intensamente, interagem com os átomos vizinhos que, sucessivamente interagem com outros, propagando o calor por toda extensão da panela. É dessa forma que o nosso modelo explica a propagação do calor por condução.



Em materiais onde as moléculas interagem menos umas com as outras a condução do calor é menos eficiente. É o caso do amianto, da fibra de vidro, da madeira. Veja que isso está de acordo com os valores dos coeficientes de condutividade da tabela 9.1.

Assim como os sólidos, os líquidos e os gases também são formados por moléculas; porém, essas moléculas não formam redes cristalinas. Isto faz com que a propagação do calor nos líquidos e nos gases quase não ocorra por condução.

Num líquido, as moléculas se movimentam mais livremente, restritas a um volume definido e a sua forma varia com a do recipiente que o contém. Nesse caso, o calor se propaga, predominantemente, através do movimento de moléculas que sobem quando aquecidas e descem quando resfriadas, no processo de convecção.

Nos gases, as moléculas se movimentam ainda mais livremente que nos líquidos, ocupando todo o espaço disponível; não tem forma nem volume definidos. A convecção também é o processo pelo qual o calor se propaga, predominantemente, nos gases.

Escolhendo os materiais.

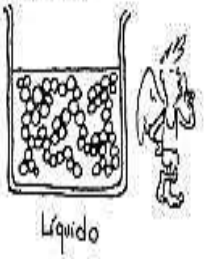
Dependendo das condições climáticas de um lugar, somos levados a escolher um tipo de roupa, de moradia e até da alimentação.

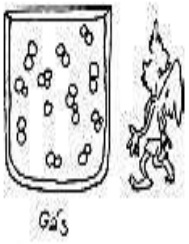
Roupa "quente" ou "fria"? Mas, é a roupa que é quente? Uma roupa pode ser fria?

O frio que sentimos no inverno é devido às perdas de calor do nosso corpo para o meio ambiente que está a uma temperatura inferior.

A roupa de lã não produz calor, mas isola termicamente o nosso corpo, pois mantém entre suas fibras uma camada de ar. A lã que tem baixo coeficiente de condutividade térmica diminui o processo de troca de calor entre nós e o ambiente. Esse processo deve ser facilitado no verão como o uso de roupas leves em ambiente refrigerados.

Nos sólidos a irradiação do calor ocorre simultaneamente à condução.





Nos líquidos e nos gases a condução e irradiação de calor também ocorrem simultaneamente à convecção.

Em lugares onde o inverno é rigoroso, as paredes são recheadas de material isolante e os encanamentos de água são revestidos de amianto para evitar perdas de calor por condução e convecção.

ANEXO B - Textos Para Diferenciação Progressiva do Assunto Principal

Os textos a seguir servirão de apoio ao professor para trabalhar a diferenciação progressiva do assunto principal, etapa 6 da UEPS.

1 - Textos de Hewitt (2015)

Texto sobre Condução

16.1 Condução

Imagine que você esteja tostando *marshmallow* na ponta de um garfo, sobre uma fogueira de acampamento. Enquanto espera para a superfície tostar e adquirir uma cor marrom, o garfo vai se tornando quente demais para segurar. O calor entra no garfo pelas pontas mantidas nas chamas, e se transmite ao longo do garfo todo até chegar à sua mão. Esse modo de transmissão de calor é chamado de **condução**. O fogo faz os átomos da extremidade aquecida moverem-se cada vez mais rapidamente. Por consequência, esses átomos e elétrons livres colidem com seus vizinhos e assim por diante. O que é mais importante, os elétrons livres, capazes de se mover dentro do metal, são chacoalhados e transferem energia para o material por meio de colisões com os átomos e outros elétrons livres do mesmo.

Quão bem um garfo metálico ou qualquer objeto sólido conduz bem o calor depende das ligações em sua estrutura atômica ou molecular. Os sólidos formados por átomos com um ou mais de seus elétrons mais externos "fracamente" ligados, são bons condutores de calor (e de eletricidade). Os metais possuem os elétrons externos mais "fracamente" ligados, que são livres para transportar energia por meio de colisões através do metal. Por essa razão, eles são excelentes condutores de calor e de eletricidade. A prata é o melhor condutor de todos, seguido do cobre e, entre os metais comuns, o alumínio e depois o ferro são os próximos em ordem. Lã, madeira, canudo, papel, cortiça e isopor, por outro lado, são condutores de calor pobres. Os elétrons mais externos dos átomos desses materiais estão firmemente ligados. Os maus condutores são denominados *isolantes*. Lã, madeira, palha, papel, cortiça e isopor são bons isolantes térmicos. Diferentemente dos elétrons dos metais, os elétrons mais externos dos átomos desses isolantes se encontram firmemente presos.

Como a madeira é um bom isolante térmico (um mau condutor de calor), ela é usada para revestir os cabos de utensílios de cozinha. Mesmo quando está quente, você pode agarrar o cabo revestido de madeira de uma panela com as mãos descobertas e rapidamente retirá-la do forno aceso sem queimar-se. Se o cabo fosse de ferro, à mesma temperatura, certamente você queimaria sua mão. A madeira é um bom isolante, mesmo quando ela está vermelha de quente, e é por essa razão que o professor John Suchocki pode caminhar descalço sobre pedaços de carvão de madeira em brasa sem queimar seus pés. (CUIDADO: não tente isso por sua própria conta. Mesmo experientes caminhantes sobre brasas às vezes sofrem sérias queimaduras quando as condições não são exatamente as corretas – a existência de pedacinhos de carvão que aderem aos pés, por exemplo.) O principal fator em caminhadas sobre brasas é a baixa condutividade da

psc

- A transferência espontânea de calor sempre ocorre de um objeto mais quente para outro mais frio, e se processa de três maneiras básicas: por *condução*, por *convecção* e por *radiação*.

FIGURA 16.1
Quando se toca em um prego cravado no gelo, o frio flui do prego para o dedo ou a energia flui do dedo para o prego?

VIDEO: The Secret to Walking on Hot Coals

VIDEO: Air is a Poor Conductor

A sensação de quente ou de frio, em diferentes materiais, envolve as taxas segundo as quais o calor é transferido, e não necessariamente suas temperaturas.

FIGURA 16.2
O piso de azulejo parece mais frio do que o de madeira, embora ambos os materiais estejam na mesma temperatura. A causa é que o azulejo é melhor condutor de calor do que a madeira e, dessa maneira, o calor é mais facilmente transmitido do pé para o azulejo.

SCREENCAST: Heat Transfer

FIGURA 16.3
Os padrões formados na neve sobre o telhado de uma casa revelam as áreas de condução e isolamento térmicos. As partes descobertas mostram por onde o calor passou pelo telhado, de dentro para fora, derretendo a neve.

Fornos de convecção são simplesmente aqueles fornos dotados de um ventilador interno, o que acelera o cozimento por meio da circulação do ar quente.

madeira – mesmo aquela que está vermelha de quente. Embora sua temperatura seja alta, relativamente pouco calor é transferido para os pés, da mesma forma que pouco calor é transferido pelo ar quando você põe rapidamente sua mão dentro de um forno de assar pizza que está quente. Se você tocar em metal que esteja no forno quente, UHHH! De forma análoga, um andarilho sobre brasas que andasse sobre um pedaço quente de metal, ou outro bom condutor de calor, seria queimado. A evaporação da pequena quantidade de água sobre os pés úmidos pode também desempenhar um papel importante na caminhada sobre brasas, como veremos no próximo capítulo.

A maior parte dos líquidos e dos gases são maus condutores de calor. O ar é um péssimo condutor, motivo pelo qual, como mencionado antes, você pode pôr sua mão brevemente em um forno de pizza quente sem queimá-la. As boas propriedades isolantes de materiais como lã, peles e penas devem-se principalmente aos espaços com ar que elas contêm. Outras substâncias porosas, como a fibra de vidro, são também bons isolantes por causa de seus pequenos espaços cheios de ar. Agradeça ao fato de o ar ser um condutor tão pobre; se ele não fosse, você se sentiria completamente friorento num dia a 20°C!

A neve é um mau condutor (um bom isolante) – aproximadamente igual à madeira seca. Daí que um "cobertor" de neve pode literalmente manter morno o chão durante o inverno. Os flocos de neve são formados por cristais, que se acumulam formando massas fofas, que aprisionam ar e, portanto, interferem na transmissão de calor da superfície da Terra. As casas tradicionais de inverno no Ártico estão protegidas do frio por suas coberturas de neve. O animais da floresta encontram abrigo do frio em bancos de neve e em buracos na neve. A neve, por si mesma, não provê aquecimento; ela simplesmente diminui a perda de calor gerado pelo animal.

O calor se transmite de uma temperatura mais alta para uma mais baixa. Frequentemente, ouvimos pessoas dizerem que desejam manter o frio fora de suas casas. Uma maneira mais correta de expressar isso é dizer que elas querem impedir o calor de escapar. Não existe um "frio" que penetre em uma casa aquecida (a menos que um vento frio sopre nela). Se a casa torna-se mais fria, é porque o calor fluiu para fora dela. As casas são isoladas por lã mineral para impedir que o calor saia, e não para impedir que o frio entre. Curiosamente, o isolamento térmico, seja ele de que tipo for, de fato não impede o calor de atravessá-lo; ele simplesmente diminui a taxa com a qual o calor é transmitido. No inverno, mesmo bem isolada, uma sala aquecida gradualmente esfriará. O isolamento térmico apenas torna mais lenta a transferência do calor.

PAUSA PARA TESTE

1. Em regiões desérticas, quentes durante o dia e frias durante a noite, as paredes das casas frequentemente são feitas de argila. Por que é importante que as paredes de argila sejam grossas?
2. Por que se pode colocar a mão brevemente em um forno sem se queimar, mas se queimará se tocar no metal do interior do forno?

VERIFIQUE SUA RESPOSTA

1. Uma parede com a espessura apropriada mantém a casa aquecida durante a noite por meio da diminuição do fluxo de calor de dentro para fora, enquanto durante o dia ela mantém frio o interior da casa com a diminuição do fluxo de calor de fora para dentro. Dizemos que esse tipo de parede possui "inércia térmica".
2. Quando a mão encontra-se no ar dentro do forno quente, a pessoa não se queima, principalmente porque o ar é um mau condutor de calor – o calor não se desloca com facilidade entre o ar quente e sua mão. Se tocar nas paredes metálicas interiores do forno, a história será bem diferente, pois o metal é um excelente condutor e haverá um considerável fluxo de calor para a mão.

16.2 Convecção

Os líquidos e os gases transmitem calor principalmente por **convecção**, que é a transferência de calor devido ao próprio movimento do fluido. Diferentemente da

Texto sobre Convecção

condução (em que o calor é transmitido por meio de sucessivas colisões de átomos e de elétrons), a convecção envolve o movimento de "bolhas" de matéria – fruto do movimento médio das moléculas de um fluido.

A convecção pode ocorrer em todos os fluidos, sejam líquidos ou gases. Se aquecemos água em uma panela ou aquecemos o ar de uma sala, o processo é o mesmo (Figura 16.4). Quando o fluido é aquecido por baixo, as moléculas do líquido que estão no fundo passam a mover-se mais rapidamente, afastando-se, em média, mais umas das outras, tornando menos denso o material, de maneira que surge uma força de empuxo que empurra o fluido para cima. O fluido mais frio e mais denso, então, move-se de modo a ocupar o lugar do fluido mais quente do fundo. Dessa maneira, as correntes de convecção mantêm o fluido em circulação enquanto ele esquenta – o fluido mais aquecido afastando-se da fonte de calor e o fluido mais frio movendo-se em direção à fonte de calor.

As correntes de convecção ocorrem também na atmosfera, afetando com isso o clima. Quando o ar é aquecido, ele se expande. Desse modo, ele se torna menos denso que o ar circundante. Como um balão, ele sofre ação de um empuxo ascendente. Quando o ar que se elevou alcança uma altitude na qual sua densidade se iguala à do ar circundante, ele para de subir. Isso é evidente quando vemos a fumaça do fogo elevar-se e depois se acomodar quando resfria e sua densidade se iguala à do ar circundante mais no alto. O ar aquecido se expande ao elevar-se, porque ao atingir altitudes maiores, uma pressão atmosférica menor o estará comprimindo. Quando o ar se expande, se resfria. (Faça o seguinte experimento agora mesmo: com sua boca aberta, sopre sobre sua mão. Sua respiração é morna. Agora repita isso, mas desta vez contraia seus lábios para que formem uma passagem estreita, de modo que o ar de sua respiração se expanda ao deixar sua boca. Observe que esse ar está bem mais frio! Expandindo-se, o ar esfria. Isso é o oposto do que ocorre quando o ar é comprimido. Se você já comprimiu ar com uma bomba de encher pneus, provavelmente notou que tanto o ar como a bomba tornam-se completamente quentes.)

Podemos compreender o resfriamento do ar que sofre uma expansão concebendo as moléculas de ar como sendo minúsculas bolas de pingue-pongue ricocheteando umas nas outras. Uma bola aumenta sua rapidez ao ser atingida por outra que se aproxima dela com uma rapidez maior. Mas quando uma delas colide com outra que está se afastando, sua rapidez após o ricocheteio é reduzida. Analogamente com uma bola de pingue-pongue que se movimenta em direção à raquete: ela se torna mais rápida depois de colidir com uma raquete que se aproxima, mas perde rapidez ao colidir com uma raquete que se afasta. A mesma ideia se aplica a uma região em que o ar está se expandindo: suas moléculas colidem, em média, mais com moléculas que estão se afastando, do que com moléculas que estão se aproximando (Figura 16.6). Assim, no ar em expansão, a rapidez média das moléculas diminui e o ar esfria.[1]

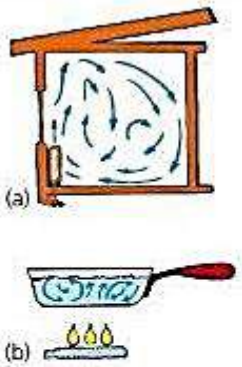


FIGURA 16.4
(a) Correntes de convecção no ar. (b) Correntes de convecção em um líquido.

FIGURA 16.5
Sopre ar morno sobre sua mão com a boca aberta. Depois reduza a abertura de seus lábios de modo que o ar se expanda depois de soprado. Você nota a diferença na temperatura do ar?

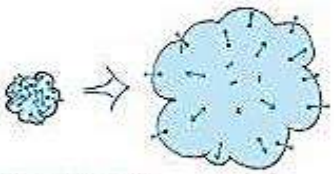


FIGURA 16.6
As moléculas de uma região de ar em expansão colidem mais frequentemente com moléculas que estão se afastando do que com moléculas que estão se aproximando. Seus valores de rapidez, portanto, tendem a diminuir e, como resultado, o ar em expansão esfria.

[1] Neste caso, para onde vai a energia? Veremos, no Capítulo 18, que ela é convertida em trabalho realizado sobre o ar circundante, quando o ar em expansão o empurra para fora.

FIGURA 16.7
O vapor quente expande-se a partir da panela de pressão e esfria ao toque de Millie.

Um exemplo drástico de resfriamento por expansão ocorre com o vapor que se expande ao sair da válvula de uma panela de pressão (Figura 16.7). O efeito do resfriamento devido tanto à expansão como à rápida mistura com o ar mais frio permite que você mantenha sua mão confortavelmente dentro do jato de vapor condensado. (*Cuidado*: se você resolver comprovar esse fenômeno, comece mantendo sua mão a uma distância completamente segura da válvula, e depois vá baixando-a até uma altura na qual ainda seja confortável. Se você puser sua mão logo acima da válvula, onde não se vê vapor algum, cuidado! O vapor é invisível próximo à válvula, antes que se expanda e resfrie bastante. A nuvem de "vapor" que você enxerga é, de fato, vapor condensado – que é muito mais frio.)

As correntes de convecção circulando na atmosfera resultam em ventos. Algumas partes da superfície da Terra absorvem calor do Sol mais facilmente do que outras, e como resultado, o ar próximo à superfície é aquecido de forma desigual e, então, surgem correntes de convecção. Isso é evidente na costa marítima. Durante o dia, o solo costeiro esquenta mais facilmente do que a água; o ar logo acima do solo é empurrado para cima (dizemos que ele se eleva), pelo ar mais frio que vem das camadas mais próximas à água para tomar seu lugar. O resultado é uma brisa marítima. Durante a noite, o processo se inverte, porque o solo esfria mais rapidamente do que a água e, então, o ar mais aquecido se encontra acima do mar (Figura 16.8). Se você fizer uma fogueira na praia, notará que a fumaça é desviada para a terra durante o dia, e para o mar durante a noite.

A convecção ocorre sempre que fluidos estão submetidos a temperaturas diferentes. Ela é a responsável pelas nuvens do céu e contribui para as correntes oceânicas de águas profundas. No próprio interior da Terra, a convecção do material semiderretido é provavelmente a causa da deriva das placas tectônicas, o que produz terremotos e erupções vulcânicas. A convecção desempenha um papel importante também no interior do Sol. Ela é o processo central responsável por muito do que acontece ao nosso redor.

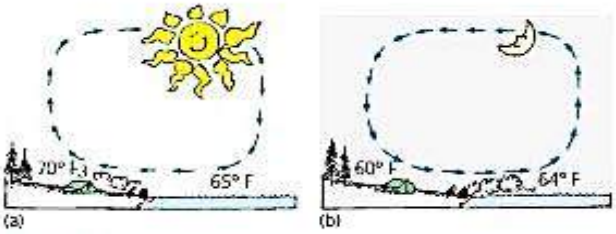


FIGURA 16.8
As correntes de convecção geradas pelo aquecimento desigual da terra e da água. (a) Durante o dia, o ar aquecido próximo ao solo se eleva, e o ar mais frio logo acima da água se move, a fim de substituí-lo. (b) Durante a noite, o sentido do fluxo do ar se inverte, porque nesse período a água está mais quente do que a terra.

FIGURA 16.9
Um aquecedor, localizado na ponta de um tubo em "J" submerso em água, gera correntes de convecção, reveladas pelas sombras (causadas pelas reflexões sofridas pela luz na água a diferentes temperaturas)

PAUSA PARA TESTE

Você consegue manter seus dedos ao lado da chama de uma vela sem se queimar, mas não pode mantê-los acima da chama. Por quê?

VERIFIQUE SUA RESPOSTA

O calor é transportado para cima pela convecção do ar. Como o ar é um mau condutor de calor, muito pouco calor se transmite para os lados.

Texto sobre Radiação Térmica

PRATICANDO FÍSICA

Segure um tubo de ensaio cheio de água fria pela parte do fundo. Aqueça a parte superior do tubo em uma chama até que a água comece a ferver. O fato de que você ainda pode segurar o fundo do tubo mostra que o vidro e a água são maus condutores de calor, e que a convecção não move a água quente para baixo. Isso é ainda mais impressionante se você calçar cubos de gelo no fundo do tubo usando um chumaço de palha de aço por cima do gelo; a água na parte superior, então, pode ser levada à fervura sem que o gelo derreta. Experimente e comprove.

16.3 Radiação

A energia vinda do Sol atravessa o espaço, depois a atmosfera terrestre para, então, aquecer a superfície da Terra. Essa energia não passa através da atmosfera por condução, pois o ar é um mau condutor. Também não passa por convecção, pois esta só tem início quando a Terra já está aquecida. Também sabemos que no espaço vazio entre nossa atmosfera e o Sol não é possível haver transmissão da energia solar por convecção ou condução. Assim, vemos que a energia deve ser transmitida de outra maneira – por **radiação**.[2] A energia transmitida dessa maneira é denominada *energia radiante*.

SCREENCAST: Radiant Energy

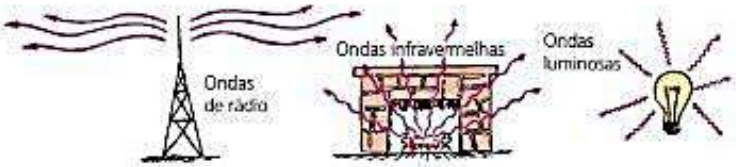


FIGURA 16.10
Tipos de energia radiante (ondas eletromagnéticas).

A energia radiante está na forma de *ondas eletromagnéticas*. Isso inclui as ondas de rádio, as micro-ondas, a radiação infravermelha a luz visível, a radiação ultravioleta, os raios X e os raios gama. Essas formas de energia radiante estão listadas por ordem de comprimento de onda, do mais longo para o mais curto. A radiação infravermelha (abaixo do vermelho) tem um comprimento de onda mais longo do que o da luz visível. Os mais longos comprimentos de onda visíveis são os da luz vermelha e os mais curtos são os da luz violeta. A radiação ultravioleta (além do violeta) tem comprimentos de onda mais curtos ainda. (O comprimento de onda é tratado mais detalhadamente no Capítulo 19, e ondas eletromagnéticas, nos Capítulos 25 e 26.)

O comprimento de onda da radiação está relacionado com a sua *frequência*. A frequência é a taxa de vibração de uma onda. A garota da Figura 16.11 sacode uma corda numa frequência baixa (esquerda) e numa frequência alta (direita). Note que a sacudida em baixa frequência produz uma longa onda "preguiçosa", enquanto em alta frequência produz ondas mais curtas. Analogamente, o mesmo acontece com as ondas eletromagnéticas. Veremos no Capítulo 26 que elétrons em vibração emitem ondas eletromagnéticas. Vibrações com alta frequência produzem ondas curtas, enquanto vibrações com baixa frequência produzem ondas longas.

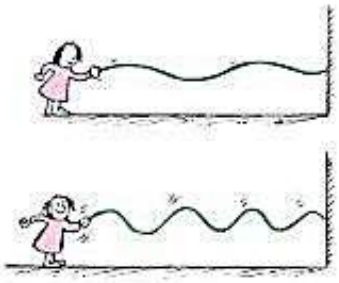


FIGURA 16.11
Uma onda com comprimento de onda longo é produzida quando a corda é sacudida suavemente (em uma frequência baixa). Quando ela é sacudida mais vigorosamente (com alta frequência), uma onda com comprimento de onda mais curto é produzida.

[2] A radiação sobre a qual estamos falando aqui é a radiação eletromagnética, incluindo a luz visível. Não confunda isso com a radioatividade, um processo nuclear que discutiremos na Parte 7.

A radiação que a Terra emite chama-se *radiação terrestre*. A que é emitida pelo Sol chama-se *radiação solar*. Mas ambas constituem regiões do espectro eletromagnético. (O que faz você chamar a radiação proveniente de algo com um nome especial?)

Emissão de energia radiante

Todas as substâncias a qualquer temperatura acima do zero absoluto emitem energia radiante. A frequência de pico $\overline{f}$ da energia radiante é diretamente proporcional à temperatura absoluta T do emissor (Figura 16.12)

$$\overline{f} \sim T$$

Se um objeto estiver suficientemente quente, uma pequena parte da energia radiante que ele emite estará na faixa da luz visível. A uma temperatura de aproximadamente 500°C, um objeto começa a emitir os comprimentos de onda visíveis mais longos, os da luz vermelha. Temperaturas mais altas produzem uma luz amarelada. A cerca de 5.000°C, todas as diferentes ondas às quais nossos olhos são sensíveis são emitidas, e vemos o objeto como estando "branco de tão quente". Uma estrela azul é mais quente do que uma estrela branca, e uma estrela vermelha é menos quente do que esta. Se uma estrela azul emitir uma frequência luminosa duas vezes maior do que a de uma estrela vermelha, sua temperatura superficial será o dobro da estrela vermelha menos quente.[3]

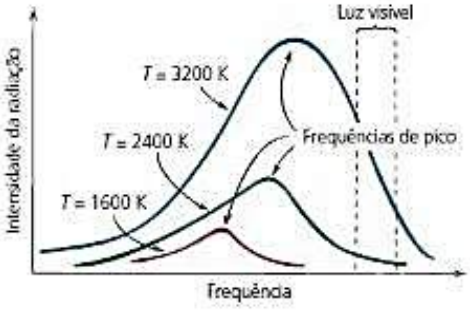


FIGURA 16.12
A curva de radiação para diferentes temperaturas. A frequência do pico da energia radiante é diretamente proporcional à temperatura absoluta do emissor.

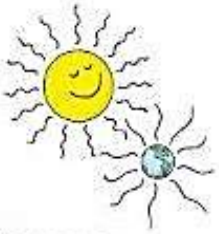


FIGURA 16.13
Tanto o Sol como a Terra emitem a mesma espécie de energia radiante. O brilho do Sol é visível ao olho humano; o da Terra é formado por ondas mais longas e, assim, não é visível ao olho humano.

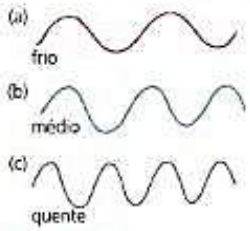


FIGURA 16.14
(a) Uma fonte a uma temperatura baixa (fonte fria) emite fundamentalmente frequências baixas, ou seja, em longos comprimentos de onda. (b) Uma fonte a uma temperatura média emite principalmente frequências médias, ou comprimentos de onda médios. (c) Uma fonte a uma temperatura muito alta (fonte quente) emite principalmente em frequências altas, ou comprimentos de onda curtos.

Uma vez que a superfície do Sol tem alta temperatura (pelos padrões terrestres) e, portanto, emite energia radiante em alta frequência – boa parte dela na faixa visível do *espectro eletromagnético*. A superfície da Terra, em comparação, é relativamente fria, e desse modo a energia radiante que ela emite tem uma frequência mais baixa do que a da luz visível. A radiação emitida pela Terra está na forma de *ondas infravermelhas* – abaixo do limiar de nossa visão. A energia radiante emitida pela Terra é chamada de **radiação terrestre**.

A energia radiante do Sol provém das reações nucleares que ocorrem em seu interior profundo. Analogamente, reações nucleares no interior da Terra aquecem nosso planeta (visite uma mina profunda qualquer e sentirá como é quente lá – o ano todo). Boa parte dessa energia interna é conduzida à superfície até se tornar radiação terrestre.

Todos os objetos – você, eu e tudo o mais que nos rodeia – emitem continuamente energia radiante em determinada faixa de frequências. Objetos a temperaturas cotidianas emitem principalmente ondas infravermelhas de baixas frequências. Quando as ondas infravermelhas de frequências mais altas são absorvidas por sua pele, como quando se está ao lado de um forno quente, você sente a sensação de calor. Assim, a radiação infravermelha é frequentemente chamada de *radiação térmica*. Fontes comuns que nos dão essa sensação de calor são o Sol, as lâmpadas incandescentes ou as brasas rubras de uma fogueira.

Os termômetros infravermelhos funcionam com base na radiação térmica. Você simplesmente aponta o instrumento para algo cuja temperatura deseja co-

[3] A quantidade de energia radiante, Q, emitida por um objeto é proporcional à quarta potência de sua temperatura Kelvin, $Q \sim T^4$.

nhecer, pressiona um botão e aparece um resultado digital. A radiação emitida pelo objeto possibilita a leitura. Termômetros infravermelhos didáticos funcionam na faixa aproximada de temperaturas que vai de −30°C a 200°C.

FIGURA 16.15
Um termômetro infravermelho mede a energia radiante infravermelha emitida por um objeto e a expressa como uma temperatura.

PAUSA PARA TESTE

Algum dos seguintes objetos não emite energia radiante? (a) O Sol. (b) A lava de um vulcão. (c) Carvões em brasa. (d) O livro que você está lendo.

VERIFIQUE SUA RESPOSTA

Temos a esperança de que você não tenha escolhido a resposta (d), o livro. Por quê? Porque o livro, como os outros corpos listados, possui uma temperatura – embora não tão alta quanto a dos outros. De acordo com a lei $f \sim T$, portanto, ele deve emitir radiação cuja frequência de pico f é muito baixa, comparada com as frequências da radiação emitida pelos outros corpos. Qualquer coisa com temperatura acima do zero absoluto emite radiação eletromagnética. Está certo mesmo – *tudo*!

Absorção de energia radiante

Se tudo está emitindo energia, então por que os objetos todos não esgotam finalmente sua energia? A resposta é: tudo está absorvendo energia. Bons emissores de energia radiante são também bons absorvedores dela; maus emissores são maus absorvedores. Por exemplo, uma antena de rádio construída para ser um bom emissor de ondas de rádio é também, por sua própria concepção, um bom receptor (absorvedor) delas. Uma antena transmissora mal projetada será também um mau receptor.

A superfície de qualquer material, quente ou frio, tanto absorve quanto emite energia radiante. Se a superfície absorve mais energia do que ela emite, há uma absorção líquida e sua temperatura aumenta. Se uma dada superfície desempenhará o papel de emissor ou de absorvedor líquido dependerá do fato de sua temperatura estar acima ou abaixo da de sua vizinhança. Se ela estiver mais quente do que a vizinhança, ela será um emissor líquido e se resfriará; se for mais fria do que sua vizinhança, constituirá um absorvedor líquido e esquentará. Toda superfície, esteja ela quente ou fria, tanto absorve quanto emite energia na forma de radiação.

FIGURA 16.16
A pizza que Dennis McNelis desfruta é um emissor. A mesma pizza seria um absorvedor se ela fosse mais fria do que sua vizinhança. O fato de algo ser um emissor ou um absorvedor depende das temperaturas relativas.

Você pode comprovar isso usando um par de recipientes metálicos de mesma forma e tamanho, um tendo uma superfície branca ou espelhada e o outro tendo uma superfície pintada de preto (Figura 16.17). Encha os dois recipientes com água quente e coloque um termômetro em cada um. Você comprovará que o recipiente escuro esfria mais rápido. A superfície que foi pintada de preto emite melhor. O café ou o chá mantêm-se aquecidos por mais tempo em uma jarra brilhante do que em uma de cor escura. Esse experimento pode também ser realizado de maneira inversa. Desta vez, preencha cada recipiente com água gelada e coloque os dois em frente a uma lareira acesa, ou fora de casa em um dia bastante quente – ou seja, onde quer que exista uma boa fonte de energia radiante. Você comprovará que o recipiente escuro esquenta primeiro. Qualquer objeto que emite bem, absorve bem.

FIGURA 16.17
Se os recipientes são preenchidos com água quente (ou fria), o que é pintado de preto esfria (ou aquece) primeiro.

PAUSA PARA TESTE

1. Se um bom absorvedor de energia radiante fosse um mau emissor, como sua temperatura se compararia com a temperatura de sua vizinhança?
2. Um fazendeiro acende o maçarico de propano em seu celeiro numa manhã fria, e aquece o ar até 20°C (68°F). Por que, então, ele ainda sente frio?

A emissão e a absorção na parte visível do espectro são afetadas pela cor, ao passo que a parte infravermelha do espectro é mais afetada pela textura da superfície. Se ela for áspera e sem polimento, emitirá e absorverá melhor o infravermelho que outra superfície polida, sejam quais forem suas cores.

VERIFIQUE SUA RESPOSTA

1. Se um bom absorvedor não fosse também um bom emissor, haveria uma absorção líquida de energia radiante e a temperatura do absorvedor se manteria mais elevada do que a de sua vizinhança. As coisas ao nosso redor se aproximam de uma temperatura comum somente porque os bons absorvedores são também, por sua própria natureza, bons emissores.
2. As paredes do celeiro ainda estão frias. O fazendeiro irradia mais energia para as paredes do que elas irradiam de volta, de modo que ele sente frio. (Você se sente confortável dentro de sua casa ou sala de aula apenas se as paredes estão aquecidas, e não apenas o ar.)

Reflexão de energia radiante

A absorção e a reflexão são processos que se opõem. Um bom absorvedor de energia radiante reflete muito pouco esse tipo de energia, incluindo a luz visível. Portanto, uma superfície que reflete muito pouco ou nada de energia radiante aparece como escura. Desse modo, um bom absorvedor parece escuro e um absorvedor perfeito não reflete qualquer energia radiante e parece completamente negro. A pupila do olho, por exemplo, permite que a luz penetre sem sofrer qualquer reflexão, e por isso ela parece escura. (Uma exceção a isso ocorre durante a emissão de um *flash* fotográfico, quando as pupilas das pessoas ficam vermelhas, porque a luz brilhante é refletida para fora do olho após ter se refletido na superfície interna do fundo do mesmo, que é vermelha.)

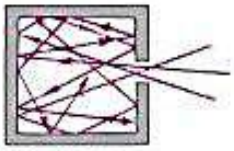


FIGURA 16.18
A radiação que entra na cavidade tem pouca chance de sair novamente dela, porque a maior parte é absorvida. Por essa razão, a abertura de uma cavidade qualquer parece-nos escura.

Olhe para as extremidades abertas de canos empilhados; os buracos parecem escuros. Em um dia ensolarado, se você olhar para a abertura de uma porta aberta, ou para as janelas de casas distantes, elas lhe parecerão negras. Essas aberturas lhe parecem escuras porque a luz que consegue entrar nelas acaba sendo refletida repetidas vezes de um lado para outro nas paredes internas, sendo parcialmente absorvida a cada reflexão. Como resultado, muito pouco, ou nada, de luz existe para retornar à abertura e propagar-se até seus olhos (Figura 16.18). Helen Yan ilustra isso muito bem nas fotos de abertura do capítulo.

Bons refletores, por outro lado, são maus absorvedores. A neve clara é um bom refletor e, portanto, não derrete rapidamente quando exposta à luz do Sol. Se a neve está suja, ela absorve mais energia radiante vinda do Sol e derrete mais rápido. Uma técnica às vezes usada para controlar inundações é cobrir a superfície da neve das montanhas com fuligem jogada de aviões. O derretimento controlado em épocas apropriadas, em vez de uma súbita avalanche de neve derretida, é favorecido por essa técnica.

FIGURA 16.19
A maior parte do fornecimento de calor por um radiador se dá, na realidade, por convecção, de maneira que a cor faz pouca diferença (um nome mais adequado para este tipo de aparelho seria *convector*). Para se otimizar o rendimento, entretanto, o radiador é pintado em cor prata, pois assim irradiará menos, tornando-se e mantendo-se mais quente, e, portanto, realizando melhor a tarefa de aquecer o ar. Portanto, pinte seu radiador de prata!

Resfriamento noturno por radiação

A corpos que irradiam mais energia do que recebem tornam-se mais frios. Isso acontece à noite, quando a radiação solar está ausente. Um objeto deixado fora de casa durante a noite irradia energia para o espaço e, devido à ausência de quaisquer corpos quentes em sua vizinhança, recebe muito pouca energia do espaço de volta. Portanto, ele perde mais energia do que ganha e torna-se mais frio. Mas se o objeto for um bom condutor de calor – como um metal, uma pedra ou o concreto – haverá condução de calor para ele vindo do solo, o que às vezes estabiliza sua temperatura. Por outro lado, materiais tais como madeira, palha e vidro são maus condutores, e pouco calor será conduzido para eles a partir do solo. Esses materiais isolantes são predominantemente radiadores e conseguem ficar *mais frios do que o ar*. É comum que esses materiais fiquem cobertos de geada mesmo quando a temperatura do ar não caiu abaixo do ponto de congelamento da água. Você já viu um campo ou gramado, antes do nascer do Sol, coberto de geada numa manhã fria, mas em que a temperatura se mantém acima do ponto de congelamento? Da próxima vez que você ver isso, observe que a geada se forma apenas sobre a grama, a palha e outros maus condutores de calor, ao passo que nenhuma geada se forma sobre o cimento, as pedras ou outros bons condutores de calor.

Jardineiros cuidadosos cobrem suas plantas favoritas com lona quando esperam por geada. As plantas irradiarão tanto quanto antes, mas receberão mais energia radiante da lona do que do céu noturno escuro. A lona irradia como um objeto que se encontra à temperatura ambiente, e não com a temperatura do céu frio e escuro. Pela mesma razão, as plantas em uma varanda coberta não congelarão, enquanto aquelas que ficaram expostas ao céu, sim.

A própria Terra troca calor com sua vizinhança. O Sol é uma parte dominante da vizinhança terrestre durante o dia. Nesse período, a Terra absorve mais energia radiante do que emite. Durante a noite, se o ar está relativamente transparente, a Terra irradia mais energia para o espaço do que recebe. Como os pesquisadores Arno Penzias e Robert Wilson, dos laboratórios da Bell, descobriram, em 1965, que o espaço exterior possui uma temperatura – cerca de 2,7 K (2,7 graus acima do zero absoluto). O próprio espaço emite uma radiação fraca característica daquela temperatura baixa.[1]

FIGURA 16.20
Porções com cristais de geada revelam as entradas escondidas para a toca de um camundongo. Cada aglomerado de cristais é a respiração congelada do camundongo!

PAUSA PARA TESTE

1. Qual provavelmente é a mais fria: uma noite estrelada ou uma noite sem estrelas?
2. Durante o inverno, por que o pavimento das rodovias nas pontes tende a estar mais coberto de gelo do que o pavimento que está sobre o solo?

VERIFIQUE SUA RESPOSTA

1. A noite estrelada é a mais fria, quando a Terra irradia diretamente para o gelado espaço exterior. Em uma noite nublada, a irradiação líquida é menor, pois as nuvens irradiam parte da energia de volta para a superfície da Terra.
2. A energia irradiada pelo pavimento das estradas sobre o solo é parcialmente reabastecida pelo calor conduzido a partir do solo mais quente abaixo do pavimento. Mas não há contato entre o pavimento sobre as pontes e o solo, de modo que ele recebe muito pouco, ou nenhum, reabastecimento de energia vinda do solo. Por isso, o pavimento rodoviário nas pontes é mais frio do que sobre o solo, o que aumenta a chance de formação de gelo. Compreender melhor as transferências de calor pode torná-lo um motorista mais cuidadoso!

psc

■ Durante uma hora qualquer do dia, a quantidade de energia que a Terra recebe do Sol é maior do que o total de energia obtida de todas as outras fontes disponíveis por toda a humanidade durante um ano.

16.4 A lei de Newton do resfriamento

Um objeto que está a uma temperatura diferente da temperatura de sua vizinhança termina alcançando uma temperatura em comum com ela. Um objeto relativamente quente esfria enquanto esquenta sua vizinhança. A taxa de resfriamento de um objeto depende de quanto mais quente ele está em relação a sua vizinhança. A variação de temperatura por minuto de uma torta de maçã quente será maior se a torta for colocada no interior de um congelador, em vez de na mesa da cozinha. Quando a torta resfria dentro do congelador, a diferença entre sua temperatura e a da vizinhança é maior do que no outro caso. Similarmente, a taxa segundo a qual uma casa aquecida perde energia interna para o exterior frio depende da diferença entre as temperaturas interior e exterior.

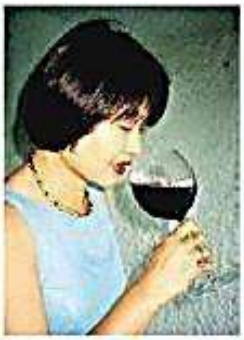


FIGURA 16.21
A haste comprida de uma taça de vinho ajuda a impedir que o calor vindo de sua mão aqueça a bebida.

[1] Penzias e Wilson compartilharam um prêmio Nobel de Física por sua descoberta da "radiação cósmica de fundo", que se acredita ser uma espécie de relíquia do *Big Bang*. Sua correspondente temperatura agora é medida com a incrível precisão de 2,725 K, e revela muito sobre a história inicial do universo e sobre sua presente composição.

2. Textos de Máximo (2010)

Dando continuidade à diferenciação progressiva, os textos selecionados a seguir deverão ser utilizados para o estudo dos modelos matemáticos de Fourier e Stefan-Boltzmann.

Texto sobre a Lei de Fourier

preocupamos, naquela secção, em determinar o valor da quantidade de calor transferida em cada caso. Aqui vamos mostrar como este valor pode ser calculado para os casos da condução e da radiação.

CONDUÇÃO

Consideremos dois corpos mantidos em temperaturas fixas T_1 e T_2, tais que $T_2 > T_1$. Unindo estes corpos por uma barra de secção uniforme de área A e de comprimento L (fig. C-1), haverá condução de calor, através da barra, do corpo mais quente para o mais frio, como poderíamos prever. Seja ΔQ a quantidade de calor que passa por uma secção qualquer da barra, durante um intervalo de tempo Δt. O quociente $\Delta Q/\Delta t$ é denominado *fluxo de calor* através daquela secção, grandeza que vamos representar pela letra grega ϕ (fi), isto é,

Fig. C-1: *Em uma barra sólida, o calor se transfere por condução.*

$$\phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Se a barra da fig. C-1 for envolvida por um isolante térmico, verifica-se que depois de um certo tempo ela atinge uma situação denominada *regime estacionário*, que é caracterizado por ter o fluxo de calor o mesmo valor em qualquer secção da barra. Em conseqüência desse fato, a temperatura de um ponto qualquer da barra atinge um valor que não se altera com o decorrer do tempo. Em nosso estudo vamos trabalhar sempre com barras conduzindo calor em regime estacionário.

Verifica-se experimentalmente que o fluxo de calor ϕ é:

1º) diretamente proporcional à área A da secção reta da barra, isto é, $\phi \propto A$.
2º) diretamente proporcional à diferença de temperatura entre as extremidades da barra, isto é, $\phi \propto (T_2 - T_1)$.
3º) inversamente proporcional ao comprimento da barra, isto é, $\phi \propto 1/L$.

Podemos, então, escrever:

$$\phi \propto A\frac{T_2 - T_1}{L}$$

ou, introduzindo a constante de proporcionalidade K, vem

$$\phi = KA\frac{T_2 - T_1}{L}$$

A constante K é característica do material de que é feita a barra e se denomina *condutividade térmica* da substância. Na tabela C-1 estão apresentados valores da condutividade térmica de alguns materiais. Quanto maior o valor de K, maior é o fluxo de calor que a barra conduz e, portanto, melhor condutora de calor será a substância de que é feita a barra.

Condutividade térmica	
kcal/s · m · °C	
Alumínio	$4{,}9 \times 10^{-2}$
Cobre	$9{,}2 \times 10^{-2}$
Chumbo	$8{,}3 \times 10^{-3}$
Prata	$9{,}9 \times 10^{-2}$
Aço	$1{,}1 \times 10^{-2}$
Ar	$5{,}7 \times 10^{-6}$
Hidrogênio	$3{,}3 \times 10^{-5}$
Amianto	$2{,}0 \times 10^{-4}$
Vidro	$2{,}0 \times 10^{-4}$
Concreto	$2{,}0 \times 10^{-4}$
Madeira	$2{,}0 \times 10^{-4}$
Cortiça	$1{,}0 \times 10^{-4}$
Obs.: Os gases estão em condições normais de temperatura e pressão.	

Tabela C-1.

Exemplo 1

Uma barra de alumínio de comprimento $L = 80$ cm e de secção reta $A = 200$ cm², tem uma de suas extremidades introduzida em uma caldeira com água em ebulição (veja a fig. C-2). A outra extremidade da barra encontra-se, no ar ambiente, a 20°C.

a) Determine o fluxo de calor ϕ que é transferido através da barra para o ar ambiente.

Supondo o regime estacionário, sabemos que o fluxo de calor por condução é dado pela equação

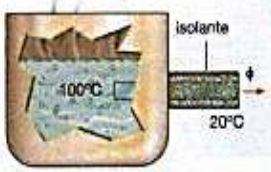


Fig. C-2: *Para o exemplo 1.*

$$\phi = KA\frac{T_2 - T_1}{L}$$

Na tabela C-1 encontramos a condutividade térmica do alumínio:

$$K = 4{,}9 \times 10^{-2}\ \text{kcal/s} \cdot \text{m} \cdot {}^\circ\text{C}$$

Observe que o valor de K está expresso usando-se o metro como unidade de comprimento. Então, os valores de A e L devem ser expressos nesta unidade, isto é:

$$L = 80\ \text{cm} = 80 \times 10^{-2}\ \text{m}$$

$$A = 200\ \text{cm}^2 = 200 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$$

Logo

$$\phi = 4{,}9 \times 10^{-2} \times 200 \times 10^{-4} \times \frac{(100 - 20)}{80 \times 10^{-2}} \quad \text{donde} \quad \phi = 9{,}8 \times 10^{-2}\ \text{kcal/s}.$$

A unidade obtida nessa resposta vem da combinação de unidades de cada grandeza presente na equação que fornece ϕ:

$$\frac{\text{kcal}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot {}^\circ\text{C}} \times \text{m}^2 \times \frac{{}^\circ\text{C}}{\text{m}} = \frac{\text{kcal}}{\text{s}}$$

Como 1 kcal = 1 quilocaloria = 10^3 cal, vem

$$\phi = 9{,}8 \times 10^{-2} \times 10^3\ \text{cal/s} = 98\ \text{cal/s}$$

b) Qual é em watts a potência térmica, P, que está sendo transferida através da barra para o ar?

Evidentemente, o fluxo ϕ é a própria potência transferida, expressa em cal/s. Supondo 1 cal = 4,2 J, temos

$$\phi = P = 98 \times 4{,}2\ \text{J/s}$$

ou

$$P = 411\ \text{J/s} = 411\ \text{W}$$

Observe, apenas para comparação, que esta potência equivale aproximadamente à potência emitida por 4 lâmpadas de 100 W.

c) Supondo que a situação descrita na questão (a) seja mantida invariável, durante 10 minutos, calcule, em calorias, a quantidade total de calor transferida ao ar durante este tempo.

De $\phi = \Delta Q/\Delta t$, obtemos $\Delta Q = \phi \cdot \Delta t$. Temos

$$\Delta t = 10\ \text{min} = 600\ \text{s}$$

Logo

$$\Delta Q = \phi \Delta t = 98\ \frac{\text{cal}}{\text{s}} \times 600\ \text{s}$$

ou

$$\Delta Q = 5{,}9 \times 10^4\ \text{cal}$$

Texto sobre a Stefan-Boltzmann

RADIAÇÃO

Já vimos que a transferência de calor por condução e por convecção exige a presença de um meio material para que ela ocorra. A radiação, ao contrário, pode se fazer através do espaço vazio e é por este motivo que a radiação emitida pelo Sol chega até à Terra. Sabe-se ainda que qualquer corpo pode emitir radiações térmicas, não sendo necessário que sua temperatura seja tão elevada quanto a do Sol. Por exemplo, um ferro de passar roupa, aquecido, emite uma quantidade apreciável de radiação (fig. C-3-a), como é fácil perceber colocando nossa mão a uma certa distância de sua superfície (lembre-se de que o ar é mau condutor de calor). Até mesmo o corpo humano emite radiações que podem ser detectadas por uma máquina fotográfica com filmes especiais sensíveis a essas radiações (fig. C-3-b).

Fig. C-3: *Qualquer corpo emite radiações térmicas (infravermelho).*

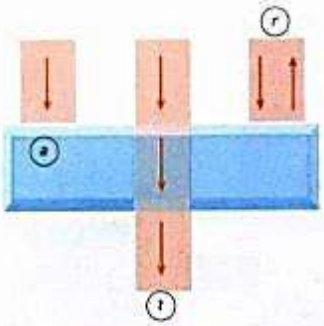


Fig. C-4: *Quando um corpo recebe energia radiante, esta pode ser refletida (r), absorvida (a) ou transmitida (t) por ele.*

Quando uma certa quantidade de energia radiante incide em um corpo (fig. C-4), de um modo geral parte dela é absorvida pelo corpo, outra parte é transmitida através dele e a parte restante é refletida. Na fig. C-4 essas partes estão representadas pelas faixas *a*, *t* e *r*. Como dissemos na secção 12.2, os corpos escuros absorvem uma porção maior da radiação que neles incide, enquanto os corpos claros e lisos refletem a maior parte da radiação incidente. Além disso, verificou-se experimentalmente que os corpos que apresentam grande poder de absorção são também bons emissores e vice-versa. Por esta razão, um corpo ideal, capaz de absorver toda a radiação que nele incidir, seria também um emissor de eficiência máxima. Em outras palavras, o absorvedor ideal seria o corpo que a uma dada temperatura emitiria uma taxa de radiação (por unidade de área) maior do que qualquer outro corpo. Todo emissor ou absorvedor ideal é denominado *corpo negro*. Essa denominação se deve ao fato de que (como veremos no estudo de Ótica) esse corpo apareceria negro ao ser observado, já que ele não reflete radiação alguma. Entretanto, deve-se ressaltar que este corpo não nos pareceria negro se estivesse em temperatura tal que o tornasse emissor de radiações visíveis.

Alfred Pasieka/SPL/Stock Photos

Fotografia de uma casa, obtida com filme sensível à radiação infravermelha. As regiões que aparecem nas cores amarelo, vermelho e rosa são aquelas que estão emitindo este tipo de radiação com maior intensidade.

A LEI DE STEFAN-BOLTZMANN

Consideremos um corpo cuja superfície externa tenha uma área A, emitindo através dela uma radiação total de potência P (energia irradiada por unidade de tempo, por toda a superfície). Denomina-se *radiância* ou *poder emissivo*, R, do corpo, à relação

$$R = \frac{P}{A}$$

Evidentemente, a unidade de medida desta grandeza no S.I. é 1 W/m^2. Vemos, então, que o valor de R, no S.I., representa a quantidade de energia, em joules, emitida por segundo, em cada metro quadrado da superfície do corpo.

Josef Stefan (1835–1893)

Físico austríaco, cujo trabalho mais importante se refere ao comportamento dos corpos negros, chegando à conclusão de que a energia por eles irradiada é proporcional à 4ª potência de sua temperatura Kelvin. Foi professor de Física na Universidade de Viena, chegando a ocupar a direção do Instituto de Física desta universidade. Cinco anos após ter chegado empiricamente à lei sobre a radiação do corpo negro, ela foi deduzida teoricamente por seu colega L. Boltzmann, outro físico austríaco de renome. Por esse motivo, a lei mencionada recebeu o nome de "lei de Stefan-Boltzmann".

Na segunda metade do século passado, os cientistas austríacos, J. Stefan e L. Boltzmann, chegaram (o primeiro experimentalmente e o segundo teoricamente) a um resultado, referente aos corpos negros, denominado lei de Stefan-Boltzmann, cujo enunciado é o seguinte:

> **a radiância, R_N, de um corpo negro é proporcional à quarta potência de sua temperatura Kelvin T, isto é,**
>
> $$R_N \propto T^4 \quad \text{ou} \quad R_N = \sigma T^4$$

A constante de proporcionalidade σ (letra grega sigma) é denominada constante de Stefan-Boltzmann e seu valor no S.I. é

$$\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

Qualquer emissor não ideal, isto é, um corpo real qualquer, terá a uma dada temperatura uma radiância, R, menor do que a do corpo negro, ou seja, $R < R_N$. Define-se, então, *emissividade*, e, de um corpo qualquer, da seguinte maneira:

$$e = \frac{R}{R_N} \quad \text{donde} \quad R = eR_N$$

$$\text{ou} \quad \boxed{R = e\sigma T^4}$$

Com esta equação podemos calcular a radiância de um corpo qualquer quando conhecemos sua temperatura e sua emissividade.

Evidentemente, para um corpo negro temos $e = 1$ e para um refletor ideal, ou seja, um corpo que não emite radiação alguma, temos $e = 0$. Outros corpos terão emissividade compreendida entre esses limites. Por exemplo: para o aço polido tem-se $e = 0{,}07$; para o cobre polido, $e = 0{,}3$; para uma pintura metálica preta, $e = 0{,}97$ etc.

COMENTÁRIO

A equação $R = e\sigma T^4$ nos mostra que a quantidade de radiação emitida por um corpo aumenta muito rapidamente à medida que sua temperatura se eleva. Verifica-se, além disso, que o tipo da radiação também se altera: a temperaturas mais baixas, até nas proximidades de 1 000 K, a maior parte das radiações emitidas são invisíveis; quando a temperatura do corpo atinge cerca de 2 000 K, boa parte delas já é visível e a tonalidade do emissor torna-se avermelhada; nas proximidades de 3 000 K (temperatura do filamento de uma lâmpada incandescente) o corpo adquire tonalidade amarelada; a 6 500 K (temperatura da superfície do Sol), o corpo emite luz com tonalidade do branco intenso; finalmente, acima de 10 000 K (temperatura de algumas estrelas muito quentes) a cor do corpo emissor torna-se azulada.

Exemplo 2

a) Um objeto a uma temperatura T_1 está envolvido por um ambiente à temperatura T_2. O objeto emite radiações para o ambiente e absorve radiações emitidas por ele. Sendo e a emissividade e A a área do objeto, determine a potência térmica líquida (diferença entre o fluxo emitido e o fluxo absorvido) irradiada por ele.

Da expressão $R = \frac{P}{A}$ vem

$$P = R \cdot A \quad \text{ou} \quad P = e\,\sigma\,A T^4$$

Então, o objeto emite uma potência

$$P_1 = e\,\sigma\,A T_1^4$$

Como vimos, a capacidade de absorção de um corpo é igual à sua capacidade de emissão. Isto significa que o coeficiente e que caracteriza a emissividade de um determinado corpo é o mesmo coeficiente e que caracteriza sua absorvidade. Portanto, a potência absorvida pelo objeto será dada por

$$P_2 = e\,\sigma\,A T_2^4$$

Logo, a potência líquida irradiada pelo objeto é

$$P = P_1 - P_2 \quad \text{ou} \quad P = e\,\sigma\,A\,(T_1^4 - T_2^4)$$

b) Uma pessoa, sem roupa, está em pé em uma sala cujas paredes estão à temperatura de 15°C. Sabe-se que a área da superfície do corpo da pessoa é $A = 1{,}5\ m^2$ e que a temperatura de sua pele é de 34°C (a pele se apresenta sempre em temperatura um pouco inferior à do interior do corpo). Considerando a emissividade da pele e = 0,70, determine a potência líquida irradiada pela pessoa.

Temos

$$T_1 = 273 + 34 = 307\ K \quad \text{e} \quad T_2 = 273 + 15 = 288\ K$$

Então, usando o resultado obtido na questão (a), vem:

$$P = 0{,}70 \times 5{,}67 \times 10^{-8} \times 1{,}5\,(307^4 - 288^4) \quad \text{donde} \quad P = 120\ W$$

De modo geral, uma pessoa em repouso produz calor, pelo metabolismo interno, com uma potência inferior a 120 W. Assim, nas condições deste exemplo, a temperatura da pessoa, em virtude da irradiação e de outras perdas de calor, tenderá a cair, causando-lhe um considerável desconforto. Seu organismo reage a este desconforto e começa a tremer, o que ocasiona um aumento da taxa metabólica para compensar a perda e manter estável a temperatura de seu corpo. Evidentemente, o uso de roupas ou agasalhos, diminuindo as perdas de calor, pode evitar o desconforto mencionado.

cícios de fixação **exercícios de fixação** exercícios de fi

Antes de passar ao estudo da próxima secção, responda às questões seguintes, consultando o texto sempre que julgar necessário.

1. a) Suponha que na equação $\phi = KA\,(T_2 - T_1)/L$, a quantidade de calor seja medida em kcal (1 kcal = 10^3 cal), o tempo em segundos, L em metros, A em m^2 e as temperaturas em °C. Qual seria, neste caso, a unidade da condutividade térmica K?
   b) Consulte a tabela C-1 e verifique se a unidade ali usada para K coincide com sua resposta da questão anterior.
2. Consultando a tabela C-1, identifique, entre as substâncias ali apresentadas:
   a) Aquela que é o melhor isolante térmico.
   b) Aquela que é o melhor condutor de calor.
3. Tendo em vista a resposta do exercício anterior, explique por que em países de clima frio costuma-se usar janelas com vidraças duplas, como mostra a figura deste exercício (este tipo de janela chega a reduzir em até 50% as perdas de calor).

Exercício 3.