

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Universidade de Brasília



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

A UTILIZAÇÃO DOS 3 MP PARA ABORDAGEM DA TEMÁTICA AMBIENTAL
NO CURRÍCULO DE FÍSICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA - OS RIOS
VOADORES DA AMAZÔNIA E O CICLO DA ÁGUA

Thiago Anunciação Rezende

Produto educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Professor Doutor Ronni Amorim

Brasília
Junho/ 2018

Sumário

I - INTRODUÇÃO	2
II - MOMENTOS PEDAGÓGICOS	3
1º MOMENTO – PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL	3
2º MOMENTO – ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO.....	3
3º MOMENTO – APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO	5
III – ATIVIDADES PROPOSTAS.....	6
ATIVIDADE 1	6
ATIVIDADE 2	8
ATIVIDADE 3	12
ATIVIDADE 4	20
ATIVIDADE 5	32
ATIVIDADE 6	40
ATIVIDADE 7	55
ATIVIDADE 8	68
ATIVIDADE 9	75
ATIVIDADE 10.....	80
ATIVIDADE 11.....	86
ATIVIDADE 12.....	87
ATIVIDADE 13.....	99

I - INTRODUÇÃO

Caro professor, o objetivo deste material é propor um percurso didático que colabore com a inserção da pauta ambiental nas aulas de Física. Nesse caso, procura-se dar elementos para o entendimento do ciclo da água, bem como tentar desconstruir algumas concepções cristalizadas no senso comum da população brasileira acerca desse precioso recurso natural. O material elenca tópicos tradicionalmente ministrados em cursos de Física do ensino médio tais como temperatura, pressão, energia/calor, potência, estados físicos da matéria, bem como suas mudanças e outros nem tanto, como uma breve introdução à teoria dos sistemas complexos, buscando elucidar os principais pontos do fenômeno denominado bomba biótica de umidade, popularizado pelo termo “rios voadores da Amazônia”. A proposta do trabalho passa também por uma possibilidade de atuação interdisciplinar com áreas como Matemática, Biologia, Geografia, Artes, Sociologia, etc.

Para tanto, utiliza-se como aporte teórico a Abordagem Temática proposta por Delizoicov, Angotti e Pernambuco [2002]. Tais autores sugerem três momentos pedagógicos, a saber: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento, que cumpre o papel de sistematizar

o trabalho docente em sala de aula para efetivação das concepções de Paulo Freire acerca da Abordagem Temática.

Na seção 2 segue um pequeno resumo desses momentos, assim como uma descrição resumida das atividades propostas. Na seção 3 são apresentadas as atividades propriamente ditas.

II - MOMENTOS PEDAGÓGICOS

1º MOMENTO – PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

Nesse momento são apresentadas questões e/ou situações para discussão com os alunos. Mais do que simples motivação para se introduzir um conteúdo específico, a problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes [Delizoicov e Angotti apud Caramello; Oliveira; Costa 2014].

Procurou-se descrever as atividades a partir de um quadro com o mesmo layout apresentado no trabalho de Barbosa e Castro [2017].

Nº da atividade	Descrição da atividade	Nº de aulas
1	Solicitar aos alunos, em uma aula anterior, que pesquisem reportagens sobre a questão climática e da água. Roda de prosa com a turma para verificar quais são as principais ideias sobre a temática	1
2	Leitura e escuta da música “Quede água” (Lenine). Roda de prosa sobre as impressões da música. Iniciar a discussão sobre o fenômeno “rios voadores” a partir do verso “os rios voadores da hileia mal deságuam por aqui”.	1

Quadro 7.1 Descrição das atividades do 1º momento [Elaborado pelo autor com base em Barbosa e Castro 2017]

2º MOMENTO – ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

“Os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema central e da problematização inicial serão sistematicamente estudados neste momento, sob orientação do professor. Definições, conceitos, relações e leis, que podem ter sido apresentados no texto introdutório, serão agora aprofundados. Do ponto de vista metodológico, neste momento de organização do conhecimento cabem as atividades mais diversas, como: exposição pelo professor de definições, formulação de questões, texto previamente preparado, trabalho extraclasse, experiências, realizadas pelos alunos (em classe ou fora dela) ou pelo professor (demonstração), etc.” [Delizoicov e Angotti apud Caramello; Oliveira; Costa 2014].

Subtema	Nº da atividade	Questão de investigação	Conceitos físicos abordados	Descrição da atividade	Nº de aulas
Temperatura e sensação térmica	3	Podemos confiar no tato para medir temperatura?	Temperatura Sensação térmica Termômetros Escalas termométricas Equilíbrio térmico Lei zero da termodinâmica	Os alunos são convidados a mergulhar as duas mãos em dois recipientes, um com água quente e outro com água fria. Logo após eles irão mergulhar as mãos em dois outros recipientes com água a temperatura ambiente. Em seguida será solicitado que ordenem as temperaturas das águas dos recipientes. A partir dos questionamentos dessa experiência apresentamos os conceitos relacionados de equilíbrio térmico, temperatura e escalas termométricas.	2
Pressão	4	Força é sinônimo de pressão? O ar tem peso?	Pressão Pressão atmosférica Densidade	Realizar as atividades práticas sobre pressão e densidade do ar.	2
Fases (e mudanças) da matéria	5	Por que a panela de pressão cozinha mais rápido os alimentos?	Estados físicos da matéria Mudanças de estado da matéria Influência da pressão nos processos de mudança de estado da matéria	A partir de uma atividade demonstrativa, na qual uma barra de gelo é atravessada por um fio fino tensionado por duas cargas, serão utilizados alguns elementos das sequências de ensino investigativas, exemplificado Bellucco e Carvalho [2014], com o intuito de que os discentes formulem hipóteses sobre o fenômeno. Após a exposição das hipóteses dos grupos, apresentar o modelo microscópico de temperatura. A partir de simulações computacionais (phet) mostrar o diagrama Pressão X Temperatura.	4
Calor	6	O que tem errado, do ponto de vista físico, na frase: “estou com calor?”	Caloria Calor específico Calor Latente Cálculo da quantidade de	A partir de expressões ditas no cotidiano, problematizar se temperatura e calor é a mesma coisa. Explicar a necessidade da criação do conceito de calor.	2

			calor sensível e latente.	Explicar o conceito de caloria a partir dos questionamentos: i) Como se mede a quantidade de calorias de um alimento? ii) A expressão “queimar calorias”, faz alguma referência literal ao processo de combustão? Explicar o experimento de Joule. Explicar o cálculo da quantidade de calor sensível e latente.	
	7	Como o calor é transmitido?	Condução térmica Convecção térmica Radiação térmica	Atividades práticas: sobre condução, radiação e como se formam as brisas	2
Teoria do Caos	8	O que significa o efeito borboleta?	Breve histórico de algumas concepções da Física Efeito borboleta.	Inicialmente serão apresentados alguns slides retirados da dissertação de mestrado de Miguel Jorge Neto, na qual se destacam alguns pontos acerca do pensamento cartesiano, da Física Quântica e dos sistemas complexos. Em seguida, apresentar e discutir um vídeo, do canal do youtube Nerdologia, que trata da teoria do caos. Por fim, apresentar uma simulação numérica, retirada do portal “Sintonia Matemática” da UFF, que utiliza funções para exemplificar o efeito borboleta.	2

Quadro 7.2 Descrição de atividades do 2º momento [Elaborado pelo autor]

3º MOMENTO – APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

“Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento. Deste modo pretende-se que, dinamicamente e evolutivamente, o aluno perceba

que o conhecimento, além de ser uma construção historicamente determinada, desde que apreendido é acessível a qualquer cidadão, que dele pode fazer uso. Com isso, pode-se evitar a excessiva dicotomização entre processo e produto, física de "quadro-negro" e física da "vida", "cientista e não cientista". Metodologicamente, o procedimento é o mesmo do segundo momento; da mesma maneira, são fornecidas sugestões de atividades para desenvolver este terceiro momento". [Delizoicov e Angotti apud Caramello; Oliveira; Costa 2014]

Nº da atividade	Descrição da atividade	Nº de aulas
9	Texto e questionário sobre reciclagem de umidade	1
10	Texto e atividade prática sobre formação de nuvens Entrega do questionário sobre bomba biótica	1
11	Bomba biótica de umidade Velocidade dos ventos	1
12	Avaliação Final	1

Quadro7.3 Descrição de atividades do 3º momento [Elaborado pelo autor]

III – ATIVIDADES PROPOSTAS

ATIVIDADE 1

Estudante, com certeza você já deve ter ouvido que a maior parte da superfície do planeta é feita de água, bem como a maior parte da composição do corpo do ser humano. No entanto, embora exista muita água na Terra, o problema central é que a maior parte dela é salgada, imprópria para o consumo humano. Nas séries anteriores, na mídia e em outros espaços você já se deparou com a discussão sobre a importância de se economizar água, de preservar os rios, etc.

O que se pretende com essa sequência de aulas, e dos textos a ela associada é lançar novos olhares sobre este importante recurso.

1. Pesquise reportagens cujo tema central seja a água e/ou mudanças climáticas.
2. Discuta com seus colegas como os temas relacionados à água e as mudanças climáticas são tratados pela mídia.

3. Levando em conta que as águas do planeta obedecem a um certo ciclo, represente de forma esquemática, no espaço abaixo, como você compreende esse ciclo.
4. Os termos “tempo” e “clima” têm o mesmo significado?

ATIVIDADE 2

Analise a letra da música *Quede Água*, do artista pernambucano Lenine.

Quede Água?

A seca avança em Minas, Rio, São Paulo
O Nordeste é aqui, agora
No tráfego parado onde me enjaulo
Vejo o tempo que evapora
Meu automóvel novo mal se move
Enquanto no duro barro
No chão rachado da represa onde não chove
Surgem carcaças de carro
Os rios voadores da hileia
Mal desaguam por aqui
E seca pouco a pouco em cada veia
O Aquífero Guarani
Assim do São Francisco a San Francisco
Um quadro aterra a Terra
Por água, por um córrego, um chovisco
Nações entrarão em guerra
Quede água? Quede água? Quede água? Quede água?
Agora o clima muda tão depressa
Que cada ação é tardia
Que dá paralisia na cabeça
Que é mais do que se previa
Algo que parecia tão distante
Periga, agora tá perto
Flora que verdejava radiante
Desata a virar deserto
O lucro a curto prazo, o corte raso
O agrotóxico, o negócio
A grana a qualquer preço, petro-gaso

Carbo-combustível fóssil
O esgoto de carbono a céu aberto
Na atmosfera, no alto
O rio enterrado e encoberto
Por cimento e por asfalto
Quede água? Quede água? Quede água? Quede água?
Quando em razão de toda a ação humana
E de tanta desrazão
A selva não for salva, e se tornar savana
E o mangue, um lixão
Quando minguar o Pantanal e entrar em pane
A Mata Atlântica tão rara
E o mar tomar toda cidade litorânea
E o sertão virar Saara
E todo grande rio virar areia
Sem verão, virar outono
E a água for commodity alheia
Com seu ônus e seu dono
E a tragédia da seca, da escassez
Cair sobre todos nós
Mas sobretudo sobre os pobres outra vez
Sem terra, teto, nem voz
Quede água? Quede água?
Quede água? Quede água?
Agora é encararmos o destino
E salvarmos o que resta
É aprendermos com o nordestino
Que pra seca se adestra
E termos como guias os indígenas
E determos o desmate
E não agirmos que nem alienígenas

No nosso próprio habitat
Que bem maior que o homem é a Terra
A Terra e seu arredor
Que encerra a vida aqui na Terra, não se encerra
A vida, coisa maior
Que não existe onde não existe água
E que há onde há arte
Que nos alaga e nos alegra quando a mágoa
A alma nos parte
Para criarmos alegria pra viver
O que houver para vivermos
Sem esperanças, mas sem desespero
O futuro que tivermos
Quede água? Quede água? Quede água? Quede água?
Quede água?

1- Discuta com seus colegas de classe quais foram as impressões dessa canção.

2- O que o autor quis dizer com o verso “Os rios voadores da hileia mal desaguam por aqui”?

Alexander von Humboldt, o aclamado e influente cientista-naturalista alemão que explorou as Américas na virada do século XVIII para XIX é considerado o pai de ciências como a Geografia Física, Meteorologia e Ecologia. Ele empregou o termo hileia (do grego, floresta selvagem) para a Amazônia e, com a riqueza e encantamento das suas descrições minuciosas, inspirou gerações de naturalistas, Darwin entre eles. De Humboldt vêm as primeiras sugestões da ligação entre a floresta, a umidade do ar e o clima [Nobre 2014].

Rios voadores da hileia faz referência, então, a uma importante etapa do ciclo da água, que ficou popularizado pelo termo “Rios Voadores da Amazônia”, cujos detalhes analisaremos nas próximas atividades.



Figura 7.1 Alexander von Humboldt¹



Figura 7.2 Os caminhos dos rios voadores [Moss; Moss 2014]

¹ <http://academic.emporia.edu/aberjame/histgeol/humboldt/humboldt.htm>

ATIVIDADE 3

Na atividade 1 foi questionado qual era a diferença entre “tempo” e “clima”. Segundo a professora Biscaino:

“...tempo pode ser entendido como o estado no qual se encontra a atmosfera em um determinado momento e lugar, enquanto o clima de uma região corresponde ao conjunto de informações estatísticas sobre o tempo de uma determinada região.

As previsões do tempo ocorrem por meio de algumas propriedades que são aferidas diariamente em estações meteorológicas espalhadas por diferentes lugares. **Os elementos básicos levados em conta nessas estações são a temperatura do ar, a umidade do ar, a pressão atmosférica, a velocidade e direção dos ventos, o tipo e quantidade de precipitação e o tipo e quantidade de nuvens.** Esses dados são coletados em instrumentos como **termômetro, barômetro, higrômetro, biruta, pluviômetro, anemômetro e heliógrafo**, entre outros que permitem leitura manual (Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional) ou enviam os dados diretamente para computadores da central da estação meteorológica (Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática). A figura abaixo mostra a carta sinótica para todo o Brasil para o dia 9 de março de 2016. Com os dados coletados em estações espalhadas por todo o território nacional, são indicadas nessa imagem as zonas de baixa pressão (“B” em vermelho), zonas de alta pressão (“A” em azul) e a frente fria que avança do sul da Argentina, passando pelo sul do Brasil e se dirigindo ao Oceano Atlântico”. [Biscaino 2017, grifo meu]



Figura 7.3 Carta sinótica [Biscaino 2017]

O objetivo deste e dos próximos encontros é construir um arcabouço teórico de uma importante área da Física: a **termodinâmica**. Para que se tenha noção da importância desse campo teórico, segundo Albert Einstein: “A termodinâmica clássica é a única teoria física de conteúdo universal que, dentro

da estrutura da aplicabilidade dos seus conceitos básicos, jamais será derrubada” [Hornes; Silva; Pinheiro 2005].

A partir dos elementos dessa teoria, objetiva-se entender, por exemplo, como os meteorologistas preveem o “tempo” de uma região e, conseqüentemente, analisam seu clima.

Começemos com um conceito fundamental: **a temperatura**

“Desde a infância, temos um conhecimento prático dos conceitos de temperatura e energia térmica. Sabemos, por exemplo, que é preciso tomar cuidado com alimentos e objetos quentes e que a carne e o peixe devem ser guardados na geladeira. Sabemos, também, que a temperatura no interior de uma casa e de um automóvel deve ser mantida dentro de certos limites, e que devemos nos proteger do frio e do calor excessivos.

Os exemplos de aplicação da termodinâmica na ciência e na tecnologia são numerosos. Os engenheiros de automóveis se preocupam com o superaquecimento dos motores, especialmente no caso dos carros de corrida. Os engenheiros de alimentos estudam o aquecimento dos alimentos, como pizzas em fornos de microondas, e o seu resfriamento, como nos alimentos congelados. Os meteorologistas analisam a transferência de energia térmica nos eventos associados ao fenômeno El Niño e ao aquecimento global. Os engenheiros agrônomos investigam a influência das condições climáticas sobre a agricultura. Os engenheiros biomédicos estão interessados em saber se a medida da temperatura de um paciente permite distinguir uma infecção viral benigna de um tumor canceroso”. [Haliday; Resnick; Waker 2009]

Para “aquecer”, vamos realizar a atividade prática abaixo.

Observação ao professor: O docente deverá preparar previamente quatro recipientes, enumerados de 1 a 4. No recipiente 1 deverá ser colocado água gelada, no 4 água morna, em torno de 40 °C. Enquanto nos dois outros, recipientes 2 e 3, água a temperatura ambiente.

À sua frente estão expostos três recipientes contendo água, enumerados por I, II, III e IV.

Mergulhe sua mão esquerda no pote I e, simultaneamente, a mão direita no IV. Espere cerca de 30 segundos.

Tire as mãos dos recipientes e mergulhe-as no recipientes II e III. Quais foram as sensações térmicas no momento do mergulho das mãos dos

recipientes do centro? No espaço a baixo, ordene as sensações sentidas, da menor para a maior temperatura.

Dentre nossos sentidos (visão, olfato, audição e tato) o tato é o responsável pela percepção da temperatura. Uma pergunta fundamental é: o tato sempre informará, de forma confiável, a temperatura de um corpo ou de um sistema?

Meça, com um termômetro, as temperaturas dos recipientes.

Inevitavelmente, a temperatura está associada àquela sensação, que se conhece desde a infância, de quente e frio. Mas, como deve ter sido observado na experiência acima, esta sensação pode enganar.

Necessita-se, então, de uma forma e de um instrumento mais preciso para medir a temperatura. Mas, antes disso, é necessária uma definição do que seja este conceito.

Observa-se que quando dois corpos estão em contato térmico, algumas propriedades (como comprimento, área, volume, resistência elétrica, etc.) sofrem modificações. Esse é o princípio de funcionamento de um termômetro de mercúrio (ou álcool), por exemplo. Quando em contato com um corpo “quente” o líquido do bulbo dilata, e observa-se que a altura da coluna líquida aumenta.

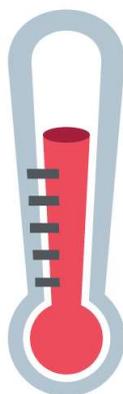


Figura 7.4 Termômetro²

² <https://emojiterra.com/pt/termometro/>

Porém, haverá um momento em que essa mudança cessará. Essa situação é definida como **equilíbrio térmico**. Dizemos, então, que os dois corpos possuem a mesma **temperatura**.

Incrivelmente, essa noção, fundamental para a sustentação lógica de toda a termodinâmica, foi a última a ser formalizada dentro do escopo desta área da Física. A **Lei Zero da Termodinâmica**, diz que:

Se os sistemas A e B estão em equilíbrio térmicos entre si, e se os sistemas A e C estão em equilíbrio térmico entre si, conclui-se que os sistemas B e C estão também em equilíbrio térmico entre si.[Nussenzveig 1996]

De forma mais esquemática se T_A , T_B e T_C , são, respectivamente, as temperaturas dos sistemas A, B e C. Então se $T_A=T_B$ e $T_A=T_C$, então $T_B=T_C$

Embora essa lei pareça uma consequência lógica, ela não se aplica, por exemplo ao equilíbrio químico. Se A e B estão em equilíbrio químico entre si, e A e C também estão em equilíbrio químico, A e C não estarão, necessariamente, em equilíbrio químico. Isso ocorre, por exemplo, em uma pilha [Nussenzveig 1996].

Da observação das experiências acima, justifica-se a criação de um instrumento que seja capaz de mensurar, de forma objetiva, a temperatura dos corpos. Tal instrumento é denominado **termômetro**.

“Para criar uma escala de temperatura escolhemos um fenômeno térmico reprodutível e, **arbitrariamente**, atribuímos a ele uma temperatura. Poderíamos, por exemplo, escolher o ponto de fusão do gelo ou o ponto de ebulição da água, mas, por razões técnicas, optamos pelo **ponto triplo da água** (isto é, um valor determinado de temperatura e pressão em que coexistam os estados sólido, líquido e gasoso da água). Por acordo internacional, foi dado o valor de 273,16 Kelvins (unidade no Sistema Internacional), como a temperatura padrão para calibração dos termômetros.” [Haliday; Resnick; Waker 2009, grifo meu]

Além da escala Kelvin, outras importantes escalas são a Celsius (usada na maioria dos países) e a Fahrenheit (usada nos Estados Unidos). Para estabelecer uma regra que permita converter o valor de uma temperatura de uma escala para outra, são necessários dois pontos fixos. Usualmente adotam-se os pontos de fusão e ebulição da água a pressão normal. Veja a comparação desses valores abaixo:

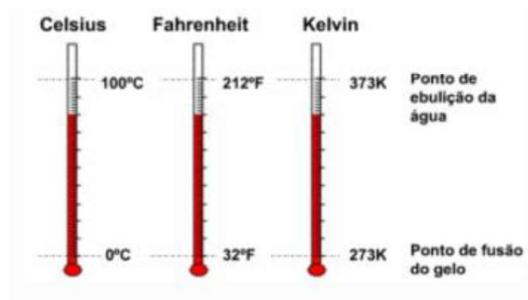


Figura 7.5 Escalas de temperatura³

A relação matemática para converter o valor de uma temperatura, expressa em uma dessas escalas para outra é dada por:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5}$$

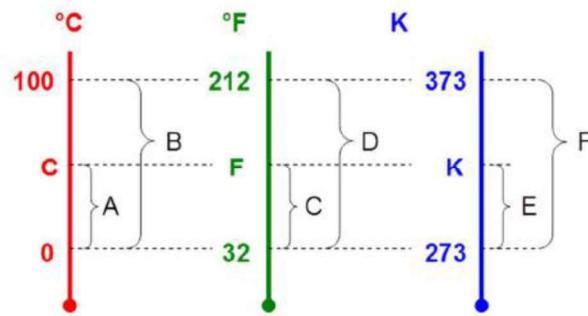
Tente demonstrar esta relação!

Dica: faça uma proporção entre as diferenças de temperaturas ou, de forma equivalente, tente usar funções polinomiais do primeiro grau.

Treinamento para o vestibular

Questão 01 - (IFPE) Pernambuco registrou, em 2015, um recorde na temperatura após dezessete anos. O estado atingiu a média máxima de 31°C, segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). A falta de chuvas desse ano só foi pior em 1998 – quando foi registrada a pior seca dos últimos 50 anos, provocada pelo fenômeno "El Niño", que reduziu a níveis críticos os reservatórios e impôs o racionamento de água. Novembro foi o mês mais quente de 2015, aponta a APAC. Dos municípios que atingiram as temperaturas mais altas esse ano, Águas Belas, no Agreste, aparece em primeiro lugar com média máxima de 42°C (Fonte: g1.com. BR). Utilizando o quadro abaixo, que relaciona as temperaturas em °C (graus Celsius), °F (Fahrenheit) e K (Kelvin), podemos mostrar que as temperaturas médias máximas, expressas em K, para Pernambuco e para Águas Belas, ambas em 2015, foram, respectivamente,

³ <http://universocientifico.com.br>



- a) 300 e 317.
- b) 273 e 373.
- c) 304 e 315.
- d) 242 e 232.
- e) 245 e 302.

Questão 02 - (UCB DF) Em novembro de 2005, foi registrada uma das maiores temperaturas do Brasil. A temperatura chegou a, aproximadamente, 45 °C na cidade de Bom Jesus do Piauí. Convertendo essa temperatura para graus Fahrenheit (°F), obtém-se

- a) 81 °F.
- b) 90 °F.
- c) 100 °F.
- d) 113 °F.
- e) 126 °F.

Questão 03 - (UFPR) Vários turistas frequentemente têm tido a oportunidade de viajar para países que utilizam a escala Fahrenheit como referência para medidas da temperatura. Considerando-se que quando um termômetro graduado na escala Fahrenheit assinala 32 °F, essa temperatura corresponde ao ponto de gelo, e quando assinala 212 °F, trata-se do ponto de vapor. Em um desses países, um turista observou que um termômetro assinalava temperatura

de 74,3 °F. Assinale a alternativa que apresenta a temperatura, na escala Celsius, correspondente à temperatura observada pelo turista.

- a) 12,2 °C.
- b) 18,7 °C.
- c) 23,5 °C.
- d) 30 °C.
- e) 33,5 °C.

Questão 04 - (PUC SP) O Slide, nome dado ao skate futurista, usa levitação magnética para se manter longe do chão e ainda ser capaz de carregar o peso de uma pessoa. É o mesmo princípio utilizado, por exemplo, pelos trens ultrarrápidos japoneses.

Para operar, o Slide deve ter a sua estrutura metálica interna resfriada a temperaturas baixíssimas, alcançadas com nitrogênio líquido. Daí a “fumaça” que se vê nas imagens, que, na verdade, é o nitrogênio vaporizando novamente devido à temperatura ambiente e que, para permanecer no estado líquido, deve ser mantido a aproximadamente -200 graus Celsius. Então, quando o nitrogênio acaba, o skate para de “voar”.



Figura 7.6 Slide [Divulgação Lexus]

Com relação ao texto, a temperatura do nitrogênio líquido, -200°C , que resfria a estrutura metálica interna do Slide, quando convertida para as escalas Fahrenheit e Kelvin, seria respectivamente:

- a) -328 e 73

- b) -392 e 73
- c) -392 e -473
- d) -328 e -73

Questão 05 - (Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública) Sabe-se que as mudanças significativas referentes à família brasileira estão relacionadas ao impacto do desenvolvimento tecnológico da sociedade como um todo. Uma dessas mudanças é o uso da tecnologia para a reprodução humana, a inseminação artificial, uma técnica de reprodução medicamente assistida que consiste na deposição mecânica do sêmen de um doador, que fica preservado em azoto líquido, contido em um criotubo a -196°C , e que, após ser processado, é colocado dentro do colo do útero, próximo ao momento da ovulação.

Com base nessa informação, determine a temperatura, referida no texto, em que o sêmen fica preservado, na escala Fahrenheit.

Questão 06 - (UEA AM) Ao analisar por 32 anos as temperaturas da superfície global registradas por satélites, os cientistas encontraram o ponto mais frio da Terra. Eles descobriram que, em agosto de 2010, em um cume no Planalto do Leste da Antártica, a temperatura atingiu -136°F . (<http://oglobo.globo.com>. Adaptado.)

Se registrada por um termômetro graduado na escala Celsius, essa temperatura corresponderia, aproximadamente, a:

- a) -93 .
- b) -70 .
- c) -57 .
- d) -36 .
- e) -18 .

ATIVIDADE 4

Como vimos anteriormente, um dos parâmetros que os meteorologistas usam na previsão do tempo de determinada região é a **pressão atmosférica**. Vamos entender melhor o conceito físico de **pressão**.

Quando discutimos os corpos rígidos, estamos interessados em concentrações de matéria como blocos de madeira, bolas de tênis ou barras de metal. As grandezas físicas que utilizamos nesse caso e em termos das quais expressamos as leis de Newton são a *massa* e a *força*. Podemos falar, por exemplo, de um bloco de 3,6 kg submetido a uma força de 25 N.

No caso dos fluidos (líquidos e gases), estamos mais interessados em substâncias sem uma forma definida e em propriedades que podem variar de um ponto a outro da substância. Nesse caso, é mais útil falar em **massa específica** e **pressão** do que em massa e força [Haliday; Resnick; Waker 2009].

Pressão

Segure seu lápis, ou caneta, entre seu polegar e o dedo mindinho e aperte-o levemente. Onde a força feita pela caneta sobre o dedo é maior? Sobre o polegar ou mindinho? Se recordarmos da terceira lei de Newton, concluiremos que essas forças devem apresentar o mesmo módulo. Então, por que sentimos que a força sobre um dos dedos é maior?

Nesse caso, o que importa não é apenas o valor da força aplicada sobre o dedo, mas também como ela é distribuída sobre uma determinada área. Quanto menor é a área, mais “concentrada” será a distribuição dessa força e, ao contrário, quanto maior a área de aplicação, menos “concentrada” será. A grandeza física que nos diz essa distribuição da força em uma determinada área é denominada **pressão**, definida por:

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

Na fórmula, F indica o módulo da força, A indica a área e P a pressão. No **Sistema Internacional de Unidades**, a pressão é medida por **Newton por metro quadrado (N/m²)**, que recebe o nome especial de **Pascal (Pa)**.

Alguns valores de pressão:

	Pressão (Pa)
Centro do sol	2×10^{16}
Centro da Terra	4×10^{11}
Maior pressão constante em laboratório	$1,5 \times 10^{10}$
Maior fossa oceânica (no fundo)	$1,1 \times 10^8$
Salto agulha em uma pista de dança	10^6
Pneu de automóvel*	2×10^5
Atmosfera ao nível do mar	$1,0 \times 10^5$
Pressão arterial sistólica normal*	$1,6 \times 10^4$
Melhor vácuo obtido em laboratório	10^{-12}

*acima da pressão atmosférica

Tabela 7.1 Valores de pressão [Haliday; Resnick; Waker 2009]

Outras unidades:

$$1 \text{ atm} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ torr} = 14,7 \text{ lb/in}^2$$

“A atmosfera (atm) é, como indica, a pressão média aproximada da atmosfera ao nível do mar. O torr (nome dado em homenagem a Evangelista Torricelli, que inventou o barômetro de mercúrio em 1674) já foi chamado de milímetro de mercúrio (mm Hg). A abreviação de libra por metro quadrado é psi (do inglês pound per square inch).” [Haliday; Resnick; Waker 2009]

Nas atividades práticas sugeridas ao final da atividade , entenderemos melhor a ideia de pressão atmosférica.

Massa específica

“O ferro é mais pesado do que a madeira? A questão é ambígua, pois depende da quantidade de ferro e de madeira. Um grande cepo de madeira é claramente mais pesado do que um percevejo de ferro. Uma questão melhor formulada indagaria se o ferro é mais denso do que a madeira, para a qual a resposta é sim. O ferro é mais denso do que a madeira.” [Hewitt 2015]

A massa específica (ou densidade) de um corpo mede qual é a distribuição espacial de matéria que ele apresenta. Isto é, se a matéria está mais compactada ou mais rarefeita. É calculada pela relação:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Na fórmula, ρ , m e v são, respectivamente, a massa específica, a massa e o volume do corpo. No **Sistema Internacional de Unidades**, a massa específica é medida em kg/m^3 .

Alguns valores de massa específica

Substância ou Objeto	Massa Específica (kg/m^3)
Espaço interestelar	10^{-20}
Melhor Vácuo em laboratório	10^{-17}
Ar:	
20°C e 1 atm de pressão	1,21
20°C e 50 atm	60,5
Isopor	1×10^2
Gelo	$0,917 \times 10^3$
Água	
20°C e 1 atm	$0,998 \times 10^3$
20°C e 50 atm	$1,000 \times 10^3$
Água do mar:	
20°C e 50 atm	$1,024 \times 10^3$
Sangue	$1,060 \times 10^3$
Ferro	$7,9 \times 10^3$
Mercúrio (metal, não o planeta)	$13,6 \times 10^3$
Terra: média	$5,5 \times 10^3$
núcleo	$9,5 \times 10^3$
crosta	$2,8 \times 10^3$
Sol: média	$1,4 \times 10^3$
Núcleo	$1,6 \times 10^5$
Anã branca (núcleo)	3×10^7
Estrela de nêutrons (núcleo)	10^{18}

Tabela 7.2 Valores de massa específica [Haliday; Resnick; Waker 2009].

Exemplo:

Uma sala tem 4,2 m de comprimento, 3,5 m de largura e 2,4 m de altura [Haliday; Resnick; Waker 2009].

- a) Consultando a tabela de valores de massa específica, qual a massa e o peso do ar na sala se a pressão é 1 atm?
- b) Qual o módulo da força que a atmosfera exerce sobre o alto da cabeça de uma pessoa, que tem uma área da ordem de 0,040 m²?

Pressão em um líquido

“Quando você nada sob a água, pode sentir a pressão da água sobre os tímpanos de seus ouvidos. Quanto mais fundo você mergulha, maior torna-se a pressão. Qual a origem dessa pressão? Ela é simplesmente o peso dos fluidos que estão diretamente acima de você – água mais ar- e que o comprimem. Quando você mergulha mais fundo, mais água existe acima de você. Se você mergulha duas vezes mais fundo, existe um peso de água acima de você que é duas vezes maior, de modo que a contribuição da água para a pressão que você sente é dobrada. Como a pressão do ar próximo à superfície da Terra é aproximadamente constante, a pressão que você sente sob a água depende apenas da profundidade onde se encontra.

Se você submergisse em um líquido mais denso do que a água, a pressão correspondente seria maior”. [Hewitt 2015]

Percebe-se, então, que a pressão exercida por uma coluna de um fluido depende tanto da profundidade como da massa específica deste fluido. Matematicamente temos:

$$P = P_0 + \rho gh .$$

Por exemplo, se uma pessoa está mergulhando em um lago a uma profundidade h , ele estará submetido a uma pressão P , que é o resultado da pressão atmosférica naquele local, adicionada do termo ρgh , que corresponde à pressão exercida pelo líquido sobre ele.

Tente demonstrar essa relação!

Para refletir.

Certamente você ou alguém próximo, já aferiu a pressão arterial. O que significa dizer que a pressão de uma pessoa é, por exemplo, 12 por 8? Qual a posição em que deve ser colocado o esfigmomanômetro (instrumento que mede pressão)?

Atividade prática⁴ - Pressão e densidade do ar

Em grupo de 4 ou 5 alunos, leia o texto abaixo e realize os experimentos descritos.

Apresentação:

Como qualquer substância, o ar tem o seu próprio peso. A atmosfera tem mais de 600 km de espessura e o peso de todo esse ar pressiona a superfície da Terra. Essa força para baixo exercida pelo peso do ar é chamada de pressão. Essa pressão é chamada pressão atmosférica e sua unidade de medida é o Pascal. A pressão atmosférica não é constante, podendo variar no espaço e no tempo, e depende também da densidade do ar. Em regiões onde a coluna de ar é densa, a pressão atmosférica na superfície é alta. Já em regiões onde a coluna de ar é rarefeita, a pressão atmosférica na superfície é baixa. Por exemplo, ao nível do mar, onde a massa atmosférica é grande, a pressão atmosférica é maior do que a registrada em uma região montanhosa na mesma latitude. Com isso concluímos que a pressão atmosférica varia com a altitude. Outro fato relevante é que 50% do total da massa atmosférica está concentrado nos primeiros 5 km. O calor faz as moléculas do ar se afastarem e, assim, o ar fica menos denso. Quando acontece o resfriamento do ar, o efeito é contrário, tornando o ar mais denso e mais pesado. Dessa forma, massas de ar de temperaturas diferentes têm densidades (pesos) diferentes e por isso exercem também um valor de pressão diferente. O ar se movimenta de regiões com alta pressão para regiões com baixa pressão.

Objetivos:

- Demonstrar que o ar tem peso e densidade, e que exerce pressão.
- Demonstrar os efeitos das mudanças de temperatura na pressão do ar.

⁴ Retirada da obra *Explorando o Ensino – Mudanças Climáticas* [Oliveira; Silva; Henriques 2009]. Autores: Giovanni Dolif Neto (INPE) e Marcos Barbosa Sanches (INPE).

Sugestão de problematização:

Dois corpos podem ocupar o mesmo lugar no espaço? O ar pode ser infinitamente comprimido? Como ocorre a expansão do ar?

Materiais:

Experimento 1:

- 1 balão inflável;
- 1 garrafa PET.

Experimento 2:

- 1 balão inflável;
- 1 garrafa PET, pré-gelada no congelador por uma hora;
- 1 jarra de água morna;
- 1 bacia de plástico de tamanho médio.



Figura 7.7 Materiais do experimento 1 e 2

Procedimentos:

Experimento 1:

- Aperte a garrafa e coloque o balão dentro da garrafa, prendendo a boca do balão na boca da garrafa.
- Solte as laterais da garrafa. O balão irá inflar à medida que a garrafa encher de ar. Se apertarmos a garrafa de novo, o balão irá murchar novamente.



Figura 7.8 Procedimentos do experimento 1

Experimento 2:

- Coloque a garrafa de plástico no congelador por cerca de uma hora.
- Retire do congelador e coloque o balão inflável na boca da garrafa, com a parte inflável para fora da garrafa.
- Preencha a bacia com água morna e coloque a garrafa dentro.
- Registre o que ocorreu.
- O aquecimento do ar dentro da garrafa provoca a sua expansão, forçando o ar a sair pela boca da garrafa, o que acaba enchendo o balão inflável.



Figura 7.9 Procedimentos do experimento 2

Orientações complementares:

Um paralelo que se pode traçar para entender melhor a relação “diferença de pressão e vento” é o mecanismo da respiração humana. Para que possamos inspirar, a caixa torácica se expande pela movimentação das costelas e do diafragma. Esse aumento do volume dos pulmões faz a pressão diminuir dentro dele, resultando em uma pressão menor do que a pressão fora do corpo; então, o fluxo do ar é como o vento, que sopra de uma região de alta pressão para uma

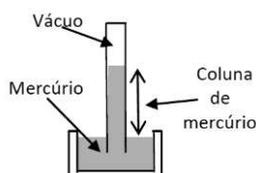
região de baixa pressão, que são seus pulmões. No experimento 2, o aquecimento fez com que as moléculas de ar se movessem mais rapidamente, aumentando a distância entre elas, determinando a expansão, pois assim ocupam um volume maior. Em outras palavras, o ar se expande quando é aquecido e se contrai quando é resfriado, demonstrando que a densidade muda.

Possíveis desdobramentos:

Entender o funcionamento de um barômetro (aparelho medidor de pressão).

Treinando para o vestibular

1 (UNIFOR CE/2015) A pressão atmosférica é a força por unidade de área exercida pela atmosfera da Terra. Para medir a pressão atmosférica utilizou-se um instrumento chamado barômetro de mercúrio, cujo diagrama está representado pela figura abaixo. Considere a densidade do mercúrio, constante, $\rho = 13,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ e a altura da coluna de mercúrio 760,0 mm. O valor aproximado da pressão atmosférica no sistema internacional de unidades, ao nível do mar, é: (Adote a aceleração da gravidade $g = 10,0 \text{ m/s}^2$)



- a) $1,03 \times 10^4 \text{ Pa}$
- b) $2,06 \times 10^4 \text{ Pa}$
- c) $1,03 \times 10^5 \text{ Pa}$
- d) $2,06 \times 10^5 \text{ Pa}$
- e) $1,03 \times 10^3 \text{ Pa}$

2 (ENEM/2014) Em um experimento, foram separados três recipientes A, B e C, contendo 200 mL de líquidos distintos: o recipiente A continha água, com

densidade de 1,00 g/mL; o recipiente B, álcool etílico, com densidade de 0,79 g/mL; e o recipiente C, clorofórmio, com densidade de 1,48 g/mL. Em cada um desses recipientes foi adicionada uma pedra de gelo, com densidade próxima a 0,90 g/mL.

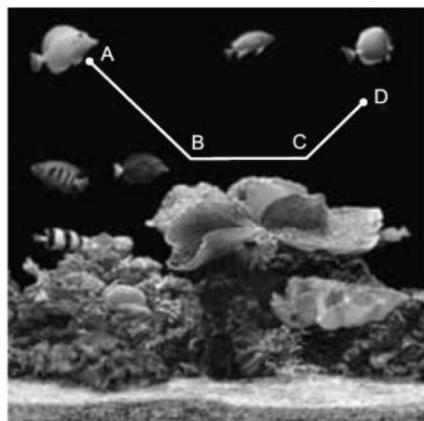
No experimento apresentado, observou-se que a pedra de gelo

- a) flutuou em A, flutuou em B e flutuou em C.
- b) flutuou em A, afundou em B e flutuou em C.
- c) afundou em A, afundou em B e flutuou em C.
- d) afundou em A, flutuou em B e afundou em C.
- e) flutuou e A, afundou em B e afundou em C.

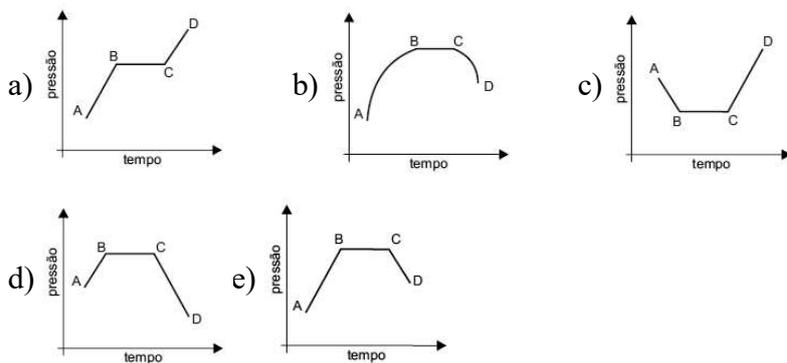
3 (PUC MG/2015) A densidade do óleo de soja usado na alimentação é de aproximadamente 0,80 g/cm³. O número de recipientes com o volume de 1 litro que se pode encher com 80 kg desse óleo é de:

- a) 100
- b) 20
- c) 500
- d) 50

4 (FAMEMA SP/2016) A figura mostra parte de um aquário no qual a água encontra-se parada. Nesse ambiente, o peixe amarelo movimenta-se do ponto A ao ponto D, segundo a trajetória ABCD representada pela linha branca.



Considerando a densidade da água constante ao longo de todo o trajeto, assinale a alternativa que indica corretamente o esboço do gráfico de como varia a pressão sobre o peixe amarelo, em função do tempo, nesse deslocamento.



5 (UNCISAL/2016) Em 12 de agosto de 2000, o mundo acompanhou o drama de 118 marinheiros russos que estavam presos no interior de um submarino nuclear naufragado, o Kursk. O que se sabe é que duas explosões de causa ainda desconhecida fizeram com que o Kursk afundasse nas águas geladas do Mar Barents, a 100 metros de profundidade. (<http://veja.abril.com.br/noticia/mundo>)

Considere que em um submarino a pressão do ar no interior seja igual à pressão atmosférica. Considere também que esse submarino possui uma escotilha de observação plana, transparente e circular, com diâmetro de 20,0 cm. Assumindo que a densidade da água é 1000 kg/m^3 , a aceleração da gravidade é igual a $9,8 \text{ m/s}^2$, $\pi = 3,14$ e que a pressão atmosférica é $1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$, qual é, na profundidade mencionada no texto, a força resultante sobre a escotilha de observação?

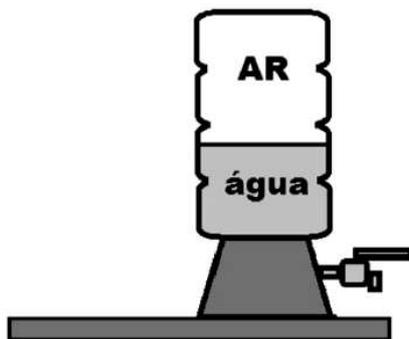
- a) $33,9 \times 10^7 \text{ N}$.
- b) $30,8 \times 10^7 \text{ N}$.
- c) $12,3 \times 10^4 \text{ N}$.
- d) $33,9 \times 10^3 \text{ N}$.
- e) $30,8 \times 10^3 \text{ N}$.

6 (IFPE/2015) No primeiro semestre de cada ano, o IFPE faz uma campanha de vacinação para os professores, alunos e servidores administrativos, com o objetivo de imunizar contra várias doenças. A aplicação da vacina é simples. Com uma seringa é exercida uma força de 2,0N perpendicular ao braço,

atingindo uma área de $0,08 \text{ mm}^2$. A pressão exercida pela força, na área de contato entre a ponta da agulha e o braço vale, em 10^6 Pa :

- a) 16 b) 25 c) 36 d) 40 e) 56

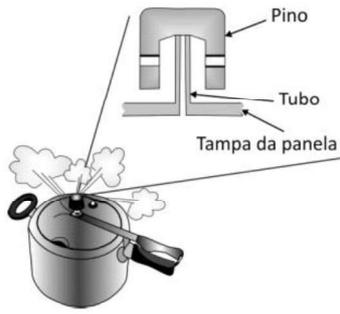
7 (CEFET MG/2015) A imagem abaixo representa um bebedouro composto por uma base que contém uma torneira e acima um garrafão com água e ar.



A pressão exercida pela água sobre a torneira, quando ela está fechada, depende diretamente da (o)

- a) diâmetro do cano da torneira.
b) massa de água contida no garrafão.
c) altura de água em relação à torneira.
d) volume de água contido no garrafão.

8 (FUVEST SP/2015) Para impedir que a pressão interna de uma panela de pressão ultrapasse um certo valor, em sua tampa há um dispositivo formado por um pino acoplado a um tubo cilíndrico, como esquematizado na figura abaixo. Enquanto a força resultante sobre o pino for dirigida para baixo, a panela está perfeitamente vedada. Considere o diâmetro interno do tubo cilíndrico igual a 4 mm e a massa do pino igual a 48 g . Na situação em que apenas a força gravitacional, a pressão atmosférica e a exercida pelos gases na panela atuam no pino, a pressão absoluta máxima no interior da panela é



Note e adote:

$$\pi = 3$$

$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\text{aceleração local da gravidade} = 10 \text{ m/s}^2$$

- a) 1,1 atm
- b) 1,2 atm
- c) 1,4 atm
- d) 1,8 atm
- e) 2,2 atm

9 (UEG GO/2015) A pressão atmosférica no nível do mar vale 1,0 atm. Se uma pessoa que estiver nesse nível mergulhar 1,5 m em uma piscina estará submetida a um aumento de pressão da ordem de

- a) 25%
- b) 20%
- c) 15%
- d) 10%

ATIVIDADE 5

Por que o feijão cozinha mais rápido em uma panela de pressão?

Na atividade três, comentamos que a temperatura é uma grandeza física usada para denunciar quando dois corpos estão ou não em equilíbrio térmico, ou seja, quando valores de grandezas como comprimento, área, volume, pressão, etc. não sofrem alterações quando corpos estão em contato térmico. Essa noção é a visão macroscópica da temperatura. Até aqui, em momento algum havíamos nos preocupado com os constituintes da matéria.

Como você já deve ter visto nas aulas de Química, os questionamentos do que é feito a matéria permeia a mente da humanidade desde os tempos de Leucipo e Demócrito. Vários modelos científicos foram elaborados ao longo dos séculos, até chegarmos ao que se conhece hoje como a hipótese atômica. Segundo o renomado físico Richard Feynman:

“Se, em algum cataclismo, todo o conhecimento científico fosse destruído e apenas uma sentença fosse passada adiante para as próximas gerações de criaturas, que enunciado conteria mais informações em menos palavras? Acredito que seja a hipótese atômica (ou fato atômico, ou como quiser chamá-lo) de que todas as coisas compõem-se de átomos - pequenas partículas que deslocam em movimento perpétuo, atraindo umas às outras quando estão a certa distância, mas repelindo-se quando comprimidas umas contra as outras. Nessa única sentença, você verá, existe uma enorme quantidade de informação sobre o mundo, bastando que apliquemos um pouco de imaginação e raciocínio.” [Feynman 2001]

O modelo de Rutherford–Bohr prevê que os átomos são constituídos por um núcleo, onde constam as partículas prótons e nêutrons, e uma região denominada eletrosfera, onde constam os elétrons. Devido a interações elétricas, os átomos ligam-se uns aos outros, formando moléculas.

Microscopicamente, podemos interpretar a temperatura como sendo a energia cinética média das moléculas que constituem um corpo, isto é, o nível de agitação destas moléculas. Quanto maior for a temperatura, mais as moléculas estarão agitadas, e o oposto, quanto menor a temperatura, menos agitadas estarão.

Essa interpretação pode ser usada também para entendermos os estados físicos da matéria.

“No estado sólido, as moléculas constituintes da matéria interagem por meio de intensas forças de coesão, o que explica seu baixo grau de agitação térmica. Por isso, uma substância no estado sólido apresenta forma e volume bem definidos.” [Torres; Soares; Pentead 2001]

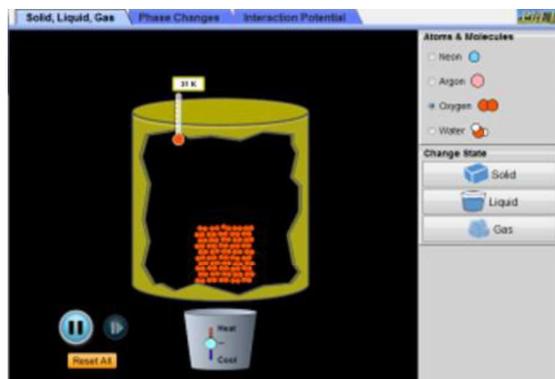


Figura 7.10 Simulação do software phet sobre estados da matéria - estado sólido da molécula O_2 (fora de escala e cores fantasia) [Reprodução]

“No estado líquido, as moléculas têm maior grau de agitação térmica e, portanto, maior mobilidade, pois as forças de coesão não são tão intensas como no estado sólido. Em consequência disso, embora o volume seja bem definido, os líquidos não apresentam forma definida, adquirindo a forma do recipiente que os contém.” [Torres; Soares; Pentead 2001]

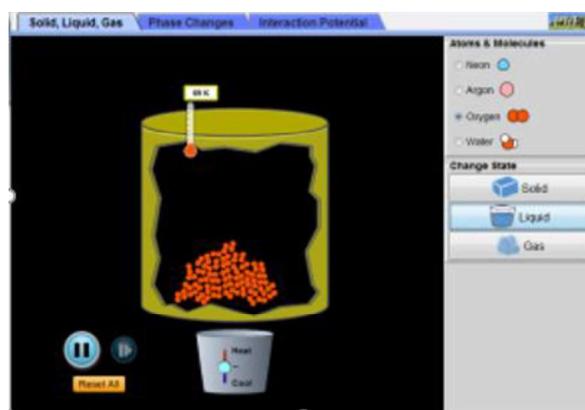


Figura 7.11 Simulação do software phet sobre estados da matéria - estado líquido da molécula O_2 (fora de escala e cores fantasia) [Reprodução]

“No estado gasoso, as forças de coesão entre as moléculas são pouco intensas, o que determina um alto grau de agitação térmica molecular. É por essa razão que, nesse estado, as substâncias não apresentam forma nem volume definidos, adaptando-se ao formato e ocupando todo o volume do recipiente que as contém.” [Torres; Soares; Pentead 2001]

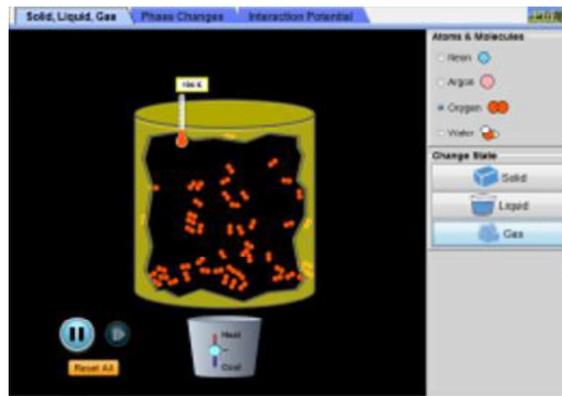


Figura 7.12 Simulação do software phet sobre estados da matéria – estado gasoso da molécula O₂ (fora de escala e cores fantasia) [Reprodução]

O estado físico de uma substância, bem como os processos de mudança de estado, depende tanto da temperatura como da **pressão** exercida sobre ela, uma vez que essa influencia a força de coesão entre as moléculas que constituem a matéria. Por exemplo, na escala Celsius, atribui-se o valor 100° C à temperatura da água em ebulição. “Porém, será que a água sempre ferve à mesma temperatura? Há algum fator que altere isso?” [Gref 1998]

A água só entrará em ebulição a 100 °C se a pressão exercida sobre ela for de 1 atm, ou seja, se estivermos ao nível do mar. Se estivermos a uma altitude mais elevada, a camada de atmosfera acima de nós será menor, conseqüentemente a pressão será menor do que 1 atm e, assim, as moléculas de água precisarão de menos energia para evaporar.

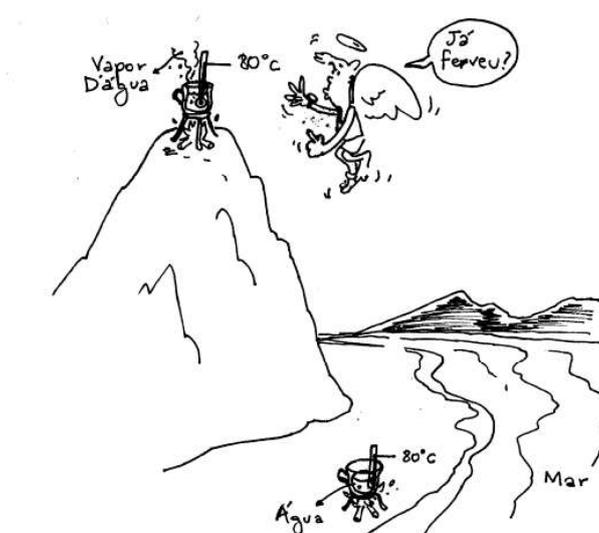


Figura 7.13 Ponto de ebulição da água [Gref 1998]

Na tabela abaixo consta algumas cidades, suas respectivas altitudes, pressões atmosféricas e pontos de ebulição da água.

Cidade	Altitude (m)	Pressão atmosférica (mmHg)	Ponto de ebulição da água (°C)
Rio de Janeiro	0	760	97
Brasília	1 000	752	96
Manizales (Colômbia)	2 150	607	93
La Paz (Bolívia)	3 640	478	90
Zermatt (Suíça)	4 000	462	86
Monte Everest	8 848	231	72

Tabela 7.3 Ponto de ebulição da água em diferentes cidades [Máximo; Alvarenga; Guimarães 2017]

Relembrando as unidades de pressão

“Ao nível do mar a pressão atmosférica assume seu valor máximo pois a espessura da camada de ar é a maior possível (a pressão é de 1 atmosfera). Nesse nível, a pressão do ar equilibra uma coluna de mercúrio de 76 cm contido num tubo de 1 cm² de área de secção; isto foi concluído pelo físico Torricelli.” [Gref 1998]

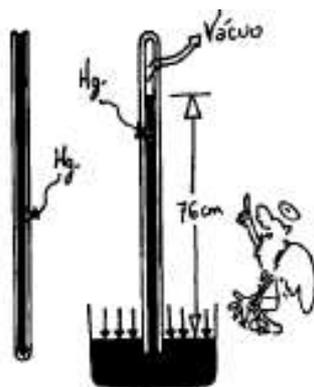


Figura 7.14: Pressão ao nível do mar

Cabem aqui dois questionamentos:

Por que embora o Rio de Janeiro esteja ao nível do mar, o ponto de ebulição da água não é de 100 °C?

“Sabemos que à pressão atmosférica, a água vaporiza na temperatura de 100 graus Celsius. Então por que a água da superfície de um lago vaporiza se está à temperatura ambiente?” [Silveira 2016]

A figura abaixo indica os processos de mudança dos estados físicos sólido, líquido e gasoso:

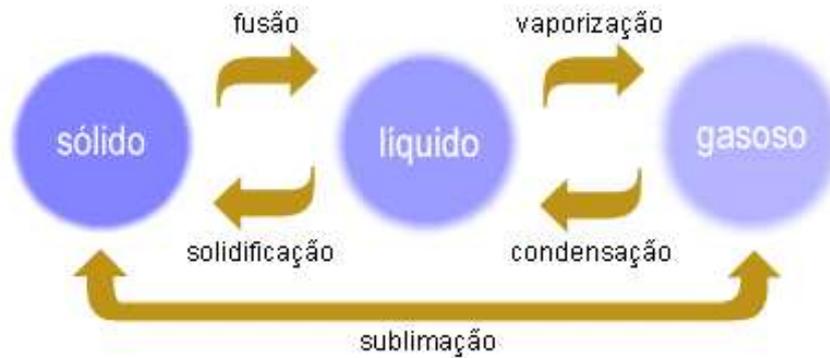


Figura 7.15 Mudança dos estados físicos ⁵

A seguir são descritas algumas características desses processos, para os quais o principal referencial utilizado foi a obra *Física Conceitual*, de autoria do professor estadunidense Paul G. Hewitt.

O processo de **vaporização** pode ocorrer por ebulição ou evaporação.

Evaporação

“Se você deixar um recipiente com água, aberto, observará sua evaporação. Isto ocorre pois as moléculas de água estão em constante agitação e colidem umas contra as outras. Nestas colisões algumas moléculas adquirem mais energia cinética do que as outras. Algumas daquelas que estão na superfície, ou seja, na interface água-ar, podem possuir energia suficiente para deixar o ‘corpo líquido’, ou seja, evaporam”. [Hewitt 2015]

Se as moléculas que evaporam eram aquelas com maior energia cinética, então no processo de evaporação há um resfriamento do líquido, uma vez que as moléculas que ficaram são as com menos energia. Você pode notar o efeito do resfriamento da evaporação molhando sua pele com um pouco de álcool [Hewitt 2015].

Quando nossos corpos estão superaquecidos, as glândulas sudoríparas produzem a transpiração. Isso faz parte do termostato da natureza, pois a evaporação do suor nos resfria e ajuda-nos a manter uma temperatura corporal estável. Muitos animais não possuem glândulas sudoríparas e precisam se resfriar por outras maneiras.

“Por exemplo, os porcos não as possuem, então não se resfriam através da evaporação do suor. Em vez disso, eles tratam de chafurdar na lama. Hanz (uma raça de cachorro) também não as possuem (a não ser entre os dedos). Ele se resfria através de sua

⁵ <http://www.sobiologia.com.br>

respiração. Dessa maneira, a evaporação ocorre pela boca e no interior do tubo bronquial.” [Hewitt 2015]

Ebulição

“Sob certas condições, a evaporação pode ocorrer abaixo da superfície de um líquido, formando bolhas de vapor que são empurradas para a superfície pelo empuxo, onde escapam. Essa mudança de fase, que ocorre ao longo de todo o líquido ao invés de apenas na superfície, é chamada **ebulição**. Só podem se formar bolhas dentro do líquido quando a pressão de vapor no interior da bolha for suficientemente grande para resistir à pressão exercida sobre ela pelo líquido circundante” [Hewitt 2015]

Assim, quanto maior for a pressão exercida ao líquido, mais energia devemos fornecer para que as bolhas consigam ser formadas. É justamente essa a resposta à pergunta que abre esta atividade “**por que o feijão cozinha mais rápido em uma panela de pressão?**”

Uma vez que a pressão no interior da panela é maior, cerca de 2 atm, a água entra em ebulição a uma temperatura mais elevada, em torno de 120 °C. É por isso os alimentos cozinham mais rápido.

Assim como a evaporação, a ebulição consiste em um processo de resfriamento. O que é muito contra intuitivo. Observe, se não houvesse o processo de ebulição a temperatura da água continuaria a subir.

Mas você poderia perguntar: “uma vez que a ebulição é um processo de resfriamento, seria uma boa ideia tentar esfriar suas mãos quentes e úmidas mergulhando-as em água fervente?”

“**Não, não, não!** Quando dizemos que a ebulição é um processo de resfriamento, isso significa que a água (e não suas mãos!) está sendo resfriada em relação às temperaturas mais elevadas que ela alcançaria de outra maneira. Devido ao resfriamento, ela se mantém a 100 °C, em vez de tornar-se mais quente. Mergulhar suas mãos na água a 100° C seria certamente muito desconfortável!” [Hewitt 2015, grifo meu]

Esses dois processos, evaporação e ebulição, são bastante notórios no nosso cotidiano. Um menos óbvio é a evaporação do gelo. As moléculas de H₂O podem passar do estado sólido direto para o gasoso, sem passar pelo líquido. Esse fenômeno é denominado **sublimação**. No artigo *Um tema negligenciado em textos de Física geral: a vaporização da água*, publicado na revista *Física na*

Escola, de autoria de Fernando Lang da Silveira, são descritas algumas situações que ilustram esse fato [Silveira 2016]. A sublimação também está relacionada à **liofilização de alimentos**. Pesquise sobre esse assunto.

Condensação

O processo de condensação é justamente o oposto da vaporização, e ocorre quando a matéria no estado gasoso transforma-se em líquido. Se por um lado na vaporização as moléculas saem do “corpo líquido”, na condensação estas são agregadas a ele. Enquanto a vaporização é um processo de resfriamento, a condensação é um processo de aquecimento.

Um exemplo notável do aquecimento resultante da condensação é a energia liberada pelo vapor quando ele se condensa - uma experiência dolorosa se ele se condensar sobre sua pele. É por isto que o vapor de água quente queima a pele mais danosamente do que a água fervendo na mesma temperatura: porque o vapor libera uma quantidade considerável de energia quando se condensa e umedece a pele. Essa energia liberada pela condensação é usada em sistemas de aquecimento [Hewitt 2015].

As sensações de “calor” ou “frio” que sentimos estão diretamente relacionadas às taxas de evaporação ou condensação sobre sua pele. Se essas taxas se igualam, você não sente qualquer alteração de sua temperatura corpórea; se a taxa de evaporação for maior, a sensação é de frio; e, por último, se a taxa de condensação for maior, a sensação é de calor. Pense nas sensações que você experimenta quando sai de um banho quente.

Condensação na atmosfera

O grau de umidade do ar está relacionado com a quantidade de água, no estado gasoso, presente na atmosfera.

Quando você vê em um telejornal a previsão, ou explicação, sobre o tempo e o repórter diz, por exemplo, que a umidade relativa do ar é de 60%, o que isso quer dizer? Que 60 % da composição do ar é feita de água? Não! Na verdade apenas cerca de 0,001% da atmosfera é composta de vapor d'água [Oliveira; Silva; Henriques 2009]. Vejamos:

O ar atmosférico é uma mistura de gases, vapores e até de gotículas de líquido que ele contém em suspensão. Com relação aos gases e vapores, essa mistura consiste de aproximadamente 80 % de nitrogênio, 18% de oxigênio, pequenas quantidades de anidrido

carbônico (composto binário de oxigênio e outro elemento que, ao reagir com a água, produz ácidos) e vapor de água

O ar úmido não é composto, como talvez fosse razoável presumir, de gotículas de água em suspensão no gás. Essa situação existe e um bom exemplo disso é a neblina, assim como a 'fumaça' que se forma em uma sauna a vapor.

Quando essa observação é possível, estamos diante de minúsculas gotas de água líquida (vapor condensado) misturas no ar, que é também o que se observa nas nuvens. Nessas situações, o que vemos não é vapor de água, pois o vapor é invisível.

Como a atmosfera é constituída por uma mistura de gases e vapores, esse conjunto exerce uma pressão total, resultante da soma das pressões parciais dos gases e vapores que compõe a mistura. A pressão parcial, exercida pelo vapor de água, é, evidentemente, menor ou igual à pressão de saturação na temperatura ambiente.

Assim, temos a umidade relativa h , que é a razão entre a pressão parcial de vapor de água P_v e a pressão de saturação do vapor de água nessa temperatura P_s . Tratando-se de uma grandeza adimensional e menor ou igual à unidade, normalmente a expressamos em porcentagem. Algebricamente, temos

$$h = \frac{P_v}{P_s}$$

Vemos que a grandeza h nos indica, percentualmente, a fração em que se encontra o vapor do ponto de saturação.

A umidade do ar é medida por meio de um aparelho chamado **higrômetro**.

Um dos higrômetros mais antigos e conhecidos tem como elemento fundamental um fio de cabelo. O fio de cabelo, sob presença de vapor de água, fica mais dúctil (observe como nossos cabelos ficam mais macios em dias úmidos), como se fosse uma mola cuja constante elástica houvesse diminuído. Deixando-se o fio sob ação de uma força constante, exercida, por exemplo, por um pequeno corpo de peso p que o traciona, quanto maior for a umidade, maior será seu comprimento, e podemos assim construir uma escala de umidade". [Guimarães; Piqueira; Carron 2016]

Exemplo:

Em uma sala a 20°C, a pressão parcial do vapor de água é 12,25 mmHg. Nessa temperatura, a pressão de saturação é 17,5 mmHg

Qual é a umidade relativa nesse local?

Se a temperatura da sala for baixada para 10 °C, e a pressão de saturação passa a ser 8,94 mmHg, qual será a nova umidade? [Guimarães, Piqueira; Carron 2016] .

Fusão e congelamento

De forma análoga aos outros processos, na fusão e na solidificação (ou congelamento) a pressão influencia a temperatura que eles ocorrem. No entanto, há uma particularidade, pois no caso da fusão devemos considerar dois grupos:

- Substâncias que se dilatam com a fusão (maioria das substâncias). Nesse caso, o aumento da pressão provoca o aumento na temperatura em que ocorre a fusão.
- Substâncias que se contraem com a fusão (água, bismuto, ferro e antimônio). Nesse caso, o aumento da pressão externa reduz a temperatura do ponto de fusão.

A partir destas considerações tente explicar o experimento apresentado no pátio da escola.

Obs: para o professor:

A atividade mencionada consiste na experiência do regelo.

Para realizar essa experiência, encha uma garrafa pet de 2 litros e a congele. Com um estilete, corte o plástico da garrafa, para obter um bloco de gelo. Pegue então dois tijolos e um pedaço de arame. O tamanho do arame deve ser suficiente para que em suas extremidades sejam enrolados os dois tijolos, e também para envolver o bloco de gelo.

Com um suporte adequado, duas mesas ou cadeiras, por exemplo, apoie o bloco de gelo e, na região central desse, posicione o arame com os tijolos.

Após algumas horas, o arame atravessará o bloco de gelo, porém ele não se parte.

Como é um experimento que demora muito, o ideal é apresentá-lo no pátio da escola.

ATIVIDADE 6

Calor e temperatura são a mesma coisa?

As palavras quente, frio e calor são bastante presentes em várias expressões ditas em nosso cotidiano. Você consegue lembrar-se de alguma?

A questão é: calor é sinônimo de temperatura?

Veja como essa questão aparece no Exame Nacional do Ensino Médio:

(ENEM -2010) Em nosso cotidiano, utilizamos as palavras “calor” e “temperatura” de forma diferente de como elas são usadas no meio científico. Na linguagem corrente, calor é identificado como “algo quente” e “temperatura” mede a “quantidade de calor de um corpo”. Esses significados, no entanto, não conseguem explicar diversas situações que podem ser verificadas na prática. Do ponto de vista científico, que situações prática mostram a limitações dos conceitos corriqueiros de calor e temperatura?

- (a) A temperatura da água pode ficar constante durante o tempo em que estiver fervendo.
- (b) Uma mãe coloca a mão na água da banheira do bebê para verificar a temperatura da água.
- (c) A chama de um fogão pode ser usada para aumentar a temperatura da água em uma panela.
- (d) A água quente que está em uma caneca é passada para outra caneca a fim de diminuir sua temperatura.
- (e) Um forno pode fornecer calor para uma vasilha de água que está em seu interior com menor temperatura do que a dele.

Afinal qual a diferença?

Relembremos novamente que o conceito de temperatura está relacionado ao conceito de equilíbrio térmico; as sensações corpóreas de quente e frio são uma grandeza física que são aferidas utilizando um termômetro. Microscopicamente, a temperatura reflete o grau de agitação das moléculas de um corpo.

Ocorre que, usando apenas esse conceito, é impossível explicar alguns fenômenos térmicos relativamente simples. Por exemplo, quando se aquece uma certa porção de água pura (experimentalmente o mais próximo disso é a água tri destilada), observa-se, num primeiro intervalo de tempo, que a temperatura da água começa a subir. Poderíamos então concluir que

temperatura (ou como é dito em algumas regiões brasileira a “quentura”) da fonte térmica, está passando para a água. No entanto, quando a água atinge seu ponto de ebulição, a temperatura mantém-se constante até que toda água evapore. Apenas quando toda água evaporar é que a temperatura começa a subir novamente.

Surge então uma pergunta: se o recipiente com água estava o tempo todo em contato com a fonte térmica, como essa “quentura” passava para a água num primeiro momento, depois deixava de passar e finalmente voltava a passar novamente?

Para responder a essa questão, os cientistas do século XVIII criaram o conceito de calor. Inicialmente, a concepção era de que o calor fosse uma espécie de substância denominada calórico. Acreditava-se, então, que um corpo quente tinha muito *calórico*, enquanto um corpo frio possuía pouco.

Quando os dois corpos eram postos em contato, havia um fluxo de calórico entre eles até que se igulassem, quando o fluxo cessava. Definiu-se o conceito de *caloria*, como unidade de calor, onde

1 CALORIA = QUANTIDADE DE CALOR NECESSÁRIA PARA ELEVAR A TEMPERATURA UM GRAMA DE ÁGUA DE 14,5° C PARA 15,5° C.

Certamente você já escutou esta palavra: “caloria”. Se não, observe o rótulo de algum alimento industrializado. Mas, como isso está relacionado com o conceito de calor, dentro desse escopo da termodinâmica?

A energia dos alimentos.

A quantidade de energia contida em um alimento é medida através da energia obtida pela sua queima. Se queirmos a mesma quantidade de pão e amendoim para aquecermos uma mesma quantidade de água, ao medirmos a temperatura da água no final da queima, perceberemos que ela ficará mais aquecida quando utilizamos o amendoim como combustível.

O amendoim libera mais energia na queima por ser constituído de menor quantidade de água e por possuir substâncias mais calóricas que o pão.

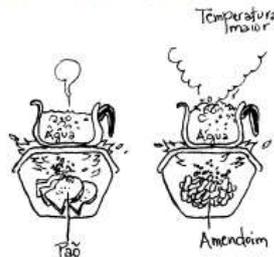


Figura 7.16A energia dos alimentos [Gref 1998]

Por exemplo, se após a queima de uma porção de amendoim, 200 g de água, passe de 15 °C para 18 ° C, quantas calorias tinha esse alimento?

Essa concepção de calórico foi questionada quando Conde Rumford (1753 – 1814) estava analisando a fabricação de canhões. Ele observou que o atrito entre peças de metal fazia com que a temperatura aumentasse indefinidamente, o que não concordava com a ideia de calórico, pois a quantidade de calórico que os corpos eram limitadas.

Se o calor não pode ser considerado um fluido que é transferido de corpo para corpo, o que ele é afinal?

Suspeitou-se então de que ele seria uma forma de energia. Porém, na Física, se algo está relacionado com o conceito de energia, deve estar relacionado também com o conceito de trabalho realizado por uma força. Quem primeiro conseguiu estabelecer essa relação foi o físico [James Prescott Joule](#). Para isso, ele construiu um recipiente termicamente isolado contendo água e um sistema de pás girantes. As pás deste equipamento giravam quando um corpo de massa conhecida caía de uma determinada altura com velocidade constante. A agitação das pás provocava o aquecimento da água. Como se conhecia a massa, a altura e a aceleração da gravidade, era possível calcular o trabalho da força peso realizado sobre o corpo ($T=mgh$). O que Joule descobriu, após a

repetição sistemática desse experimento, foi que havia uma correspondência entre o trabalho realizado pela força peso e a quantidade de calor necessárias para aquecer aquela quantidade de água. A relação encontrada foi:

$$1 \text{ cal} = 4,182 \text{ J (aproximadamente)}$$

Concluiu-se, então, que o calor é uma forma de energia. Para ser mais preciso, consideramos que o **calor é uma forma de transferência de energia, não mecânica, que ocorre de forma espontânea quando há uma diferença de temperatura.**

O processo inverso, no qual se pode usar calor para realizar trabalho, será discutido posteriormente.

Cabe lembrar que energia pode ser transferida também por meio de trabalho realizado por uma força e que esses conceitos, calor e trabalho, não são uma propriedade de um corpo, diferente do comprimento ou a temperatura. Assim, o que há de errado, do ponto de vista físico, com a expressão “estou com calor?”. Para ajudar na elaboração da resposta, pense na seguinte analogia:

“Uma transferência de R\$ 600,00, pode ser usada para descrever a transferência de dinheiro de uma conta bancária para outra, mas não para informar o saldo de uma conta, já que o que se guarda, em uma conta é dinheiro, e não transferência. No caso do calor, é apropriado dizer: ‘Durante os últimos três minutos 15 J de calor foram transferidos do sistema para o ambiente’, ou ‘Durante o último minuto um trabalho de 12 J foi realizado pelo ambiente sobre o sistema’. Não faz sentido dizer: ‘Este sistema possui 450 J de calor’, ou ‘Este sistema contém 385 J de trabalho’.” [Haliday; Resnick, Waker 2009]

De forma mais esquemática

TEMPERATURA → ESTADO

CALOR → PROCESSO

Unidades

“Como foi exposto, a descoberta de calor é uma forma de energia trouxe consigo a relação de que 1 cal é aproximadamente 4,182 J. Outra unidade eventualmente usada é a Btu, do inglês **British thermal unit**, definida, de forma similar a caloria, como a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de 1 libra de água de 63 °F para 64 °F”. [Haliday; Resnick; Waker 2009]

A relação entre essas grandezas é:

$$1 \text{ cal} = 3,968 \times 10^{-3} \text{ Btu} = 4,1868 \text{ J}$$

Calorimetria – cálculo da quantidade de calor

Capacidade térmica

A capacidade térmica de um corpo é a razão entre a quantidade de calor transferida a ele, ou dele para o ambiente, e sua possível consequência imediata, a variação de temperatura. Matematicamente temos

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

Onde C indica a capacidade térmica do corpo, Q a quantidade de calor e Δt a variação de temperatura.

A unidade de medida de C depende das usadas no problema pode ser, por exemplo, cal/°C, J/K etc.

Devemos estar atentos a uma convenção de sinais para Q e Δt .

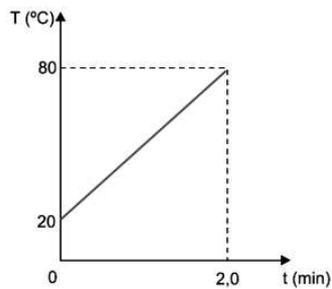
Se um corpo absorve calor temos: $Q > 0$ e $\Delta t > 0$.

Se um corpo cede calor temos: $Q < 0$ e $\Delta t < 0$.

Devemos tomar cuidado com os verbos “absorver” ou “ceder”, pois eles podem remeter àquela antiga noção de que calor é uma espécie de fluído e não um **processo** de transformação de energia. A própria expressão “Capacidade Térmica” pode induzir-nos a este erro. Usamos estas expressões por motivos históricos e por uma limitação de nossa linguagem.

Exemplo

(Centro Universitário de Franca SP/2016 - adaptado) O gráfico representa a variação da temperatura em função do tempo de uma amostra de água, ao receber certa quantidade de calor de uma fonte térmica, cuja potência é de 2 000 W. Despreze a perda de calor para o meio ambiente.



Calcule quantidade de calor, em calorias e em Joules, fornecida a amostra de água no intervalo de tempo de 2 min.

Calcule a capacidade térmica dessa amostra de água.

Calor específico

Corpos feitos do mesmo material devem apresentar capacidade térmica proporcional à sua massa. Por exemplo, se você deseja ferver água para preparar macarrão para 10 pessoas, certamente você deverá usar mais energia do que se fosse para duas pessoas [Gref 1998]. Assim é conveniente definir uma “**capacidade térmica por unidade de massa**”. A grandeza assim definida é chamada **calor específico**. Matematicamente temos:

$$c = \frac{C}{m}$$

Usando um pouco de álgebra, manipulando as duas últimas expressões podemos escrever também

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Onde “C” (maiúsculo) é a capacidade térmica, “c” (minúsculo) é o calor específico e “m” é a massa do objeto. O calor específico é uma propriedade da substância que constitui o corpo.

Essa relação é válida sempre que **não houver mudança de estado físico da matéria**.

Abaixo estão listados alguns valores de calor específico.

Substância	Calor específico
<i>Sólidos</i>	
Chumbo	0,0305
Tungstênio	0,0321
Prata	0,0564
Cobre	0,0923
Alumínio	0,215
Latão	0,092
Granito	0,19
Vidro	0,20
Gelo (-10 °C)	0,530
<i>Líquidos</i>	
Mercúrio	0,033
Etanol	0,58
Água do mar	0,93
Água doce	1,00

Tabela 7.4 Valores de calor específico [Haliday; Resnick; Waker 2009]

O calor específico de uma substância nos informa quantas calorias de energia necessitamos para elevar de 1°C a temperatura de 1 grama dessa substância.

Exemplo

(PUC RS – 2016 - adaptado) Um corpo A, homogêneo, de massa 200 g, varia sua temperatura de 20°C para 50°C ao receber 1200 calorias de uma fonte térmica. Durante todo o aquecimento, o corpo A se mantém na fase sólida. Um outro corpo B, homogêneo, constituído da mesma substância do corpo A, tem o dobro da sua massa.

- Qual é o calor específico da substância do corpo A?
- Qual é a capacidade térmica do corpo A?
- Qual é o calor específico da substância do corpo B?
- Qual é capacidade térmica do corpo B?

Calor latente

Quando um corpo recebe calor, os efeitos possíveis observáveis são o aumento da agitação de suas moléculas e conseqüentemente um aumento de sua temperatura, ou mudança na organização molecular, no qual as moléculas não estarão mais agitadas, mas sim em outro estado da matéria. Nesse caso, a relação $Q = m c \Delta t$ não será válida. Usamos então a relação

$$Q = m \cdot L$$

Onde “Q” indica a quantidade de calor, “m” indica a massa e “L” indica o **calor latente** que, por sua vez, informa qual é a quantidade de calor necessária para que certa unidade de massa mude completamente de fase. Por exemplo, o calor latente de ebulição da água é 540 cal/g. Isso quer dizer para transformar um grama de água do estado líquido para o estado de vapor são necessários 540 cal.

Abaixo estão listados alguns valores de calor latente.

Substância	Fusão		Vaporização	
	Ponto de fusão (K)	Calor de fusão L_F (kJ/kg)	Ponto de ebulição (K)	Calor de vaporização L_V (kJ/kg)
Hidrogênio	14,0	58,0	20,3	455
Oxigênio	54,8	13,9	90,2	213
Mercúrio	234	11,4	630	296
Água	273	333	373	2256
Chumbo	601	23,2	2017	858
Prata	1235	105	2323	2336
Cobre	1356	207	2868	4730

Tabela 7.5 Valores de calor latente [Haliday; Resnick; Waker 2009]

Exemplos

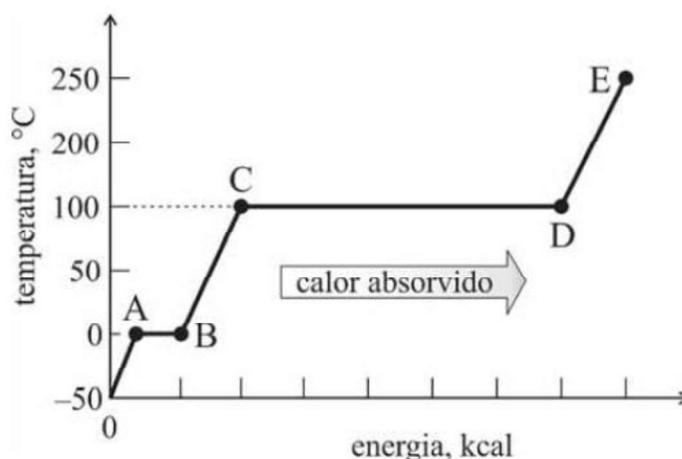
1. (IFSC/2016) O calor pode ser definido como uma forma de energia em trânsito, motivada por uma diferença de temperatura. Um corpo pode receber ou ceder energia na forma de calor, mas nunca armazená-la. O ato de fornecer ou ceder calor para uma substância pode acarretar consequências, como mudança de fase ou variação da temperatura.

Com base nesses conhecimentos, o que acontecerá se fornecermos calor continuamente a um bloco de gelo que se encontra a 0°C , na pressão de 1 atmosfera?

Assinale a alternativa CORRETA.

- a) Primeiro o bloco irá se fundir e, depois, aquecer-se.
- b) Primeiro o bloco irá se aquecer e, depois, fundir-se.
- c) Primeiro o bloco irá se fundir para, depois, solidificar-se.
- d) Não acontecerá nada.
- e) O bloco irá se aquecer.

2. (PAS – UNB- 2016) O gráfico abaixo apresenta a variação da temperatura, em °C, em função da energia, em Kcal, que é fornecida para transformar 1 kg de água solidificada (gelo), inicialmente a -50 °C, em vapor a 250 °C. Nesse gráfico, os segmentos AB e CD são horizontais.



Tendo em vista essas informações e o gráfico apresentado, e considerando que o calor latente de vaporização da água seja de 540 cal/g, que o calor específico da água seja de 1 cal/g °C e que o calor latente de fusão do gelo seja de 80 cal/g, julgue os itens 1 e 2, assinalando “C”, caso esteja “certo” e “E”, caso esteja “errado” e assinale a alternativa correta no item 3

() Para que 1 kg de gelo seja derretido, é necessário que o sistema receba uma quantidade de energia inferior a 80 cal.

() De acordo com o gráfico, no trecho AB, coexistem água e gelo a 0 °C.

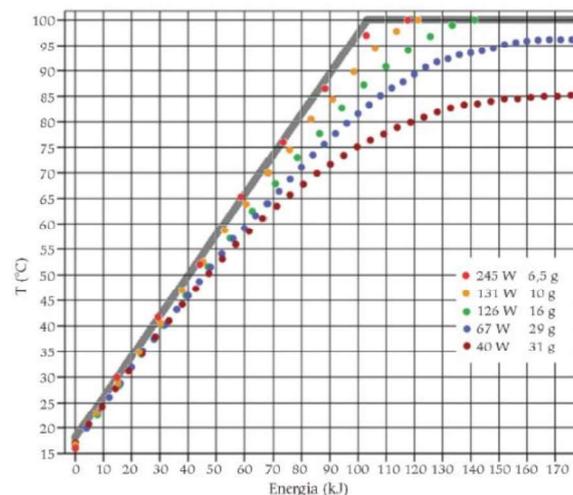
Na situação apresentada, as quantidades de calor necessárias para que a temperatura do sistema varie do ponto B até o ponto C e do ponto C até o ponto D são respectivamente iguais a

- 540 kcal e 100 kcal.
- 100 kcal e 540 kcal
- 80 kcal e 100 kcal
- 80 kcal e 540 kcal

Observação

Embora esse tipo de gráfico seja muito comum em livros didáticos, tanto da educação básica como do ensino superior e exames de seleção, cumpre

salientar que se trata de uma simplificação da realidade, como todo modelo físico é. Novamente, citamos o estudo *Um tema negligenciado em textos de Física geral: A vaporização da água*, publicado na revista *Física na Escola*, de autora de Fernando Lang da Silveira [2016], onde é apresentado o gráfico:



Estão indicadas na legenda as massas de água e as potências de aquecimento. Esses gráficos mostram que a vaporização pode ocorrer abaixo do ponto de ebulição. **Mas, para todos os efeitos, se cair no vestibular, considere o exemplo que resolvemos do PAS – UNB!**

Trocas de calor

Quando em um sistema isolado, ou seja, sem fluxos de energia nem de matéria, há corpos com diferentes temperaturas, haverá troca de energia na forma calor. Os mais frios absorverão calor e ficaram mais quentes, enquanto os mais quentes cederão calor, ficando mais frios. Quando todos eles alcançarem o equilíbrio térmico, as trocas de calor cessarão. É importante notar que a **lei de conservação de energia** deve ser preservada, ou seja, se somarmos os calores envolvidos em cada um dos corpos, o resultado final deve ser zero, pois energia não pode ser criada nem destruída. De forma mais esquemática, se no sistema estão presentes os corpos 1, 2, 3, ..., N e a quantidade de calor (recebida ou cedida) for $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_N$, então:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N = 0$$

Exemplo

(IFPE/2016) No preparo de uma xícara de café com leite, são utilizados 150ml (150g) de café, a 80°C, e 50ml (50g) de leite, a 20°C. Qual será a temperatura do café com leite? (Utilize o calor específico do café = calor específico do leite = 1,0cal/g°C)

Exercícios

1 (PUCCAMP SP/2016) Um *dispositivo mecânico* usado para medir o equivalente mecânico do calor recebe 250 J de energia mecânica e agita, por meio de pás, 100 g de água que acabam por sofrer elevação de 0,50 °C de sua temperatura. Adote 1 cal = 4,2 J e $c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$.

Calcule a quantidade de calor necessária para provocar esta elevação de temperatura.

Calcule o rendimento desse dispositivo mecânico. (Obs: o rendimento é a razão entre a energia útil, neste caso o equivalente da quantidade de calor utilizada para aquecer a água e energia total fornecida) .

2 (FAMERP SP/2016) Para realizar um experimento no litoral, um cientista precisa de 8 litros de água a 80 °C. Como não dispõe de um termômetro, decide misturar uma porção de água a 0 °C com outra a 100 °C. Ele obtém água a 0 °C a partir de uma mistura, em equilíbrio térmico, de água líquida com gelo fundente, e água a 100 °C, a partir de água em ebulição. Considerando que haja troca de calor apenas entre as duas porções de água, calcule as massas de água a 0°C e a 100°C para obter água a 80°C

3 (UNICAMP SP/2016) O Parque Güell em Barcelona é um dos mais impressionantes parques públicos do mundo e representa uma das obras mais marcantes do arquiteto Antoni Gaudí. Em sua obra, Gaudí utilizou um número imenso de azulejos coloridos.



Considere que, no Parque Güell, existe um número $N = 2 \times 10^6$ de azulejos cujas faces estão perfeitamente perpendiculares à direção da radiação solar quando o sol está a pino na cidade de Barcelona. Nessa situação, a intensidade da radiação solar no local é $I = 1200 \text{ W/m}^2$. Estime a área de um azulejo tipicamente presente em casas e, a partir da área total dos N azulejos, calcule a energia solar que incide sobre esses azulejos durante um tempo $t = 60 \text{ s}$.

Uma das esculturas mais emblemáticas do parque Güell tem a forma de um réptil multicolorido conhecido como El Drac, que se converteu em um dos símbolos da cidade de Barcelona. Considere que a escultura absorva, em um dia ensolarado, uma quantidade de calor $Q = 3500 \text{ kJ}$. Considerando que a massa da escultura é $m = 500 \text{ kg}$ e seu calor específico é $c = 700 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, calcule a variação de temperatura sofrida pela escultura, desprezando as perdas de calor para o ambiente.

4 (UNICESUMAR SP/2016) Por meio da queima de gás de cozinha (GLP), cujo calor de combustão é aproximadamente igual a $6 \times 10^3 \text{ cal/g}$, produz-se a variação de temperatura de 108°F em 1000 litros de água.

Dados:

Densidade da água = 1 g/cm^3

Calor específico da água = $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

a) Determine a variação de temperatura sofrida pela água em $^\circ\text{C}$. Cuidado!

Não use a fórmula $\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9}$.

b) Determine a massa de água.

c) Supondo que todo o calor liberado nessa queima tenha sido utilizado integralmente no aquecimento desse volume de água, determine,

aproximadamente, quantos quilogramas de gás de cozinha foram utilizados.

5 (UFRGS/2016) Considere dois motores, um refrigerado com água e outro com ar. No processo de resfriamento desses motores, os calores trocados com as respectivas substâncias refrigeradoras, Q_{ag} e Q_{ar} , são iguais. Considere ainda que os dois motores sofrem a mesma variação de temperatura no processo de resfriamento, e que o quociente entre os calores específicos da água, c_{ag} , e do ar, c_{ar} , são tais que $c_{ag}/c_{ar} = 4$.

Qual é o valor do quociente m_{ar}/m_{ag} entre as massas de ar, m_{ar} , e de água, m_{ag} , utilizadas no processo?

6 (UCB DF/2016) Dois corpos estão em equilíbrio térmico e isolados (não há troca de calor com o meio externo). Um terceiro corpo, com o dobro da massa do primeiro e metade da massa do segundo, é colocado entre os dois primeiros. Observa-se que, apesar de estarem em contato, não houve mudança de temperatura em nenhum dos corpos. Considerando essa situação hipotética, é correto afirmar que o terceiro corpo

- a) cedeu calor aos outros dois corpos.
- b) recebeu calor dos outros dois corpos.
- c) possuía temperatura menor que o primeiro e maior que o segundo.
- d) possuía temperatura maior que o primeiro e menor que o segundo.
- e) possuía a mesma temperatura dos outros dois corpos.

ATIVIDADE 7

Atividade Prática 1⁶ – Propagação de calor por condução

Objetivo:

O objetivo do experimento é mostrar a propagação de calor por condução utilizando um bom e um mau condutor de calor.

Contexto:

A propagação de calor pode ocorrer de três modos: por condução, convecção e irradiação. Enquanto a propagação por irradiação se dá mesmo na ausência de matéria (vácuo), a propagação por condução exige o contato entre os objetos que trocarão calor e a propagação por convecção envolve a movimentação da matéria. Quando colocamos uma panela com água no fogo para esquentar, podemos observar a propagação de calor dos três modos. Por condução: o calor do fogo se propaga para a panela que está em contato com ele; esse calor se propaga também por condução para a água, que está em contato com a panela. Por convecção: a água que está em contato com o fundo da panela se aquece, sua densidade diminui (fica mais leve) e ela sobe, enquanto a água fria da superfície (mais pesada) desce para o fundo. Por irradiação: se tiramos a panela do fogo e aproximamos a mão de seu fundo, sentiremos um aumento de temperatura. O calor sentido não chegou por condução (pois não havia contato) nem por convecção (pois o ar quente sobe), pois a radiação independe da existência ou movimentação de matéria para se propagar. Outro exemplo de propagação por irradiação é a energia térmica do sol, que chega até nós pela propagação através do espaço, que é quase um vácuo perfeito. Neste experimento, veremos a propagação de calor por condução e também a resistência oferecida a esta propagação por dois materiais diferentes: um fio elétrico e um palito de madeira.

⁶ Retirada da página *Experimentos de Física para o ensino médio e fundamental com materiais do dia-a-dia*, da Unesp, disponível em <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica>. Acesso em 12/11/2017

Ideia do experimento:

A ideia é mostrar a propagação de calor por condução através de dois materiais diferentes: um fio elétrico, que conduz bem o calor, e um palito de madeira, que conduz mal o calor. Para isso, pingamos gotas de vela com espaçamento constante no fio e no palito. Em seguida, aquecemos uma das extremidades do fio. As gotas de vela vão se derretendo conforme o fio vai se aquecendo. Ou seja: conforme o calor vai se propagando no fio, as gotas de vela vão se derretendo. O mesmo não acontece quando aquecemos uma das extremidades do palito, pois a madeira não conduz calor tão bem quanto o metal. Portanto, quando se aquece uma das extremidades do palito, as gotas de vela não derreterão do mesmo modo como derreteram quando o fio foi aquecido.

Material:

- Fio de cobre – fio elétrico de aproximadamente 15 centímetros de comprimento de 2 ou 3 milímetros de diâmetro;
- Palito de madeira – de dimensões similares ao fio elétrico; em algumas regiões do país, encontra-se na forma de espetinhos para churrasco;
- Vela – vela comum;
- Fósforo ou isqueiro – para acender a vela;
- Lata – lata de refrigerante;
- Pregos e martelo – para furar a lata;
- Papel alumínio – para enrolar o local onde o fogo entrará em contato com o palito de madeira.

Montagem:

- Faça um furo próximo à borda superior da lata de tal forma que o palito e/ou fio passe pelo furo.
- Pingue algumas gotas de vela sobre o fio, com espaçamentos aproximadamente iguais.
- Espere alguns segundos para que a parafina (vela) endureça sobre a superfície do fio.
- Acenda a vela na extremidade do fio.

- Após alguns segundos percebe-se o resultado: a parafina começará a derreter, começando do ponto mais próximo de onde está sendo aquecido até a outra extremidade.
- A seguir repita o procedimento acima para o palito.

Comentários:

Se a lata não parar em pé devido ao peso do fio, coloque água ou areia dentro da lata para equilibrar o peso.

Tenha cuidado ao manusear a vela quando acesa.

Se vela for maior do que a lata, então corte um pedaço dela para que fique do mesmo tamanho da lata.

Utilize uma folha de papel sulfite ou similar por baixo do esquema do experimento para que a parafina não suje a mesa que está sendo utilizada.

Ao realizar a experimento com o palito, cubra com papel alumínio a parte que estará em contato com a chama para evitar que esta pegue fogo.

Durante a execução, ou no término do experimento, nunca toque na superfície do fio, pois esta estará aquecida, podendo causar queimaduras.

Os pingos de vela são usados para que não seja necessário a utilização do tato para sentir a propagação de calor.

Pode-se fazer este experimento com duas latas, aquecendo o fio e o palito ao mesmo tempo. **(UNESP, 2017)(UNESP, 2017)**

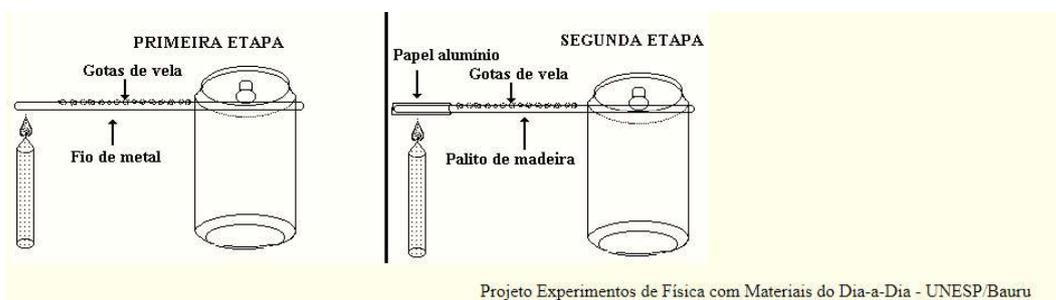


Figura 7.17 Esquema de montagem da atividade prática 1 [Unesp 2017]

Atividade Prática 2⁷ - Propagação de calor por irradiação

Objetivo:

Mostrar que ocorre transmissão de calor por irradiação.

Ideia do experimento:

A ideia é mostrar que existe irradiação de calor produzida pela chama de uma vela. Para isso, chega-se a mão próximo e ao lado da chama da vela e sente-se o aumento de temperatura na mão. Exclui-se a possibilidade da energia térmica chegar até a mão pelo ar por condução ou convecção, pois o ar é mau condutor de calor e o ar aquecido sobe em vez de ir para os lados ou para baixo. Logo, conclui-se que o calor chegou até a mão por irradiação.

Material:

- Uma vela
- Um fósforo – para acender a vela

Montagem:

Acenda a vela e a fixe em algum local.

Chegue a mão próximo e ao lado da chama da vela e sinta a temperatura da mão aumentar.

Comentários:

Tanto pelos lados, como por baixo, o efeito de aquecimento principal é o calor proveniente da irradiação.

Pode-se passar rapidamente a mão numa região imediatamente acima da chama; observa que o aquecimento é bem maior, pois além da irradiação, também existe a propagação de calor pela convecção do ar.

Não encoste a mão na chama.

Esquema de montagem

⁷ Retirada da página *Experimentos de Física para o ensino médio e fundamental com materiais do dia-a-dia*, da Unesp.

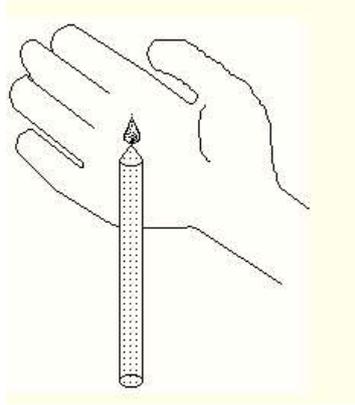


Figura 7.18 Esquema de montagem da atividade prática 2 [Experimentos de física para o ensino médio e fundamental com materiais do dia-a-dia s.d.]

Obs.: Pesquise como a transferência de calor por irradiação está relacionada com o **efeito estufa**.

Atividade Prática 3⁸ - Como se formam as brisas

Apresentação:

As circulações locais são circulações de ar induzidas termicamente pelos processos de superfície em regiões heterogêneas. Essas circulações podem ser as convencionais, ou seja, surgem em virtude de aquecimento diferencial, como a circulação de “brisa marítima/terrestre”, vale–montanha, lacustre, ou as não convencionais, como as induzidas por diferenças em umidade de solo ou vegetação.

As brisas (marítimas, terrestres, lacustres, de vegetação, de vale–montanha) têm grande influência no clima em diversas partes do globo. Por exemplo, próximo à costa, num dia quente, com vento fraco, há maior aquecimento da areia e do solo do que da água do mar. Isso porque a água tem capacidade calorífica maior que materiais como areia e solo, e para aquecê-la é necessário mais calor.

Esse aquecimento diferencial gera diferença regional de pressão atmosférica, fazendo com que o ar fique mais quente sobre o continente com pressão relativamente mais baixa do que o ar mais frio sobre o mar. Essa

⁸ Retirada da obra *Explorando o ensino – mudanças climáticas* [Oliveira; Silva; Henriques 2009]. Autores: Gilvan Sampaio (INPE), Giovanni Dolif Neto (INPE), Lana Nárcia Leite da Silveira (EEB) e Maria Emília Mello Gomes (Programa AEB Escola/AEB).

diferença de pressão induz à formação de uma brisa da região de pressão mais alta (mar) para a região de pressão mais baixa (continente), que é a chamada “brisa marítima”. Essa brisa surge para equilibrar as diferenças de temperatura e pressão entre as duas regiões.

Durante a noite, ocorre o contrário: o continente esfria rapidamente, enquanto a água do mar esfria mais lentamente; com isso, a temperatura estará mais quente no mar do que no continente. Portanto, o ar sobre o continente estará com pressão relativamente mais alta do que o ar sobre o mar. Isso irá gerar uma brisa da região de pressão mais alta (continente) para a região de pressão mais baixa (mar), que é a chamada “brisa terrestre”.

Com esta atividade, os alunos perceberão o deslocamento do ar (brisa) observando o deslocamento da fumaça do incenso. A partir do entendimento desses conceitos, os alunos também entenderão porque as massas de ar se deslocam dos polos em direção do Equador, em ambos os hemisférios.

Objetivos:

O objetivo desta atividade é compreender como se dá a formação de brisas, por meio do entendimento dos seguintes processos:

- Diferenças de densidade do ar causadas por diferenças de temperatura.
- Mudanças na pressão causadas pelas mudanças na densidade do ar.
- Movimento do ar causado por diferenças de pressão.

Sugestão de problematização:

Por que existe vento? Como será o deslocamento do ar: da região mais fria para a região mais quente, ou ao contrário? Se aumentarmos a diferença de temperatura, a intensidade do vento aumentará também?

Materiais:

- 1 fogareiro elétrico
- 10 cubos de gelo
- 1 quilograma de areia fina

- 2 vasilhas de vidro ou alumínio de aproximadamente 30 cm cada
- 1 cartolina de cor preta
- 1 fita adesiva
- 2 incensos
- 1 caixa de fósforos
- 1 tesoura
- Massa de modelar



Figura 7.19 Materiais da atividade prática

Procedimentos:

- Preencher uma das vasilhas de alumínio com areia e aquecê-la sobre um fogareiro elétrico, e, a outra vasilha, preencher com gelo.
- Colocar a cartolina em forma de painel em torno das duas vasilhas e acender os incensos.
- Fazer uma base para o incenso com a massa de modelar, espetar os incensos e colocá-los entre as duas vasilhas.
- Observar para onde a fumaça se desloca. Espera-se que a fumaça se desloque da vasilha com gelo para a vasilha com areia.



Figura 7.20 Procedimentos para a atividade prática

Orientações complementares:

Como as circulações convencionais surgem em virtude do aquecimento diferencial, podemos pensar que no planeta Terra há aquecimento diferencial, uma vez que a região mais próxima do Equador é mais quente do que os polos. Esse grande contraste de temperatura cria uma circulação térmica semelhante àquela da brisa marítima, com o ar soprando dos polos em direção ao Equador.

A primeira pessoa a propor esse modelo clássico de circulação geral da atmosfera foi George Hadley em 1735. Hadley sugeriu que, sobre a Terra sem rotação, o movimento do ar teria a forma de uma grande célula de convecção, com o ar soprando dos polos em direção ao Equador, convergindo e subindo, também, próximo do Equador e em altos níveis da troposfera (camada mais baixa da atmosfera), soprando do Equador em direção aos polos. Com isso, podemos entender que as massas de ar frio e as frentes frias sempre vêm dos polos em direção ao Equador, na tentativa de equilibrar a temperatura da Terra, ou seja, é uma reação ao aquecimento diferencial.

Possíveis desdobramentos:

Professor/a, a partir desta atividade, é possível desencadear novos estudos, estimular a leitura e a produção de textos na escola, como, por exemplo:

- estudar a influência de montanhas, lagos e vegetação na circulação atmosférica de uma cidade ou região;
- estudar a circulação geral da atmosfera;
- pesquisar sobre a dispersão de poluentes na atmosfera.

Que tal se os alunos fizerem uma apresentação dos materiais na feira de Ciências da escola e em outras turmas? Eles podem preparar até uma apresentação em *Power Point*, se a escola tiver condições para isso.

Atenção! As atividades aqui expostas devem ser desenvolvidas, de preferência, sob a supervisão do professor. Vale lembrar que é sempre recomendável cuidado no manuseio de materiais como tesoura, fósforo e outros que podem ferir quando usados inadequadamente.

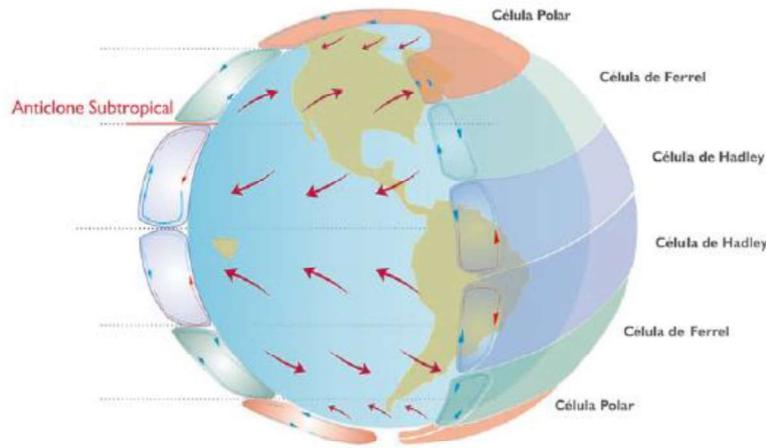


Imagem esquemática da circulação geral da atmosfera.

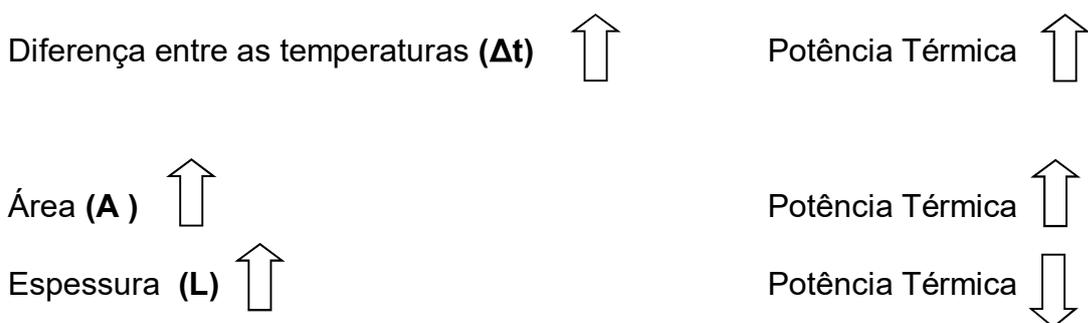
Figura 7.21 Circulação geral da atmosfera [Oliveira; Silva; Henriques 2009]

Você pode visualizar uma animação sobre a célula de Hadley em <http://trmm.gsfc.nasa.gov>, do site do Tropical Rainfall Measurement Mission (Missão de medição das chuvas tropicais).

Abordagem quantitativa para condução térmica

Podemos calcular a taxa de transferência de calor, isto é, a potência térmica (calor/tempo), no processo de condução pela **Lei de Forrier**.

Se consideramos que as extremidades estão situadas em dois locais com diferentes temperaturas fixas, haverá um fluxo de calor da região mais quente para a mais fria. Quais são os fatores que influenciam esse fluxo? Podemos afirmar, naturalmente, que ela depende da diferença entre as temperaturas das extremidades. Depende também área e da espessura do corpo. Valendo os seguintes comportamentos:



Ou seja, a potência térmica é diretamente proporcional à diferença de temperaturas e a área, e inversamente proporcional a espessura.

Matematicamente, temos $P = \frac{\text{calor}}{\text{tempo}} = k \frac{A \cdot \Delta t}{L}$, onde k é uma constante de proporcionalidade denominada **condutividade térmica do material**. Quanto maior for o valor de k, melhor condutor de calor o material é.

Algumas condutividades térmicas

Substância	k (W/m.K)
Metais	
Aço inoxidável	14
Chumbo	35
Ferro	67
Latão	109
Alumínio	235
Cobre	401
Prata	428
Gases	
Ar (seco)	0,026
Hélio	0,15
Hidrogênio	0,18
Materiais de Construção	
Espuma de poliuretano	0,024
Lã de pedra	0,043
Fibra de vidro	0,048
Pinho	0,11
Vidro de janela	1,0

Tabela 7.6 Condutividades térmicas [Haliday; Resnick; Waker 2009]

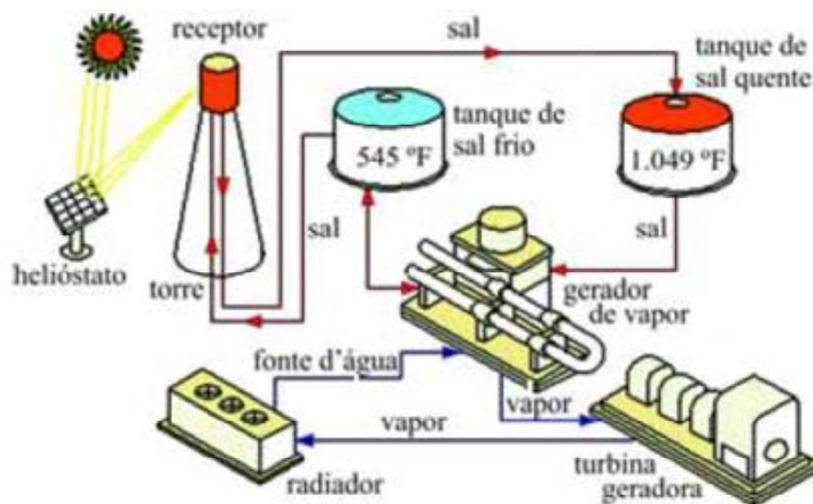
Para refletir

Quando você prepara um bolo e vai retirá-lo do forno, certamente você usa uma luva ou algo similar, pois a temperatura ali é de cerca de 180 °C. Porém, o ar dentro do forno também está próximo a essa temperatura. Obviamente você não conseguirá deixar sua mão dentro do forno durante muito tempo. Mas pelo simples fato de você inserir sua mão ali, sem luva ou algo similar, durante alguns segundos, você já está em contato com algo a uma temperatura muito alta, o ar. Por que, nesse caso, não nos queimamos?

A temperatura das faíscas daquelas de velas de aniversário é muito alta, cerca de 2000 °C. Por que quando elas caem sobre nossa pele não causa queimaduras graves? [Hewitt 2015]

Para exercitar

PAS-UNB – SEGUNDA ETAPA – SUBPROGRAMA 2011 – CADERNO TRANSISTOR



A figura acima mostra, esquematicamente, o processo de geração de energia em uma usina que utiliza heliostato, dispositivo que consiste em uma grande área coberta de espelhos planos de rastreamento solar que direcionam a energia do Sol para um receptor (tanque) localizado no topo de uma torre central. A enorme quantidade de energia proveniente dos raios do Sol e

concentrada em um ponto (na torre central) produz temperaturas que variam entre 545 °F e 1049 °F.

O receptor é composto de um tanque preenchido com um sal no estado líquido que, ao atingir a temperatura de 1.049 °F, escoar para um reservatório isolado, denominado tanque de sal quente. O conteúdo desse reservatório é bombeado para um gerador de vapor, onde fornecerá calor para a água evaporar, alimentará a turbina e gerará energia elétrica. Cedido o calor, o sal retorna para o tanque de armazenamento de sal frio, onde permanece em estado líquido (545 °F), sendo, posteriormente, bombeado para o receptor, o que possibilita o início de outro ciclo⁹.

Julgue os itens 1 a 4, assinalando “C” caso esteja Certo e “E” caso esteja Errado e faça os cálculos do item 5.

(C) (E) Durante a transição de fase, entre o estado sólido e o líquido, a uma temperatura constante, há aumento na entropia do sal. (Obs: O conceito de entropia será trabalhado mais adiante)

(C) (E) A diferença absoluta entre as temperaturas dos tanques de armazenamento de sal líquido é superior a 273 K.

(C) (E) Na usina descrita acima, são empregados processos de transferência de calor por meio de convecção, condução e radiação.

(C) (E) A partir do texto, infere-se que o sal líquido, devido a seu elevado calor específico, é ideal para ser utilizado como fluido de armazenamento de calor, pois requer pouca energia absorvida na forma de calor, para produzir grande variação de temperatura.

Considere que, em um tanque com a forma de um cilindro de raio 1,5 m e altura 2,0 m e preenchido com sal quente, a temperatura 15 °C durante a noite, na parte externa da parede do tanque. Com base nesses dados, determine que espessura, em mm, a parede do tanque deve ter para que o fluxo máximo de

⁹www.lisas.de (com adaptações)

calor não ultrapasse 10 quilowatts, considerando-se apenas o fluxo de calor através das laterais.

Assuma que a condutividade térmica da liga componente do tanque seja $0,12 \text{ J.s}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ e que $\pi=3,14$.

ATIVIDADE 8

Slides sobre um panorama histórico da ciência, do cartesianismo a teoria dos sistemas complexos, retiradas da dissertação de mestrado de Miguel Jorge Neto [Neto 2011].

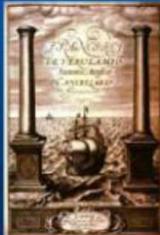


Princípios da Filosofia Cartesiana

- **Racionalismo:** Os fenômenos naturais podem ser compreendidos racionalmente.
- **Determinismo:** Os fenômenos naturais podem ser compreendidos em termos de causa e efeito.
- **Compartimentalização:** O Universo funciona como um relógio que pode ser entendido se compreendermos cada uma de suas **partes**.

Filosofia Cartesiana

- **Francis Bacon:** *"Ela" deve ser escravizada, estar a serviço do homem.*

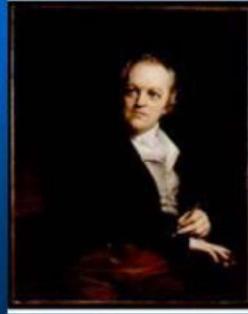


A Fragmentação



Movimentos Anti-Cartesianos: O Romantismo

**“Deus possa
nos proteger da
visão única e do
sono de
Newton”**



William Blake (1757-1827)

Movimentos Anti-Cartesianos: A Arte Moderna



Pollock



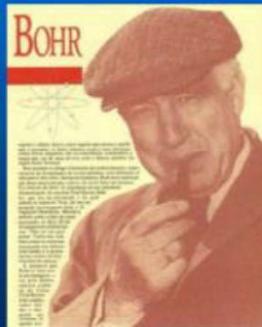
Duchamp

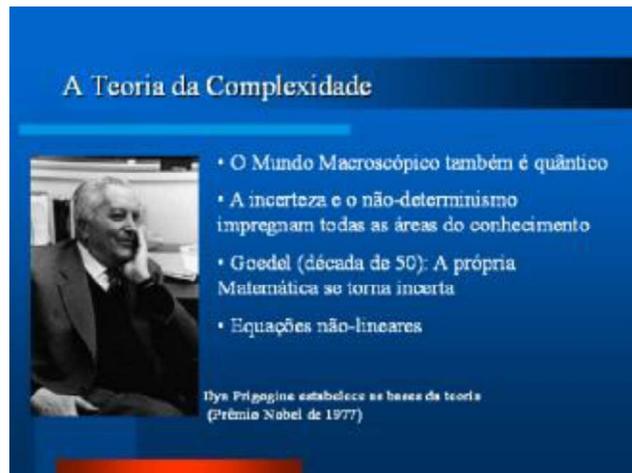


Kandinski

Movimentos Anti-Cartesianos: A MQ

- Ao observarmos o mundo microscópico, não há como não alterá-lo (sujeito-objeto)
- O mundo microscópico é intrinsecamente imprevisível – a incerteza é o tijolo fundamental do Universo
- A soma das partes é diferente do todo





Apresentar o vídeo sobre teoria do caos e efeito borboleta¹⁰.

Teoria do Caos¹¹

Se você largar uma maçã a 10 metros de altura do chão, poderá, com as Leis de Newton, calcular o instante exato em que a maçã atingirá o solo. Se a medida da altura não for exata, tiver um erro pequeno, seu resultado também trará uma pequena incorreção. Mas, em alguns fenômenos físicos, erros mínimos nos dados utilizados podem gerar resultados com discrepâncias enormes. Esse fenômeno é popularmente conhecido como efeito borboleta. Sistemas sujeitos a essa sensibilidade com relação aos dados iniciais são estudados na Matemática pela teoria do caos. Um dos exemplos mais importantes de sistema caótico é o clima. Há até uma alegoria que diz que o bater de asas de uma borboleta de um lado do planeta pode gerar um tufão do outro lado. Se você já teve planos de praia ou piquenique frustrados por uma chuva imprevista, não culpe os meteorologistas, eles disputam cada grau centígrado de suas previsões com o próprio caos.

¹⁰ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=C4eHJ8ZJgG4>>. Acesso em 17 abr. 2018

¹¹ Disponível em:

<<http://www.uff.br/sintoniamatematica/grandestemaseproblemas/grandestemaseproblemas-html/audio-caos-br.html>>. Acesso em 17 abr. 2018

Informações complementares

A teoria do caos também é conhecida como teoria de sistemas dinâmicos. Mas o que é um sistema dinâmico? Vamos exemplificar com um sistema dinâmico discreto que corresponde a uma aplicação financeira e pode ser facilmente compreendido.

Imagine que você aplicou 50 mil reais num fundo que rende uma taxa fixa de 1% ao mês e que, em cada mês, no dia em que entrarem os juros na conta, você vai retirar 100 reais desta aplicação. No fim do primeiro mês, haverá na conta os 50 mil, mais 500 reais de juros (1% de 50 mil), menos os 100 reais que você retira da conta. Resulta que haverá 50.400 reais.

$$x + x/100 - 100,$$

isto é

$$1,01 x - 100.$$

Portanto, a partir do valor que se tem no início do mês, podemos calcular o valor que teremos no fim do mês usando a função f dada pela fórmula

$$f(x) = 1,01 x - 100.$$

Se começamos com 50 mil, no fim do primeiro mês teremos $f(50.000) = 1,01 \times 50.000 - 100 = 50.400$ reais.

No fim do segundo mês teremos $f(50.400) = 1,01 \times 50.400 - 100 = 50.804$ reais. Veja que $f(50.400) = f(f(50.000))$.

No fim do terceiro mês teremos $f(50.804) = 51.212,04$ reais. Novamente, $f(50.804) = f(f(50.400)) = f(f(f(50.000)))$.

Para simplificar a notação vamos usar $f^2(x)$ para nos referir a $f(f(x))$, $f^3(x)$ para denotar $f(f(f(x)))$ e assim por diante.

Podemos construir uma tabela que nos dirá quanto teremos mês a mês:

$f^1(50.000)$	R\$ 50.400,00
$f^2(50.000)$	R\$ 50.804,00
$f^3(50.000)$	R\$ 51.212,04
$f^4(50.000)$	R\$ 51.624,16
$f^5(50.000)$	R\$ 52.040,40
$f^6(50.000)$	R\$ 52.460,81
$f^7(50.000)$	R\$ 52.885,41
$f^8(50.000)$	R\$ 53.314,27
$f^9(50.000)$	R\$ 53.747,41
$f^{10}(50.000)$	R\$ 54.184,89
$f^{11}(50.000)$	R\$ 54.626,73
$f^{12}(50.000)$	R\$ 55.073,00

Tabela 7.7 Saldo do investimento dos primeiros doze meses

Caos

Mas e o caos, como surge? Alguns sistemas dinâmicos possuem grande sensibilidade com relação aos dados iniciais. Isso significa que se começarmos a iterar a função a partir de dois pontos diferentes, mesmo que esses pontos sejam muito próximos, o resultado depois de algumas iterações será muito diferente para um ponto e para outro.

Novamente, vamos utilizar alguns exemplos para facilitar a compreensão. Primeiro consideremos um sistema dinâmico correspondente à função $f(x) = x + 2$. Vamos iterar esse sistema para dois pontos iniciais bem próximos, 0 e 0,001 (a distância entre eles é de um milésimo). A tabela reproduzida na figura abaixo mostra os valores obtidos nas sucessivas iterações de f partindo de cada um destes pontos e também a distância entre os resultados obtidos com cada ponto inicial:

n	$f_n(0)$	$f_n(0,001)$	$f_n(0,001) - f_n(0)$
1	2	2,001	0,001
2	4	4,001	0,001
3	6	6,001	0,001
4	8	8,001	0,001
5	10	10,001	0,001
6	12	12,001	0,001
7	14	14,001	0,001
8	16	16,001	0,001
9	18	18,001	0,001
10	20	20,001	0,001
11	22	22,001	0,001
12	24	24,001	0,001
13	26	26,001	0,001
14	28	28,001	0,001
15	30	30,001	0,001
16	32	32,001	0,001
17	34	34,001	0,001
18	36	36,001	0,001
19	38	38,001	0,001
20	40	40,001	0,001

Tabela 7.8 Valores numéricos das iterações da função $f(x) = x+2$.

Podemos ver que, não importa quantas vezes iteremos, a diferença entre o resultado obtido quando partimos do ponto 0 ou quando partimos de 0,001, é sempre a mesma, um milésimo.

Vamos considerar, agora, um sistema diferente, dado pela função $g(x) = x^2 + 1$:

n	$g_n(0)$	$g_n(0,001)$	$g_n(0,001) - g_n(0)$
1	1	1,000001	0,000001
2	2	2,000002	0,000002
3	5	5,000008	0,000008
4	26	26,00008	0,00008
5	677	677,00416	0,00416
6	458330	458335,63	5,63
7	210066388901	210071552181,61	5163280,61
8	$4,41 \times 10^{22}$	$4,41 \times 10^{22}$	$2,17 \times 10^{18}$
9	$1,95 \times 10^{45}$	$1,95 \times 10^{45}$	$1,91 \times 10^{41}$
10	$3,79 \times 10^{90}$	$3,79 \times 10^{90}$	$7,46 \times 10^{86}$
11	$1,44 \times 10^{181}$	$1,44 \times 10^{181}$	$5,66 \times 10^{177}$

Tabela 7.9 Valores numéricos das iterações da função $g(x) = x^2+1$.

Como podemos observar, para a função g , a diferença entre os resultados obtidos a partir do valor inicial 0 ou do valor inicial 0,001 cresce rapidamente. A sétima iteração já é da ordem de milhões. Isso significa que se você usar a função g para modelar algum fenômeno natural, erros ou aproximações da ordem de um milésimo em seus dados iniciais, podem ocorrer diferenças gigantescas no resultado obtidos após algumas iterações.

Certamente, pode-se argumentar que, no caso do exemplo dado, o erro relativo não é tão grande, isso é, a diferença entre $g_n(0)$ e $g_n(0,001)$ é de ordem bem inferior aos valores absolutos de g_n para cada uma dessas condições iniciais. Há, entretanto, outras funções para as quais o erro relativo cresce rapidamente. Tente, por exemplo, montar as tabelas acima para a função $h(x) = -4x^2 + 4x$ e itere para os pontos iniciais 0,3 e 0,30001.

ATIVIDADE 9

“Os rios voadores da hileia, mal deságuam por aqui”

O objetivo desta sequência de textos e atividades é aplicar os conceitos trabalhados nas aulas anteriores (temperatura, pressão, calor e estados da matéria) para compreender um fenômeno fundamental para o clima, agricultura, vida e economia (principalmente para a região centro-sul do Brasil) denominado “Rios Voadores da Amazônia”.

A floresta gera clima amigo: cinco segredos revelados sobre a Amazônia

O presente material foi inspirado no relatório *O futuro climático da Amazônia*, de autoria do professor e pesquisador do INPA, Antônio Donato Nobre [2014], onde, de forma bastante precisa e em linguagem extremamente acessível, são apresentados, dentre outras coisas, 5 segredos sobre como a floresta influencia o clima regional e mundial. O que faremos no decorrer dos próximos textos é olhar em detalhes os fenômenos físicos inerentes a esses processos.



Figura 7.22 O futuro climático da Amazônia

Arrogância é o ato ou efeito de arrogar(-se), de atribuir a si direito, poder ou privilégio. Não há exagero algum em afirmar que vivemos em uma sociedade que, do ponto de vista tecnológico, é extremamente arrogante. Num cenário de *smartphones*, redes sociais e técnicas super avançadas na indústria, medicina, etc, temos a tendência de associar todos esses fatos a uma tecnologia refinada, enquanto quando olhamos para uma floresta, como a Amazônia, e seus povos tradicionais, temos a tendência de classificá-los como algo distante do mundo

tecnológico e civilizado. Tecnologia é um termo inerente à atividade humana, mas não existindo um termo próprio que contemple os processos ocorridos na natureza, utilizaremos esse mesmo termo [Nobre, 2014]. A verdade é que a Floresta Amazônica é um gigante parque tecnológico, que opera em níveis de complexidade muito mais avançada que a mais moderna tecnologia criada pelo homem.

Alexander von Humbolt, naturalista do século XIX que inspirou gerações de naturalistas, Darwin entre eles, via o clima como uma força global unificadora e reconhecia a coevolução dos sistemas vivos do clima e da crosta da Terra. Humbolt acreditava, então, que a Amazônia desempenhava um papel fundamental no clima [Capra 2000]. Porém, no início do século XX, essa visão foi desbancada por Euclides da Cunha, que afirmava que “a epistemologia da ‘ciência amazônica’ florescerá se preocupar menos em revelar a hileia por inteiro”. Essa visão reducionista¹² influenciou grande parte das pesquisas sobre a Amazônia no século XX. Vários projetos de pesquisa foram iniciados na tentativa de se compreender a atmosfera, a biodiversidade, o balanço hídrico, etc, de forma isolada, porém sem sucesso. Nos últimos anos, os cientistas retomaram a concepção holística de Humbolt, entendendo então que não é possível estudar de forma isolada o clima e a floresta, pois esses atores são interdependentes.

1º Segredo: Reciclagem de umidade – geisers da floresta

Um dos fatores responsáveis pela vida em nosso planeta é a temperatura amena que ele apresenta. Por exemplo, as temperaturas médias das superfícies dos planetas variam desde -225°C (Netuno) até 456 °C (Vênus), enquanto a da Terra é de aproximadamente 15°C [USP 2017].

Esse conforto climático deve-se em grande parte aos seres vivos capazes de realizar fotossíntese, pois nesse processo eles alteram as concentrações de CO₂ e água na atmosfera, principais gases responsáveis pelo efeito estufa.

¹²Visão Reducionista: Uma das heranças mais fortes do período chamado Revolução Científica presente nos dias atuais é o método analítico de Descartes, que consiste em decompor pensamentos e problemas em suas partes componentes e dispô-las em sua ordem lógica [Capra 1993]

Quando as plantas consomem CO₂, a concentração desse gás diminui e a temperatura do planeta também. Isso provoca, no entanto, uma redução da taxa de crescimento das plantas, o que, por sua vez provoca um aumento da concentração de CO₂, aumentando novamente a temperatura e a taxa de crescimento das plantas. As plantas funcionam então como verdadeiros termostatos naturais.

Na realização da fotossíntese, as plantas transformam água no estado líquido em vapor¹³. Como a água possui alto calor latente de vaporização (bem como alto calor específico), boa parte da energia proveniente da radiação solar é usada para realizar essa mudança de estado físico. Assim, a temperatura debaixo da sombra de uma árvore é menor, não apenas porque ali chega menos luz, mas também porque parte dessa energia radiante está sendo usada para evaporar a água.

Denomina-se **evapotranspiração** a combinação entre a transpiração das plantas (devido à fotossíntese) e evaporação da água do solo. Esse conceito é fundamental para a agricultura.

Na Floresta Amazônica, em particular, uma árvore de raio de copa de aproximadamente 10 metros evapotranspira cerca de 300 litros de água por dia, enquanto uma de raio de 20 metros cerca de 1100 litros. O físico Enéas Salati e outros pesquisadores estimaram que a floresta transforma 20 bilhões de toneladas de água no estado líquido em vapor em um único dia. Para comparação, o rio Amazonas, que é o maior do mundo, deságua no Oceano Atlântico cerca de 17 bilhões de toneladas por dia. Devido a essa imensa capacidade de transferir vapor d'água para a atmosfera, podemos comparar as árvores a geisers. Através deste processo, a floresta mantém o ar úmido por mais de 3000 km continente adentro.

¹³ Para uma melhor visualização, da fotossíntese, e de outros processos da biologia molecular, ver animações em <http://www.johnkyrk.com/index.pt.html>.

Exercícios

1. Calcule a quantidade de calor necessária para evaporar os 20 bilhões de toneladas de água evaporadas na Floresta Amazônica em um dia.

2. O Brasil tem o custo médio da energia mais caro do que o registrado nos Estados Unidos e no México. No entanto, o valor cobrado na Europa e no Japão é maior do que o registrado no país. Segundo um levantamento feito pelo pesquisador e professor da Trevisan Escola de Negócios, Alcides Leite, divulgado nesta segunda-feira, a tarifa média da energia elétrica no território brasileiro é de R\$ 0,333 quilowatt-hora (kWh).

Fonte: economia.terra.com.br (Acesso em 16 mar. 2017)

Qual valor, em R\$, seria gasto por um dispositivo para evaporar esta quantidade de água?

3. Suponha que se pudesse colocar toda essa água em uma chaleira elétrica gigante, e que usássemos a usina elétrica de Itaipu, cuja potência é de 14 mil Mega Watts, exclusivamente para evaporar essa quantidade de água. Quanto tempo seria necessário para realização de tal tarefa?

4. Depois que as nuvens precipitam seu precioso líquido sobre a floresta, grande parte da água se esgueira por entre o dossel e infiltra-se pelo permeável solo florestal, onde é armazenada no pacote poroso do solo, ou mais abaixo, em aquíferos gigantescos, verdadeiros oceanos subterrâneos de água doce. A água do solo começa seu retorno para a atmosfera absorvida por profundos e sofisticados sugadores, as raízes; depois sobe desafiando a força da gravidade por 40 a 60 m, ou mais, em elaboradas tubulações no xilema dos troncos. Sua última etapa passa pelas estruturas laminares evaporadoras das folhas, versáteis painéis solares químicos capazes de absorver a energia do sol e aproveitar a carícia dos ventos para transpirar e transferir copiosos volumes de água vaporosa para a atmosfera, completando assim o retorno do ciclo vertical iniciado com a chuva [Nobre 2014].

Calcule qual é o trabalho realizado contra a força peso para elevar 300 kg de água de uma altura de 60 m.

Preparando-se para o ENEM

5. (ENEM/2008) Os ingredientes que compõem uma gotícula de nuvem são o vapor de água e um núcleo de condensação de nuvens (NCN). Em torno desse núcleo, que consiste em uma minúscula partícula em suspensão no ar, o vapor de água se condensa, formando uma gotícula microscópica, que devido a uma série de processos físicos, cresce até precipitar-se como chuva.

Na Floresta Amazônica, a principal fonte natural de NCN é a própria vegetação. As chuvas de nuvens baixas, na estação chuvosa, devolvem os NCNs, aerossóis, à superfície, praticamente no mesmo lugar em que foram gerados pela floresta. As nuvens altas são carregadas por ventos mais intensos, de altitude, e viajam centenas de quilômetros de seu local de origem, exportando as partículas contidas no interior das gotas de chuva. Na Amazônia, cuja taxa de precipitação é uma das mais altas do mundo, o ciclo de evaporação e precipitação natural é altamente eficiente.

Com a chegada, em larga escala, dos seres humanos à Amazônia, ao longo dos últimos 30 anos, parte dos ciclos naturais está sendo alterada. As emissões de poluentes atmosféricos pelas queimadas, na época da seca, modificam as características físicas e químicas da atmosfera amazônica, provocando o seu aquecimento, com modificação do perfil natural da variação da temperatura com a altura, o que torna mais difícil a formação de nuvens.

Fonte: ARTAXO, Paulo et. al. O mecanismo da floresta para fazer chover. In: *Scientific American*. Brasil, ano 1, nº 11, abr. 2003. P. 38-45 (com adaptações).

Na Amazônia, o ciclo hidrológico depende fundamentalmente

- a) da produção de CO₂ oriundo da respiração das árvores.
- b) da evaporação, da transpiração e da liberação de aerossóis que atuam como NCNs.
- c) das queimadas, que produzem gotículas microscópicas de água, as quais crescem até se precipitarem como chuva.
- d) das nuvens de maior altitude, que trazem para a floresta NCNs produzidos a centenas de quilômetros de seu local de origem.

e) da intervenção humana, mediante ações que modificam as características físicas e químicas da atmosfera da região.

ATIVIDADE 10

2º Segredo: Nucleação das nuvens – o pó de pirlimpimpim do oceano verde

Oceano verde

Não deve ser surpresa que nos oceanos ocorra evaporação de água. O que não é claro e imediato, no entanto, é que na Floresta Amazônica a taxa de evaporação é mais expressiva do que no oceano. A explicação reside no fato de que em uma floresta, a cada m^2 de solo pode existir sobre si até 10 m^2 de área foliar, distribuídas em diferentes níveis, enquanto no oceano, 1 m^2 de área coincide com 1 m^2 de superfície evaporadora. Em 2013 foi publicado na *Nature*, uma das mais conceituadas revistas científicas do mundo, um estudo que afirma que quase 90% de toda a água que chega à atmosfera oriunda dos continentes chegou lá através da transpiração das plantas.

Observações do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission-Missão de Medição de Precipitação Tropical) [Nasa 2017] constataram que o ar acima da Floresta Amazônica é tão limpo de poeira como o ar acima dos oceanos. Observou-se também que as nuvens formadas nos dois ambientes são também muito parecidas.



Figura 7.23 Tipos de nuvens [Moss; Moss 2014]

Devido à imensidão do território amazônico, sua extrema capacidade de evapotranspirar água para atmosfera e das demais semelhanças com os oceanos, os pesquisadores que estudam esse ecossistema criaram o conceito de “**oceano verde**” para se referir à hileia.

No entanto, essa comparação tinha uma contradição, não muito intuitiva, que demorou para ser esclarecida: na Floresta Amazônica chove mais, bem mais do que nos oceanos. Parece ironia, mas no que diz respeito às chuvas, os oceanos tendem a aridez.

Veja as imagens abaixo do satélite TRMM, que identificou as chuvas do planeta ao longo do ano de 2011

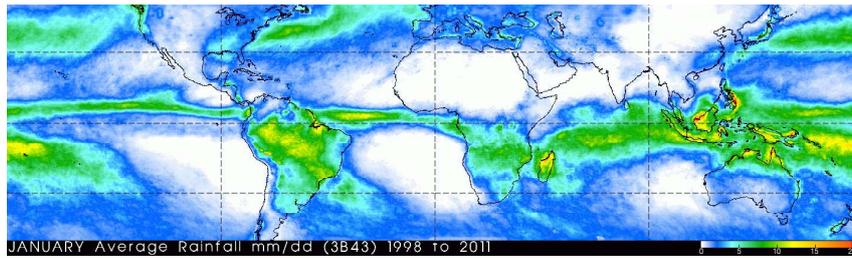


Figura 7.24 Chuvas no mês de janeiro de 2011 [Nasa 2017]

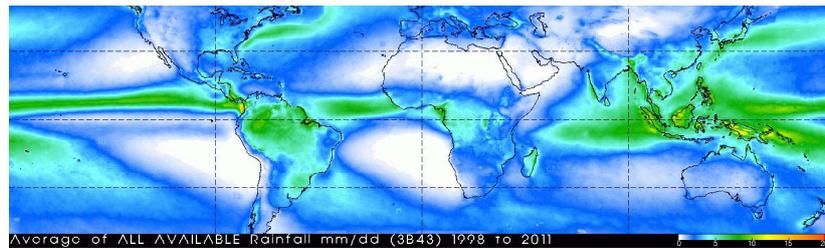


Figura 7.25 Chuvas anuais em 2011 [Nasa 2017]

Nestas figuras a escala indicada no canto direito inferior indicam o índice de precipitação. Quanto mais próximo do azul e branco, menor o índice de precipitação, ao passo que, quanto mais próximo do verde, amarelo e laranja, maior o índice de precipitação.

“O TRMM foi lançado em 1997, durante mais de doze anos o satélite voou entre a região tropical (30° +/-) de ambos lados do equador, executando 16 órbitas por dia. Seus principais instrumentos são: o radar de precipitação, o imageador de microondas, o scanner de radiação visível e infravermelha, o sistema de nuvens e energia radiante da Terra e o sensor de imageamento de raios.” [Passow 2010].

O intrigante é que as nuvens são formadas a partir do vapor d’água resfriado, porém apenas a temperatura não inicia esse processo. É necessário que o vapor d’água se aglutine em torno de alguma superfície sólida ou líquida (núcleos de condensação) para dar início a esse fenômeno. No entanto, como vimos a pouco, o ar da floresta é limpo de poeira. Então o que provoca as chuvas na floresta?

Abaixo está descrita uma atividade prática que ilustra a formação de nuvens.

Atividade prática¹⁴ – Nuvens e núcleos

Apresentação:

Quando a umidade relativa do ar chega a 100%, o ar fica saturado e o vapor de água começa a se condensar em gotículas. Quando essas gotículas se formam próximo ao chão, forma-se o nevoeiro ou névoa. Acima do chão, essas gotículas começam a fazer surgir uma nuvem. O vapor de água vai se condensar normalmente apenas sobre uma superfície, que, no caso dessas gotículas, são pequenas partículas de poeira, sal, pólen etc. Essas partículas de poeira no ar, sobre as quais ocorre a condensação, são chamadas de núcleos de condensação. Sobre o continente, existem cerca de 5 milhões a 6 milhões desses núcleos em cada litro de ar. Sobre os oceanos há cerca de 1 milhão também para cada litro de ar. Quanto maior for essa partícula que irá servir de núcleo de condensação, maior será a gota a ser formada.

Objetivo:

Mostrar que, para a formação de uma gota, é necessário que haja uma partícula sólida sobre a qual o vapor irá se condensar.

Sugestão de problematização:

Com exceção do ar supersaturado (umidade relativa maior que 100%), o vapor vai se condensar apenas se houver a presença de núcleos de condensação suspensos no ar. Você pode fazer gotículas de água rapidamente adicionando grandes partículas ao ar.

Materiais:

- 1 garrafa de PET de 2 litros
- 1 pitão de câmara de ar de pneu de bicicleta
- 1 bomba de encher pneu de bicicleta
- Água morna
- Fósforo

¹⁴ Retirada da obra *Explorando o ensino – mudanças Climáticas* [Oliveira; Silva; Henriques 2009]. Autores: Adelino Carlos de Souza (UERJ) e Giovanni Dolif Neto (INPE).



Figura 7.26 Materiais para a atividade prática “Nuvens e núcleos”

Procedimentos:

- Fixe o pitão de câmara de ar na tampinha da garrafa.
- Coloque um pouco de água morna na garrafa.
- Acenda o fósforo, apague-o, jogue-o na garrafa e em seguida feche-a.
- Aperte a garrafa e depois solte.
- Observe a formação de uma nuvem na garrafa.
- Com a bomba, coloque bastante ar dentro da garrafa, fazendo pressão.
- Libere a válvula do pitão e observe novamente a formação da nuvem.
- Quando aumentar a pressão, a garrafa fica transparente e, quando soltar, ela fica translúcida.

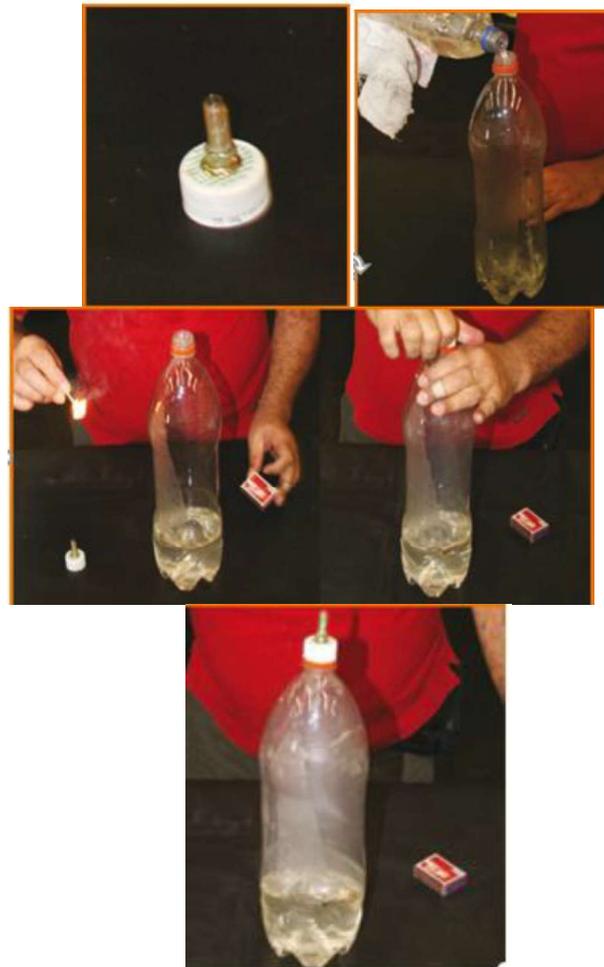


Figura 7.27 Procedimento da atividade prática “Nuvens e núcleos”

Orientações complementares:

Por que a utilização da bomba de ar e da válvula fez com que a pressão ficasse mais intensa?

O uso da bomba de ar fez com que a pressão dentro da garrafa aumentasse bastante, dificultando a condensação do vapor de água sobre as minúsculas partículas sólidas da fumaça do fósforo. Quando a válvula é acionada e o ar começa a sair, a pressão de dentro da garrafa cai rapidamente, fazendo com que mais vapor de água saia da água quente, aumentando a umidade do ar dentro da garrafa e favorecendo a formação das gotículas que formam a nuvem. Esse processo de queda de pressão acontece na natureza quando uma “bolha” de ar que é aquecida pelo Sol perto da superfície começa a subir por ser menos densa e então começa a sofrer uma queda de pressão com a altura, até chegar a uma determinada altura em que essa “bolha” de ar se condensa e forma

uma nuvem. Várias “bolhas” de ar que sobem numa área próxima se acumulam, formando grandes nuvens, que geram tempestades acompanhadas de chuva forte, rajadas de vento, raios, relâmpagos, trovões e até granizo.

Possíveis desdobramentos:

Estudar as mudanças de estado físico da água. Pesquisar a condensação em situações ligadas ao nosso dia-a-dia, como a destilação e a transformação de energia em turbinas termoelétricas ou ainda em situações que estão em estudo, como a criogenia [Oliveira; Silva; Henriques 2009].

Retomando a Floresta Amazônica, quando as árvores realizam fotossíntese elas liberam, além de água e O_2 , uma espécie de “perfume”, denominado *compostos orgânicos voláteis biogênicos*. Um exemplo desses compostos é o isopropeno. Verificou-se que, devido à radiação solar e à reação com água, esses perfumes emanados pela floresta geram uma espécie de poeira muito fina, que funciona como núcleos de condensação de chuva. Assim, a Floresta Amazônica gera tanto o vapor d’água como os núcleos de condensação de chuva [Nobre 2014].

Outra descoberta de grande importância é que esses compostos funcionam também como purificadores de ar. Observou-se, por exemplo, que a concentração de ozônio na Amazônia é bem menor que em regiões remotas, como a Antártida.

Os habitantes da floresta são privilegiados, pois respiram o ar mais puro do planeta, livre de poeira e de poluentes.

ATIVIDADE 11

Preparando-se para o ENEM

1. (ENEM/2008) As florestas tropicais estão entre os maiores, mais diversos e complexos biomas do planeta. Novos estudos sugerem que elas sejam potentes reguladores do clima, ao provocarem um fluxo de umidade para o interior dos continentes, fazendo com que essas áreas de floresta não sofram variações extremas de temperatura e tenham umidade suficiente para promover a vida. Um fluxo puramente físico de umidade do oceano para o continente, em locais onde não há florestas, alcança poucas centenas de quilômetros. Verifica-se, porém,

que as chuvas sobre florestas nativas não dependem da proximidade do oceano. Essa evidência aponta para a existência de uma poderosa “bomba biótica de umidade” em lugares como, por exemplo, a bacia amazônica. Devido à grande e densa área de folhas, as quais são evaporadores otimizados, essa “bomba” consegue devolver rapidamente a água para o ar, mantendo ciclos de evaporação e condensação que fazem a umidade chegar a milhares de quilômetros no interior do continente.

Fonte: NOBRE, A. D. *Almanaque Brasil Socioambiental*. Instituto Socioambiental, 2008, p. 368-9 (com adaptações).

As florestas crescem onde chove, ou chove onde crescem as florestas? De acordo com o texto,

- a) onde chove, há floresta.
- b) onde a floresta cresce, chove.
- c) onde há oceano, há floresta.
- d) apesar da chuva, a floresta cresce.
- e) no interior do continente, só chove onde há floresta.

2. Escreva um pequeno texto justificando a resposta a questão anterior.

3. As florestas tropicais regulam o clima, provocando um fluxo de umidade para dentro do continente. Em períodos de seca isso também acontece? A evapotranspiração nesse período é mais ou menos intensa? Justifique.

ATIVIDADE 12

3º Segredo: Bomba biótica de umidade – doar água para receber chuva

Qual a idade da Floresta Amazônica?

Estudos indicam que ela possui pelo menos 25 mil anos. Existem, no entanto, estimativas de que ela tenha até milhões de anos.

Uma pergunta instigadora é: como a floresta resistiu às mudanças climáticas naturais neste longo período?

O ar úmido vindo do oceano é fundamental para a manutenção do ecossistema amazônico. Como discutimos na atividade “Como se formam as brisas”, a combinação das correntes de convecção acima das águas dos oceanos na região tropical e do movimento de rotação da Terra dão origem à célula de Hadley, que por sua vez é a responsável pelos ventos alísios, que leva naturalmente umidade à região amazônica.

No entanto, a existência desses ventos explicaria apenas a umidade presente nos primeiros quilômetros da costa. Nobre explica que:

A Floresta, por evaporar com muita facilidade, gera zonas de baixas pressão, fazendo com os ventos alísios não percorram apenas alguns quilômetros, como deveria ser, mas avancem floresta adentro. Então, as florestas evaporam quantidades colossais de água, liberam perfumes que funcionam como sementes de chuva e a consequência disso é que consegue importar ar úmido do oceano.

[...]

Ao contrário, se a floresta for removida, o continente terá muito menos evaporação do que o oceano contíguo – com a consequente redução na condensação – o que determinará uma reversão nos fluxos de umidade, que irão da terra para o mar criando um deserto onde antes havia floresta. [Nobre 2014]

Os pesquisadores Makarieva e Gorshkov desenvolveram uma teoria denominada “bomba biótica de umidade”, na qual uma das previsões é de que em períodos de seca mais intensa as árvores da Floresta Amazônica evaporam mais água do que em outras situações. Esse fato contraria tanto nosso senso comum (pois sabemos que em períodos secos as plantas, quando não regadas, morrem), como o conhecimento mais técnico dos ecofisiologistas sobre outros ecossistemas, onde nesses períodos os estômatos das plantas tendem a ficar fechados para economizar água.

4° Segredo: Rios aéreos – água fresca pelas artérias suspensas

Se você analisar as paisagens ao longo de um mapa mundi, observará que, ao longo da linha do Equador estarão concentradas as florestas tropicais, enquanto na região compreendida entre as linhas correspondentes aos trópicos de Câncer e Capricórnio está concentrada a maior parte dos desertos. Observe

a figura abaixo, onde as regiões em marrom são os desertos. Você consegue nomeá-los?

Tal fato é explicado por um fenômeno já estudado em nossas atividades: “A célula de Hadley”. Por um processo de transferência de calor por convecção, a umidade do ar fica concentrada na região equatorial, enquanto nas demais regiões da faixa tropical prevalece ar seco, favorecendo assim a formação de desertos.

Grande parte do território brasileiro está situada nesta faixa de desertos. Por que então não observamos esse clima por aqui?

Salati e colaboradores, por meio de assinaturas químicas do vapor de água oriunda do oceano, da água que voltava ao Atlântico através da bacia Amazônica, que a floresta devia exportar quantidades significativas de vapor d’água para a região centro-sul. Análises posteriores concluíram que as chuvas nessa região vêm da Floresta Amazônica. A grande quantidade de vapor d’água evapotranspirada pela Amazônia é empurrada pelos ventos alísios para o oeste, e a Cordilheira dos Andes bloqueia este vapor. Parte dele precipita ali, alimentando as cabeceiras do Rio Amazonas; outra parte viaja para o sul, distribuindo auspiciosas chuvas na região centro meridional da América do Sul. Esse fenômeno foi popularizado como “**rios voadores da Amazônia**”¹⁵.

¹⁵ Você pode obter mais informações sobre este fenômeno em <http://riosvoadores.com.br>.



Figura 7.30 Os rios voadores da Amazônia [Moss; Moss 2014]

A assinatura química mencionada consiste em fazer uma **análise isotópica** de amostras de água.

Na tabela periódica estão listados todos os elementos químicos conhecidos. No entanto, para cada elemento presente na tabela, existe uma série de isótopos, ou seja, átomos que apresentam a mesma quantidade de prótons, porém com um número diferente de nêutrons. Como na formação de uma molécula a interação mais importante é a elétrica, a quantidade de nêutrons no núcleo exerce pouca influência na ligação química entre os átomos.

Por exemplo, a fórmula molecular da água é H_2O , mas na natureza existem os isótopos:

- 1H , que apresenta apenas um próton e é o que está presente na tabela periódica. Também chamado de prótio.
- 2H que possui um próton e um nêutron em seu núcleo atômico. Também chamado de deutério.

- ^3H possui dois nêutrons e um próton em seu núcleo atômico. Também chamado de trítio.
- ^{16}O , que apresenta oito prótons e oito nêutrons em seu núcleo atômico.
- ^{17}O , que apresenta oito prótons e nove nêutrons em seu núcleo atômico.
- ^{18}O , que apresenta oito prótons e dez nêutrons em seu núcleo atômico.

Existem, então 27, possibilidades de se formar uma molécula de água (pelo **Princípio Fundamental de Contagem**: 3 possibilidades de escolher o primeiro isótopo de hidrogênio X 3 possibilidades de escolher o segundo isótopo de hidrogênio X 3 possibilidades de se escolher um isótopo de oxigênio).

A **Análise Isotópica** é a técnica utilizada pelos cientistas para se medir qual é proporção de determinados isótopos em uma determinada amostra. Ela é feita a partir de um instrumento chamado **espectrômetro de massas**, que consiste na geração de íons a partir da amostra estudada, para então submetê-los a campos elétricos e magnéticos, e verificar sua trajetória. Esse estudo é fundamental para diversas áreas, como a Ecologia, Ciência Forense, Agronomia, Geologia e Arqueologia. Em cada local do planeta, como oceanos, rios, continente, etc., existe uma certa proporção desses isótopos. Analisando essas proporções, pode-se traçar o itinerário percorrido, não apenas pela água, mas pelos outros elementos dos ciclos biogeoquímicos.

A partir da análise isotópica de amostras d'água obtidas em diversas regiões brasileiras, feitas principalmente pelo Centro de Energia Nuclear para Agricultura da Universidade de São Paulo (Cena-USP) em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, foi possível traçar um mapa das chuvas em nosso país.

5° Segredo: Dossel rugoso – freio de arrumação nos ventos

Faça uma busca na internet sobre um mapa de furacões. A diferença entre os termos ciclones, tufões e furacões é apenas uma questão geográfica; ou seja, dependendo de onde o fenômeno ocorre é atribuído um nome diferente. Assim quando ocorre no Oceano Atlântico ou Pacífico Leste, chama-se **furacão**. No Pacífico Oeste, **tufão**. E os dois fenômenos são classificados como ciclones [Terra 2017]. Você deve observar algo curioso, de que, ao que parece, não há esse tipo de fenômeno extremo sobre a Amazônia. Segundo, Nobre:

“Makarieva e Gorshkov demonstraram teoricamente como uma grande área terrestre coberta por floresta não permite a formação de furacões e outros padrões climáticos anômalos, incluindo secas e enchentes. Em sua explicação, a fricção turbulenta local com o dossel da floresta -que transpira ativamente, o que resulta em chuvas uniformes sobre grandes áreas-, e a tração do vento pela bomba biótica em distâncias maiores diminui muito a chance de organização de tormentas como tornados ou furacões. As trajetórias registradas dos furacões comprovam o ambiente ameno nas regiões cobertas por florestas extensas e áreas oceânicas próximas⁵⁰. Ou seja, além de todos os outros serviços da floresta ao clima, ela ainda oferece um seguro contra destrutivos eventos atmosféricos, atenuando a concentração de energia nos ventos!” [Nobre 2014]

Vejamos na atividade prática abaixo, alguns fatos sobre a medida da velocidade dos ventos.

Atividade Prática¹⁶ – Velocidade do vento

Apresentação:

O movimento horizontal das parcelas de ar em relação à superfície terrestre é definido como vento. O vento também aparece quando massas de ar se deslocam seguindo o princípio físico simples em que um fluido (como o ar) sujeito à ação da gravidade se move das áreas de alta densidade (alta pressão à superfície) para as de baixa densidade (baixa pressão à superfície). Diariamente, muitos profissionais necessitam saber qual é, aproximadamente, a intensidade do vento naquele instante. Foi pensando nisto que, em 1806, um marinheiro chamado Francis Beaufort (1774-1857) teve a idéia de relacionar

¹⁶ Retirada da obra *Explorando o ensino – mudanças climáticas*. Autores: Helio Camargo Júnior (Inpe), Giovanni Dolif Neto (Inpe), Gilvan Sampaio (Inpe), Lana Nárcia Leite da Silveira (EEB), Marcos Barbosa Sanches (Inpe) e Maria Emília Mello Gomes (AEB/Programa AEB Escola).

fatos observados com a intensidade do vento, criando então a chamada “Escala Beaufort”. Essa escala vai de 0 (vento calmo) até 12 (furacão).

Na tabela a seguir, podemos ver a relação visual e a intensidade aproximada do vento.

	FORÇA	DESIGNAÇÃO	VELOCIDADE	ASPECTO DO MAR	INFLUÊNCIA EM TERRA
	0	Calma	0 – 0,5 km/h	Espelhado	A fumaça sobe verticalmente.
	1	Vento brando e fresco. Viração	2 – 6 km/h	Mar encrespado com pequenas rugas, com aparência de escamas.	A direção do vento é indicada pela fumaça.
	2	Brisa leve	7 – 12 km/h	Ligeiras ondulações de 30 cm, com cristas, mas sem arrebentação.	Sente-se o vento no rosto, movem-se as folhas das árvores.
	3	Brisa fraca	13 – 18 km/h	Grandes ondulações de 60 cm com princípio de arrebentação.	As folhas das árvores se agitam e as bandeiras desfraldam.
	4	Brisa moderada	19 – 26 km/h	Pequenas vagas, mais longas, de 1,5 m.	Poeira e pequenos papéis soltos são levantados. Movem-se os galhos das árvores.
	5	Brisa forte	27 – 35 km/h	Vagas moderadas de forma longa e uns 2,4 m.	Movem-se as pequenas árvores.
	6	Vento fresco	36 – 44 km/h	Grandes vagas de até 3,6 m. Muitas cristas brancas.	Assobios na fiação. Movem-se os maiores galhos das árvores. Guarda-chuva usado com dificuldade.

	7	Vento forte	45 – 54 km/h	Mar grosso. Vagas de até 4,8 m de altura. Espuma branca de arrebatção.	Movem-se as grandes árvores. É difícil andar contra o vento.
	8	Ventania	55 – 65 km/h	Vagalhões regulares de 6 a 7,5 m de altura.	Quebram-se os galhos das árvores. É difícil andar contra o vento.
	9	Ventania forte	66 – 77 km/h	Vagalhões de 7,5 m com faixas de espuma densa. O mar rola.	Danos nas partes salientes das árvores. Impossível andar contra o vento.
	10	Tempestade	78 – 90 km/h	Grandes vagalhões de 9 m a 12 m. O vento arranca as faixas de espuma. A superfície do mar fica toda branca. A visibilidade é afetada.	Árvores são arrancadas. Danos na estrutura dos prédios.
	11	Tempestade violenta	91 – 104 km/h	Vagalhões excepcionalmente grandes, de até 13,5 m. A visibilidade é muito afetada. Navios de tamanho médio somem no cavado das ondas.	Muito raramente observado em terra.
	12	Furacão	105 ou mais km/h	Mar todo de espuma. Espuma e respingos saturam o ar. A visibilidade é seriamente afetada.	Grandes estragos.

Figura 7.29 Velocidade dos ventos.

Como o vento representa as variações espaciais de pressão, ele possui características como velocidade, direção e sentido. Todas essas informações podem ser coletadas por um instrumento conhecido como anemômetro.

Objetivos:

- Construir um medidor de intensidade de vento chamado anemômetro.
- Utilizar uma escala que permite conhecer a intensidade aproximada do vento.

Sugestão de problematização:

É possível estimar a velocidade do vento? Você consegue, estando dentro do carro, estimar a velocidade do carro sem ver o velocímetro?

Materiais:

- 1 régua de 30 cm
- 1 tesoura pequena
- 1 transferidor
- 1 capa de caneta esferográfica
- 1 caneta hidrocor
- Cola
- 2 cartolinas em cores diferentes (laranja e vermelha)
- 1 canudo
- 1 vareta de madeira de fazer pipa
- 1 percevejo
- 1 garrafa PET com água ou areia até a metade



Figura 7.30 Materiais.

Procedimentos:

- Corte a cartolina laranja no tamanho 10 cm x 24 cm.
- Dobre-a ao meio e cole a vareta de madeira na dobra feita. Esta será a base do seu medidor de vento.
- Com o transferidor, desenhe na cartolina laranja um arco de 90°.
- Recorte-o e divida-o, com marcas de caneta, em intervalos de 15°. Esta será a escala de medição do seu medidor de vento.
- Corte uma tira da cartolina vermelha (17 cm x 1 cm) e cole-a no canudo, da ponta para o centro. Este será o ponteiro do seu medidor de vento.
- Sobreponha as peças feitas anteriormente, uma sobre as outras, e prenda-as com o percevejo na vareta colada.
- Para a fabricação da base, pegue a garrafa e encha com água ou areia.
- Fure a tampa da garrafa e insira a capa de caneta.
- Fixe a capa de caneta com metade para dentro da garrafa.
- Insira a vareta de madeira na capa de caneta.
- Fixe a garrafa em um local com vento e observe a direção do mesmo.

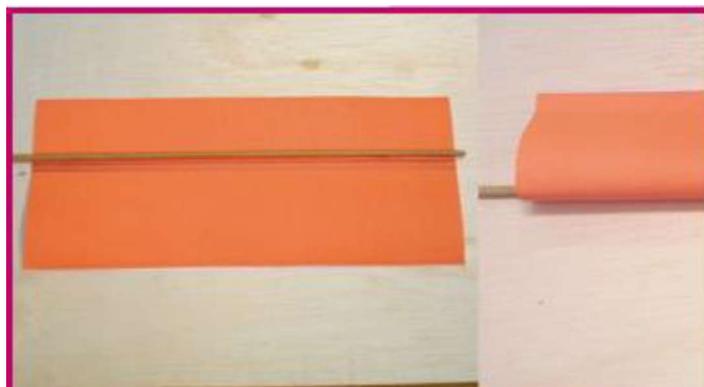


Figura 7.32 Demosntração do procedimento 1.

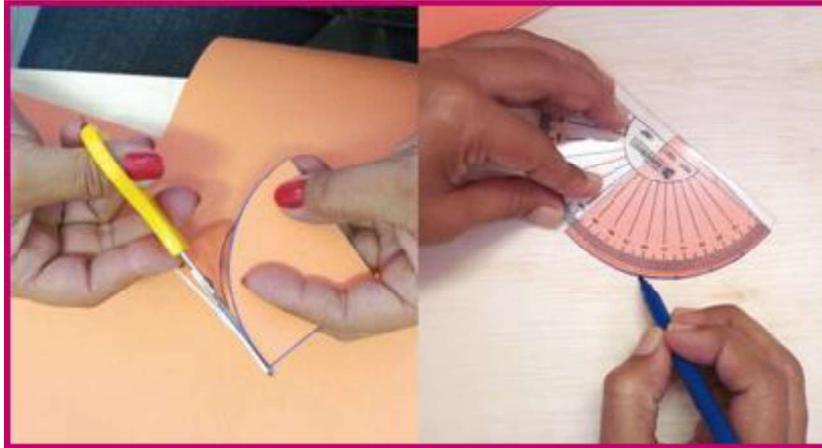


Figura 7.32 Demonstração do procedimento 2.

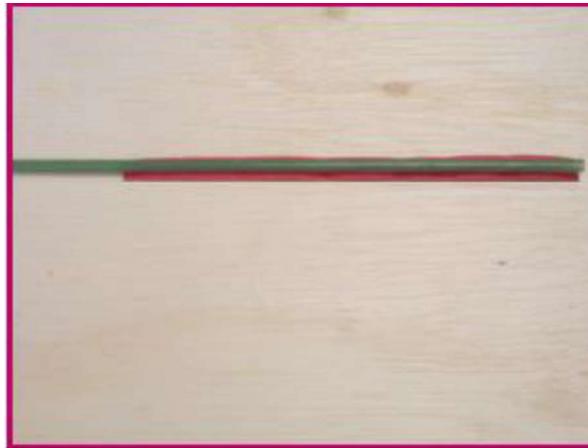


Figura 7.33 Demonstração do procedimento 3.

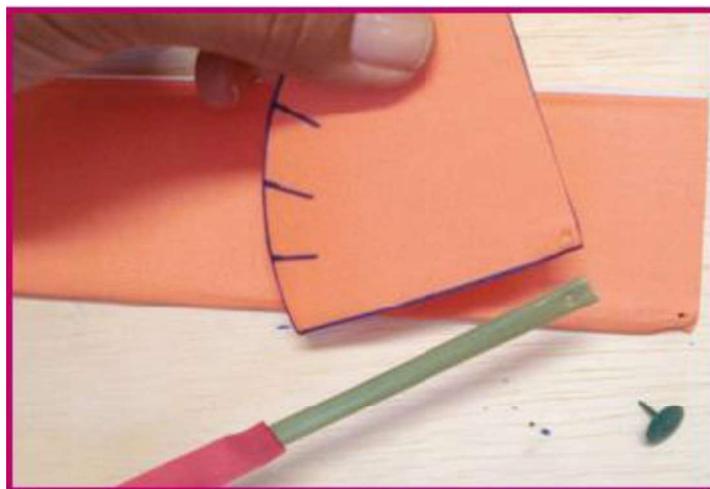


Figura 7.34 Demonstração do procedimento 4.



Figura 7.35 Demonstração do procedimento 5.



Figura 7.36 Demonstração do procedimento 6.

Orientações complementares:

É padronizado que a direção e o sentido do vento são definidos com relação ao norte geográfico. Assim, quando o anemômetro registra ventos de nordeste, isto significa que o vento escoar na direção nordeste-sudoeste, originando-se do sentido nordeste. Nos aeroportos de todo o mundo, a unidade de medida para velocidade do vento é o “nó”: 1 nó equivale a 1,85325 km/h.

Possíveis desdobramentos:

Estimule o aluno a fazer experimentos de campo, relacionando a intensidade do vento ao seu cotidiano. Faça uma excursão em aeroportos ou aeroclubes, na área onde é realizada a medição do vento e de outras variáveis atmosféricas;

Estimule o aluno a conversar com o observador meteorológico. Incentive o aluno a fazer uma pesquisa sobre o poder energético do vento (energia eólica). Estimule o aluno a preparar esta experiência numa feira de ciências, colocando em forma de cartaz a Escala Beaufort.

Atenção!

A atividade aqui exposta deve ser desenvolvida, de preferência, sob a supervisão do professor. Vale lembrar que é sempre recomendável cuidado no manuseio de materiais como tesoura, fósforo e outros que podem ferir quando usados inadequadamente.

ATIVIDADE 13

Vinícius de Moraes, em seu poema *O operário em construção*, fala da importância de quando nós, sujeitos em construção, adquirimos a dimensão da poesia

*“Foi dentro da compreensão
Desse instante solitário
Que, tal sua construção
Cresceu também o operário.
Cresceu em alto e profundo
Em largo e no coração
E como tudo que cresce
Ele não cresceu em vão
Pois além do que sabia
- Exercer a profissão -
O operário adquiriu
Uma nova dimensão:
A dimensão da poesia.”*

No nosso primeiro encontro, discutimos como os temas relacionados à água e as mudanças climáticas são comentadas na mídia e como essas questões impactam diretamente nossas vidas. O verso **“os rios voadores mal deságuam por aqui”**, da música *Quede Água*, de Lenine, levou-nos a um percurso onde estudamos os conceitos de temperatura, pressão, estados da

matéria e suas mudanças, calor e teoria do caos. E para “não dizer que não *falamos* das flores”, vimos como esses conceitos nos ajudam a entender que a Floresta Amazônica é um sistema vivo e complexo que influencia o tempo e o clima local, regional e global, e, portanto, precisa ser conservada.

Para além de se conseguir converter temperaturas entre as escalas Celsius, Fahrenheit ou Kelvin, ou de se calcular quanta energia é necessária para evaporar a água de um dia amazônico, de entender os cálculos relacionados à pressão e como ela influencia os pontos de fusão e ebulição das substâncias, de entender que o clima é um fenômeno complexo, valendo a teoria do caos, ou ainda, como estes conceitos nos ajudam a entender o processo dos rios voadores da Amazônia, espera-se que esses temas colaborem para a formação de operários, professores e estudantes em construção. E que isso também ajude a cumprir os versos de nosso poeta camarada:

*E foi assim que o operário
Do edifício em construção
Que sempre dizia sim
Começou a dizer **não**.*

Dizer **não** é um imperativo nesses tempos onde sombras do passado bradam contra a liberdade, contra a democracia, contra a arte e contra a vida!

Saravá!

Para avaliarmos o saldo deste percurso, refaça o item a seguir, retirado da atividade 1:

Levando em conta que as águas do planeta obedecem a um certo ciclo, represente de forma esquemática, no espaço abaixo, como compreende esse ciclo, inserindo agora os elementos e conceitos aprendidos nas últimas aulas.