

ESTADOS FÍSICOS DA ÁGUA

Antônio Carlos de Castro

Angelina Sofia Orlandi

Dietrich Schiel

A superfície do planeta Terra é um dos poucos lugares no universo onde a água pode ser encontrada em seus três estados: sólido (gelo), líquido e gasoso (vapor). As transições entre esses estados ocorrem o tempo todo e têm um importante papel na manutenção das condições climáticas e da vida. Os seres vivos, constituídos principalmente de água, interagem e dependem dessas mudanças.

Como todas as substâncias químicas, a água é formada por moléculas. Uma só gota de água é composta por trilhões e trilhões delas. A molécula é o que caracteriza a substância: a de água, no estado sólido, líquido ou gasoso, é formada por um átomo do elemento oxigênio ligado a dois átomos do elemento hidrogênio. É importante não confundir elementos com substâncias: o elemento é caracterizado por um tipo de átomo, existindo um pouco mais de cem tipos, e as moléculas são formadas por combinações de átomos, o que possibilita a existência de um número praticamente infinito de tipos de moléculas. Assim, dois átomos de oxigênio se unem para formar a molécula da substância oxigênio que encontramos na atmosfera, enquanto a união de três átomos de oxigênio produz a substância ozônio, com propriedades bastante diferentes da substância oxigênio.

O estado físico de uma substância é determinado pela forma como as moléculas se agregam formando os corpos¹. No estado gasoso as moléculas não estão ligadas e movimentam-se livremente, ocupando todo o espaço disponível. No estado líquido as moléculas estão ligadas de modo a não conseguir afastar-se muito umas das outras, porém não ocupam posições fixas, podendo deslocar-se livremente desde que não se afastem. Por isso os líquidos têm um volume definido, mas não uma forma definida, assumindo a forma do recipiente. No estado sólido as moléculas estão ligadas de modo que não podem mudar de posição, por isso os sólidos têm forma e volume definidos.

O estado físico em que uma determinada substância se apresenta depende principalmente da temperatura e da pressão. Variando-se a temperatura e a pressão, podemos fazer com que a substância passe de um estado para outro. Nessas transformações, as moléculas mantêm sua estrutura, isto é, a molécula de água é a mesma em qualquer um dos estados. As relações entre átomos, moléculas e os estados físicos dos corpos estão representados na Figura 1.

¹A palavra corpo pode ter muitos significados, aqui a usamos no sentido de tudo aquilo que tem existência física e ocupa lugar (dicionário Houaiss).

Como a observação e o estudo das transformações de estado independem da compreensão da estrutura molecular, esses itens podem integrar o conteúdo dos alunos das séries iniciais, sem nenhuma referência ao seu significado microscópico. É isto que pretendemos neste módulo. O objetivo das atividades a seguir é levar os alunos a identificarem os três estados físicos da substância água, descrevendo em que condições podem ocorrer as mudanças de um estado para outro e relacionando-as a fenômenos (sejam naturais, sejam decorrentes de atividades humanas) observados em seu cotidiano.

As atividades são adequadas para alunos do 1º ao 5º ano, mas também podem ser utilizadas em anos posteriores desde que o professor complemente as informações e discussões com o que achar conveniente.

Uma dificuldade refere-se à identificação do vapor d'água, que é invisível e não tem cheiro. A névoa que vemos próxima da panela no fogo, dos alimentos quentes, do congelador da geladeira ou de nossas bocas num dia muito frio não é vapor d'água. O que vemos são pequenas gotas resultantes da condensação do vapor d'água ao encontrar uma região fria, ou seja, água já em estado líquido. O vapor d'água é sempre invisível, tal como os outros gases da atmosfera, mas a névoa é uma clara indicação da presença do vapor. Na atividade sobre ebulição essa dificuldade estará mais relacionada ao emprego da terminologia correta na descrição do processo observado. Já naquelas sobre evaporação, essa dificuldade será mais evidente, mas espera-se que só seja explicitada quando a condensação for abordada. É importante que os alunos percebam que o vapor d'água é um dos componentes do ar, que está ao nosso redor o tempo todo e que sentimos os seus efeitos mesmo que não possamos vê-lo.

Vapor é um gás que pode ser liquefeito apenas pelo aumento da pressão. Na água isto ocorre até 371°C, que é sua temperatura crítica. Cada tipo de gás tem uma temperatura crítica característica. Como na superfície da Terra a temperatura é quase sempre inferior a 371°C, chamamos o gás da água de vapor d'água.

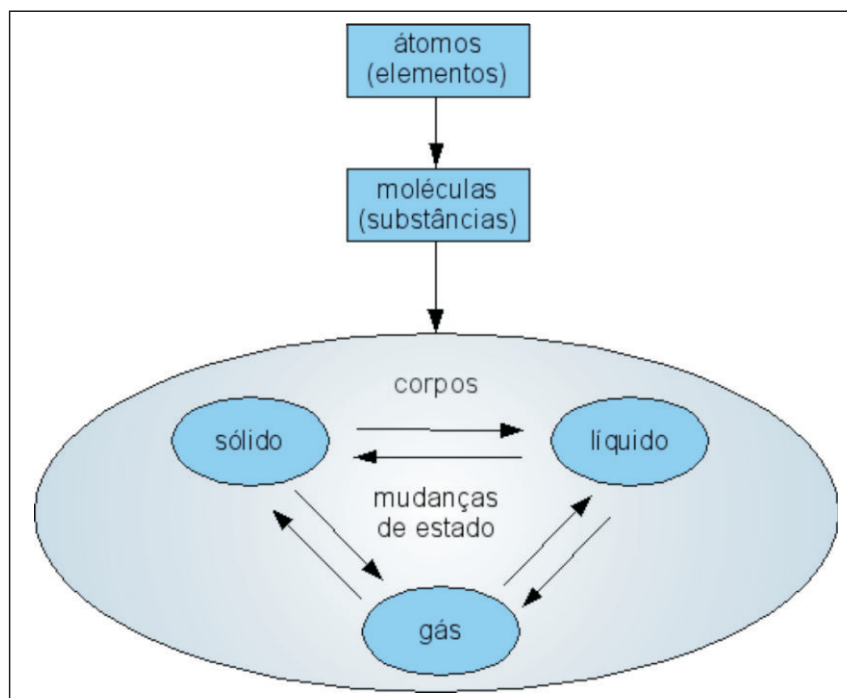


Figura 1. Relações entre átomos, moléculas e os estados físicos dos corpos.

Objetivos

- Entender as transformações que ocorrem no ciclo da água.
- Investigar o que acontece com a água quando ferve.
- Verificar que a temperatura não se altera durante a ebulição, fusão e solidificação.
- Determinar as temperaturas de ebulição, fusão e solidificação da água.
- Diferenciar a ebulição e evaporação da água.
- Encontrar as condições que fazem o vapor d'água condensar.
- Perceber que a atmosfera contém vapor d'água e entender o que é o “embaçamento”.
- Compreender o mecanismo de formação de chuva.
- Observar como as plantas e os animais contribuem para a presença de água no ar.
- Investigar o que acontece com o gelo quando derrete.
- Verificar que o mesmo volume de gelo e água líquida têm massas diferentes.

Materiais

Tubos de ensaio
Béqueres para aquecimento - 100ml
Conta-gotas
Termômetros (-10 – +110°C)
Lamparinas
Suporte para aquecimento
Tela refratária
Abanador, ventilador ou secador de cabelo
Sacos plásticos transparentes
Papel alumínio
Papel absorvente
Tesoura
Caneta hidrográfica
Sílica gel
Potinhos plásticos de mesma forma e mesmo volume
Sal de cozinha
Colher
Balança de pratos
Cronômetro (opcional)
Elásticos de látex e de costura
Gelo
Funil
Cuba plástica transparente
Algodão
Massinha de modelar
Fósforos
Pedaço de pano
Martelo
Água e álcool

VAPORIZAÇÃO

Chama-se vaporização a transformação de uma substância do estado líquido para o estado gasoso. O líquido, ao contrário do gás, é caracterizado por uma superfície bem definida. Dependendo da maneira como ocorre em relação à superfície do líquido, a vaporização recebe nomes diferentes: evaporação, ebulição ou calefação.

Se ocorre de maneira lenta através da superfície, é chamada **evaporação**. É o fenômeno que observamos quando a água seca à temperatura ambiente.

A velocidade de evaporação aumenta com a elevação da temperatura. Existe uma temperatura em que a mudança de estado passa a ocorrer no interior do líquido com a formação de bolhas: é a **ebulição**. A temperatura em que isso ocorre depende da pressão sobre o líquido. Variando a pressão, varia também a temperatura de ebulição desse líquido. Se continuarmos a aquecer o líquido depois que a ebulição se inicia, não observamos mais aumento na temperatura; toda a energia fornecida serve apenas para vaporizar o líquido.

A **calefação** ocorre quando a transmissão de calor para o líquido é tão rápida que a superfície atinge a temperatura de ebulição antes que o interior do líquido se aqueça. É o que observamos, por exemplo, quando jogamos algumas gotas de água sobre uma chapa de metal muito quente.

Nas atividades a seguir estudaremos a ebulição e a evaporação da água.

Atividade 1. Ebulição

A ebulição é um processo rápido de vaporização que ocorre a uma temperatura fixa. Quando colocamos água para ferver, esse processo pode ser facilmente observado pela formação de bolhas de vapor d'água no fundo do recipiente e que sobem no meio líquido. Como a temperatura de ebulição depende da pressão sobre a água, ao nível do mar essa temperatura é de

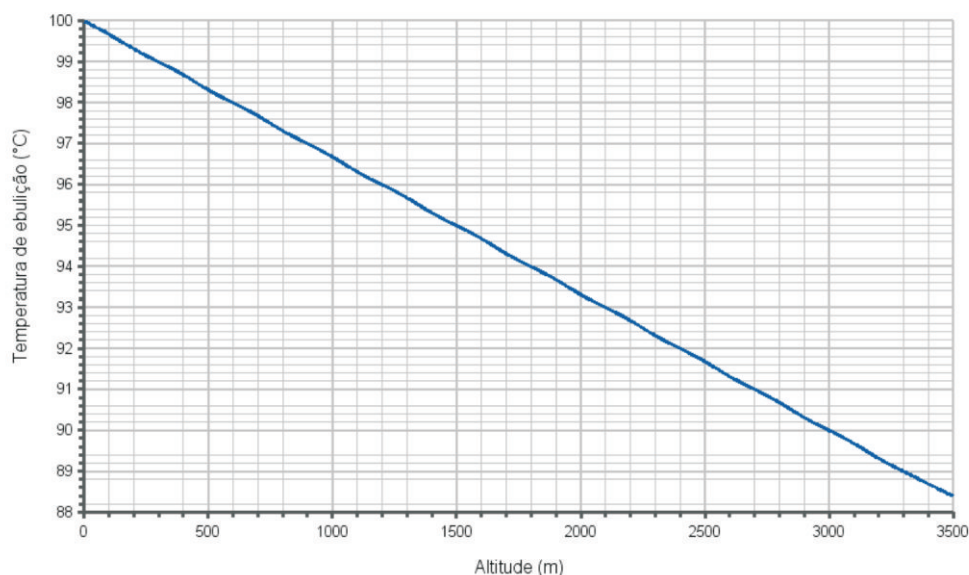


Figura 2. Ponto de ebulição da água em função da altitude.

Calculado a partir dos dados contidos no Handbook of Chemistry and Physics 63rd ed., CRC Press, pp D196-D197.

exatamente 100°C. Em altitudes maiores, porque a pressão atmosférica é menor, a água ferve em temperaturas mais baixas. Por exemplo, em São Carlos, que está a aproximadamente 800m acima do nível do mar, a água ferve a 97°C. A Figura 2 apresenta um gráfico do ponto de ebulição em função da altitude, que o professor pode usar para saber qual é a temperatura em que a água ferve na sua cidade.

Nesta atividade os alunos observam o processo de aquecimento e de ebulição da água. Poderão utilizar aparelhos como termômetros e cronômetros, o que torna o experimento bastante rico e instigante.

O professor inicia a atividade apresentando o material experimental e solicitando que os alunos descrevam, a partir de suas lembranças e conhecimentos, o que esperam observar a partir do momento em que o fogo é aceso (Figura 3). A descrição pode ser estimulada por perguntas como: *Como a água está antes de acender o fogo (presença de bolhas, agitação etc.)? Qual deve ser a temperatura antes de acender o fogo? O que acontece com a temperatura depois que o fogo é aceso? O que podemos observar enquanto a água esquenta? Como sabemos que a água começou a ferver? O que deve acontecer se a água ficar fervendo durante bastante tempo?*

Os alunos, em grupos, discutem e registram suas hipóteses sobre o que esperam observar. Essas hipóteses devem ser bem detalhadas, incluindo o que esperam ver e ouvir, o comportamento da temperatura, a presença de bolhas e névoa etc. Desenhos e descrições podem ajudar na clareza e detalhamento das expectativas. As hipóteses são apresentadas e discutidas com toda a classe, elaborando-se um conjunto de hipóteses coletivo, incluindo os pontos em que não há consenso.

Terminada esta etapa, novamente em grupos, os alunos elaboram um procedimento para o teste das hipóteses. O material experimental pode ser disponibilizado para que os alunos manipulem e esclareçam dúvidas.

É importante que haja um detalhamento das atividades: o que será observado, como as tarefas serão distribuídas entre os componentes do grupo, como as observações serão registradas. Hipóteses claramente enunciadas facilitarão a descrição sobre o que observar. Toda a classe deve discutir os procedimentos propostos, avaliando para cada caso se as hipóteses são testadas e quais os resultados esperados. Não é necessário que todos sigam o mesmo procedimento, mas que todos os procedimentos e resultados sejam discutidos e compreendidos pela classe, comparando as vantagens e desvantagens para cada um.

Alguns alunos podem sugerir a observação do vapor, cuja invisibilidade o professor pode abordar, ao mesmo tempo em que sugere, como um “sensor” para a presença do vapor, o uso do embaçamento produzido sobre uma placa de vidro aproximando-se brevemente do líquido (Figura 4). É interessante que os alunos notem que o embaçamento é resultado da formação de



Figura 3. Material utilizado no experimento de ebulição da água.

minúsculas gotas sobre o vidro frio. Conclui-se assim que a névoa que percebemos ali é resultado do encontro do vapor d'água invisível com o ar frio, provocando o aparecimento de pequeninas gotas d'água. Esse tema será abordado na atividade sobre condensação.

O professor deve estar atento para uma série de detalhes durante a elaboração do procedimento, alertando os alunos caso não surjam espontaneamente, por exemplo, menções à quantidade de água. Com o béquer e a lamparina do CDCC, a quantidade ideal é de 40mL, o que permite a realização do experimento em tempo relativamente curto e com apenas uma carga de álcool. Se for usar material diferente, é necessário realizar testes que permitam determinar as condições mais favoráveis.

Os alunos podem registrar da forma que considerarem melhor ou o professor pode propor que os resultados sejam apresentados numa tabela. É interessante que haja mais de um modo de registro para que, na discussão dos resultados, seja possível uma comparação entre eles. A Tabela 1 é uma boa sugestão para os alunos.



Figura 4: Observando o vapor de água condensado sobre uma placa de vidro.

Tabela 1. Exemplo de tabela para observação da ebulição

Temperatura (°C)	O que se observa
	(continua....)

Facilitará bastante a discussão posterior enfatizar previamente a importância dos registros de temperatura sempre que alguma alteração for notada.

Para que os alunos conheçam o funcionamento do termômetro e sua escala, sugerimos que sejam disponibilizados três recipientes contendo água gelada, água na temperatura ambiente e água quente, para que realizem leituras de temperaturas diferentes.

Finalmente os alunos realizam o experimento seguindo os procedimentos escolhidos e apresentam seus registros em uma discussão coletiva. Além dos resultados, da confirmação ou não das hipóteses e das descobertas (fatos não previstos), o grupo deve escolher a melhor forma de registro para o experimento, bem como incluir conclusões sobre a verificação das hipóteses

Os termômetros podem ser de mercúrio ou álcool. Aconselha-se utilizar termômetro com coluna de álcool, pois, em caso de quebra, o mercúrio é tóxico e deve ser cuidadosamente recolhido.

O termômetro de laboratório sempre indica a temperatura do bulbo, enquanto o termômetro clínico retém a leitura máxima até que seja agitado. Por isso o termômetro de laboratório *não precisa e não deve ser agitado*.

levantadas e empregar o vocabulário adequado para descrever os fenômenos. Pode ser sugerida uma pesquisa bibliográfica para esclarecer termos como vapor, fumaça, ebulição, nuvem, gás etc.

Espera-se que os alunos percebam que a temperatura inicial da água, ou seja, antes de começar o aquecimento, corresponde à temperatura do ambiente; que a temperatura se eleva durante o aquecimento até o momento em que começa a ferver, e que a partir de então fica constante. A temperatura de ferver será a *temperatura de ebulição da água* no local. Com as séries mais avançadas, o professor pode conversar sobre a influência da pressão atmosférica na temperatura de ebulição. Isto é importante quando os alunos das regiões acima do nível do mar não encontrarem uma temperatura de ebulição igual a 100°C.

Outro fato que merece atenção é o aparecimento de pequenas bolhas em temperaturas próximas de 50°C. Em geral os alunos não têm dificuldades em notar a diferença entre o comportamento dessas bolhas e o daquelas que surgem durante a ebulição, caracterizadas por um crescimento rápido, deslocamento para a superfície e agitação da água. Para as séries mais avançadas, o professor pode falar sobre a diferença na composição dos dois tipos de bolhas: umas são de ar e as outras de vapor d'água. As bolhas de ar não aparecem se a água foi fervida um pouco antes.

O ar é composto por 78% de nitrogênio (N_2), 21% de oxigênio (O_2), além de dióxido de carbono (CO_2), vapor d'água (H_2O) e gases inertes.

O ar se dissolve na água, mais ou menos como dissolvemos o açúcar. Isto quer dizer que, entre as moléculas de água (H_2O), podemos encontrar moléculas de nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) etc. A quantidade de ar dissolvido na água depende de fatores tais como profundidade, temperatura, grau de agitação da água – cachoeiras e corredeiras oxigenam muito a água – e da presença de flora, fauna e poluentes. Elevando a temperatura, diminui a capacidade da água em dissolver o ar, que se separa formando pequenas bolhas.

É do ar dissolvido na água que os peixes e toda a vida aquática retiram o oxigênio (O_2) para respirar. É importante distinguir este oxigênio (molécula) do elemento oxigênio encontrado na molécula de água. Os seres vivos não conseguem “respirar” o oxigênio da molécula de água e sim a molécula do gás oxigênio.

Atividade 2. Evaporação

A evaporação é um processo lento de vaporização, que ocorre através da superfície da água a uma temperatura menor que da ebulição. Quase toda a água presente na atmosfera provém da evaporação.

A velocidade com que essa transição ocorre – isto é, quantos mililitros de água se transformam em vapor d'água por minuto – depende muito das condições ambientais tais como temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar, pureza da água etc. Esta atividade explora os fatores que influenciam na velocidade de evaporação da água. O desafio é fazer com que os alunos

A pressão e a temperatura de ebulição

Se a temperatura de ebulição da água diminui à medida que diminuimos a pressão, para que a água ferva à temperatura ambiente precisamos baixar muito a pressão sobre ela. Isto pode ser verificado com o seguinte procedimento: colocar um pouco de água em uma seringa descartável de 20mL (sem agulha), empurrar o êmbolo até retirar todo o ar do seu interior, tapar a seringa com o dedo e puxar o êmbolo de modo a garantir uma diminuição da pressão no seu interior. Verifica-se assim a formação de bolhas de vapor d'água.

Inversamente, para que a água entre em ebulição a uma temperatura acima de 100°C, é necessário que haja um aumento da pressão. É o caso da panela da pressão, utilizada para cozinhar alimentos mais rápido que em panela convencional. Em seu interior, devido ao aumento de pressão, a água ferve a uma temperatura maior que 100°C.

sejam capazes de identificar esses fatores e elaborar experimentos para testar cada um deles, eliminando a influência de outros. Para isso é necessário elaborar experimentos em que apenas um fator é alterado, enquanto todos os outros se mantêm constantes. Por exemplo, para se verificar a influência do vento podemos usar dois sistemas semelhantes em que todos os outros fatores (temperatura, umidade, pureza etc.) são mantidos iguais e constantes, tendo como única diferença a presença de vento sobre um dos sistemas. Observando o comportamento de ambos podemos dizer se o vento é ou não um fator que influencia a velocidade de evaporação da água. Este tipo de procedimento – identificar e separar uma variável – é muito comum e muito importante na construção da ciência.

É interessante que o professor conheça alguns aspectos acerca da evaporação antes de aplicar a atividade, porém não é necessário que sejam abordados com os alunos – e, na maioria dos casos, é preferencial que não sejam.

No estado líquido as moléculas de água estão em constante movimento, mas estão ligadas por forças que não permitem que se afastem. Em seu movimento constante as moléculas colidem e trocam energia. Algumas vezes uma molécula pode adquirir tanta energia que é capaz de se desligar das outras, ou seja, ela é capaz de sobrepujar a força que mantém as moléculas unidas no líquido. Se isto acontece no interior do líquido, é muito provável que esse excesso de energia seja rapidamente dividido com outras moléculas e tudo continua como antes. Porém, se isto acontecer perto da superfície, existe uma chance de que a molécula escape do líquido, separando-se das outras moléculas e indo embora. Do ponto de vista macroscópico há uma lenta diminuição do líquido e um aumento do gás em torno desse líquido, ou seja, a evaporação.

A energia das moléculas está relacionada à temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a energia média das moléculas. Se elevarmos a temperatura, aumenta a probabilidade de que uma molécula consiga sair do líquido. Por isso, quanto maior a temperatura, maior a velocidade com que o líquido evapora, se todos os outros fatores não mudarem. Mas existe mais um fator muito importante.

As moléculas que saem da água líquida formam o vapor d'água. As moléculas do vapor colidem entre si, com as moléculas dos outros gases presentes, com as paredes do recipiente e com a

superfície da água líquida. Quando moléculas do vapor chocam-se com a superfície do líquido, podem se ligar às outras moléculas, ou seja, podem voltar ao líquido. É claro que quanto mais moléculas de vapor existirem, maior a probabilidade de que isto aconteça. Este efeito se opõe à evaporação, porque aumenta a quantidade de líquido e diminui a de vapor.

Assim, vemos que pelo menos dois fatores interferem na velocidade com que a água evapora: a temperatura e a quantidade de vapor d'água perto da superfície do líquido. Quanto maior a temperatura, mais líquido evapora; quanto maior a quantidade de vapor, menos líquido evapora. Quando esses dois fatores estão em equilíbrio – a quantidade de moléculas que sai é igual à que entra – dizemos que a *umidade relativa* é de 100%. Para cada temperatura existe uma quantidade de vapor que faz com que a quantidade de líquido não se altere. Se a quantidade de vapor for menor, isto é, umidade relativa menor que 100%, o líquido evapora; se for maior, ocorre condensação.

O conceito de umidade relativa é uma maneira rápida de avaliar se vai ocorrer evaporação ou condensação. Também permite estimar a velocidade: quanto menor a umidade relativa, mais rápida é a evaporação da água. É importante não esquecer que esse conceito envolve outros dois, a temperatura e a quantidade de vapor, e que para cada temperatura existe uma quantidade de vapor que corresponde a 100% de umidade relativa. Para uma concentração fixa de vapor d'água, aumentar a temperatura diminui a umidade relativa, e vice-versa.

Nesta atividade os alunos exploram os fatores que interferem na velocidade de evaporação da água. Podem surgir hipóteses sobre fatores como o vento, a luz solar, se a água está espalhada ou não etc. O professor pode utilizar a teoria acima para deduzir se o fator sugerido é importante. Por exemplo, a água que evapora aumenta a umidade relativa perto do líquido, diminuindo a taxa de evaporação. Se houver vento, o ar úmido pode ser substituído por ar com umidade relativa menor e a taxa de evaporação pode ser maior. Por isso o vento é um fator que influencia na taxa de evaporação. Outro exemplo: como a evaporação ocorre com as moléculas que estão perto da superfície, espalhar a água aumenta a superfície em contato com o ar; logo, este é um fator que interfere na taxa de evaporação.

O professor inicia a atividade propondo a questão: *Quais os fatores que influenciam na velocidade de evaporação da água?* É provável que seja necessário esclarecer termos como velocidade de evaporação e fatores.

Depois que a questão for claramente compreendida, os alunos se reúnem em grupos e elaboram suas hipóteses na forma de uma lista. A classe discute as hipóteses procurando elaborar uma lista única. Para isso o professor deve orientar a discussão, esclarecendo ambiguidades, identificando fatores comuns e adequando o vocabulário. É comum surgirem hipóteses como: temperatura (ambiente), vento (renovação do ar), tamanho da superfície, dia seco ou úmido (umidade relativa do ar), altitude (pressão atmosférica), pureza da água, sistema aberto ou fechado (renovação do ar), presença do sol (temperatura) etc.

Em grupos, os alunos elaboram procedimentos para testar cada uma das hipóteses, apresentando-os para o restante da classe. O teste deve responder a duas questões:

- O fator em questão tem influência sobre a velocidade da evaporação da água?
- Como a velocidade aumenta ou diminui com esse fator?

É importante que o professor discuta se cada experimento realmente permite verificar somente a influência do fator em estudo.

Para que os procedimentos possam ser realizados no menor tempo possível é interessante minimizar a quantidade de água. Uma proposta é usar apenas uma gota de água sobre um **papel absorvente** (Figura 5), o que permite observar a evaporação em poucos minutos.

Caso os alunos não consigam propor experimentos, o professor pode expor as indicações que se seguem, adaptando-as com seus alunos, usando sempre dois sistemas idênticos – uma gota sobre uma folha de papel absorvente – em duas condições diferentes, de acordo com o fator a ser testado.

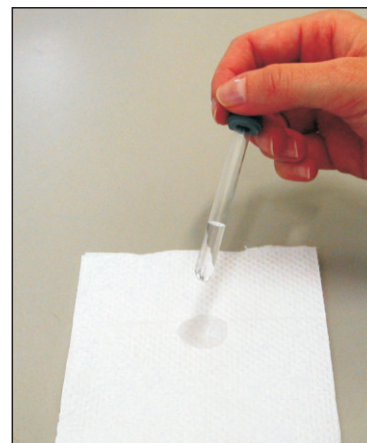


Figura 5: Sistema para observar a evaporação da água.

Sistema aberto/fechado. Colocar um dos papéis em um recipiente fechado e outro fora do recipiente.

Vento. Expor um papel ao vento e colocar o outro papel em local com ausência de vento. Para acelerar o processo, o vento pode ser produzido por um **ventilador** ou **secador de cabelo** na posição de ar frio.

Temperatura. Colocar um papel exposto ao sol e outro papel à sombra ou colocar um papel sobre uma superfície quente e outro sobre uma superfície fria.

Tamanho da superfície. Numa superfície lisa, colocar uma gota d'água e outra gota em papel absorvente. No papel a gota ficará espalhada, apresentando superfície maior.

Impureza. Colocar uma gota d'água em um papel e no outro, uma de água com sal. Observa-se que água pura “espalha” mais no papel que a água com sal, ou seja, este experimento não é capaz de separar as variáveis impureza e tamanho da superfície. No entanto, é uma oportunidade para se discutir mais profundamente o conceito de separação de variáveis e levar à busca de outros modos de realização. Uma alternativa que exigiria mais tempo é colocar a água pura e com sal em duas tampinhas de garrafa e observar o resultado no dia seguinte.

Umidade. Pode ser realizado de forma demonstrativa. Colocar um papel com uma gota d'água em um recipiente fechado contendo **sílica-gel** e o outro em um recipiente fechado sem sílica-gel. É importante que o recipiente que contenha a sílica-gel seja preparado com alguns minutos de antecedência para garantir uma baixa umidade relativa.

A sílica-gel é usada para secar ambientes. O professor pode discutir com seus alunos a presença de saquinhos contendo dessecantes em equipamento eletrônico, bolsas etc.

Os resultados devem ser cuidadosamente discutidos entre toda a classe, que elabora um texto coletivo em que se conclui sobre os fatores que interferem ou não na velocidade de evaporação da água e como é essa interferência. Por exemplo, não basta dizer que o vento interfere na evaporação, também é preciso dizer se a presença do vento aumenta ou diminui a velocidade com que ela ocorre.

O professor pode aproveitar para discutir quais as condições ambientais que influenciam na

evaporação: irradiação solar, umidade do ar, temperatura etc. Também é importante comparar os processos de evaporação e ebulição quanto a temperaturas, agitação da água, formação de bolhas, velocidades etc.

CONDENSAÇÃO

O vapor d'água não é visível, mas o fenômeno que ocorre na transformação de gás para líquido faz parte de nosso cotidiano e pode ser observado. Essa transformação é a condensação, também conhecida por liquefação, e pode acontecer devido ao resfriamento do gás ou à elevação da pressão. Se baixarmos a temperatura de certo volume de ar, a umidade relativa vai aumentando até que a água começa a se condensar na forma de gotículas. Essa temperatura é chamada “ponto de orvalho” e depende, dentre outros fatores, da quantidade inicial de vapor d'água (gramas de água por metro cúbico de ar). Há formação de nuvens, neblina, orvalho e condensação sobre superfícies frias quando a temperatura é menor que o ponto de orvalho.

No caso da água, a condensação pode ser facilmente observada no aparecimento de pequenas gotas no exterior da garrafa de refrigerante quando é tirada da geladeira. O vapor d'água presente no ar se condensa ao entrar em contato com a superfície fria da garrafa. Esse processo também ocorre no espelho e nos azulejos do banheiro (quando tomamos banho quente) e nos condicionadores de ar. A água que vemos gotejar dos condicionadores provém da condensação do vapor de água presente no ar. O ar frio que sai do condicionador e entra no ambiente contém uma quantidade menor de vapor de água.

Atividade 3. Como podemos verificar se há vapor d'água no ar?

Antes de iniciar esta atividade, o professor relembra os processos de vaporização estudados – ebulição e evaporação – enfatizando a transformação da água do estado líquido para o vapor. Em seguida, lança a questão: *Para onde vai a água que evapora?*

Espera-se que surja a hipótese de que a água evaporada se mistura ao ar. Então o professor questiona os alunos: *Se a água que evapora vai para o ar, então vocês acham que existe água no estado gasoso no ar a nossa volta? Como podemos verificar se há vapor d'água no ar?*

Os alunos, em grupos, discutem e planejam um experimento que permita verificar a presença de vapor d'água no ar. Caso eles não consigam sugerir um experimento que possibilite a



Figura 6. Verificando a presença de vapor d'água no ar.

verificação, o professor pode propor o seguinte: em um **recipiente transparente**, colocar água à temperatura ambiente, e em outro colocar água gelada (Figura 6). Após alguns minutos, comparar o que acontece nas superfícies externas dos recipientes.

O professor discute com os alunos: *De onde veio a água que se encontra na parede externa do recipiente contendo água gelada? Se a água estava no ar no estado gasoso, por que ela está no estado líquido na parede do recipiente?*

Pode ocorrer dúvida sobre o vapor d'água condensado.

Alguns alunos podem achar que a água está presente no exterior por ter atravessado a parede de vidro, ou que a parede de vidro retém água como uma esponja. Caso surjam essas dúvidas, sugerimos que sejam realizados os experimentos:

- 1- Observar um **copo** seco gelado (recém tirado da geladeira), ou
- 2- Repetir o experimento adicionando **corante** à água, verificando se a água condensada está colorida, ou
- 3- Envolver um recipiente com **papel absorvente** contendo algo escrito com **caneta hidrográfica** e em seguida envolver com **papel alumínio**. Colocar água com **gelo** no seu interior e esperar uns minutos até que o recipiente esfrie e o papel alumínio fique embaçado (Figura 7). Tirar o papel alumínio e mostrar que o papel que continha algo escrito está seco. Para ajudar o entendimento do aluno, o professor pode pingar uma gota d'água sobre a parte escrita, que ficará borrada. Isso indicará que a água que embaçou o papel alumínio não atravessou o papel absorvente, visto que borraria a parte escrita. Desta forma, a água presente no papel alumínio é oriunda do vapor d'água do ar.

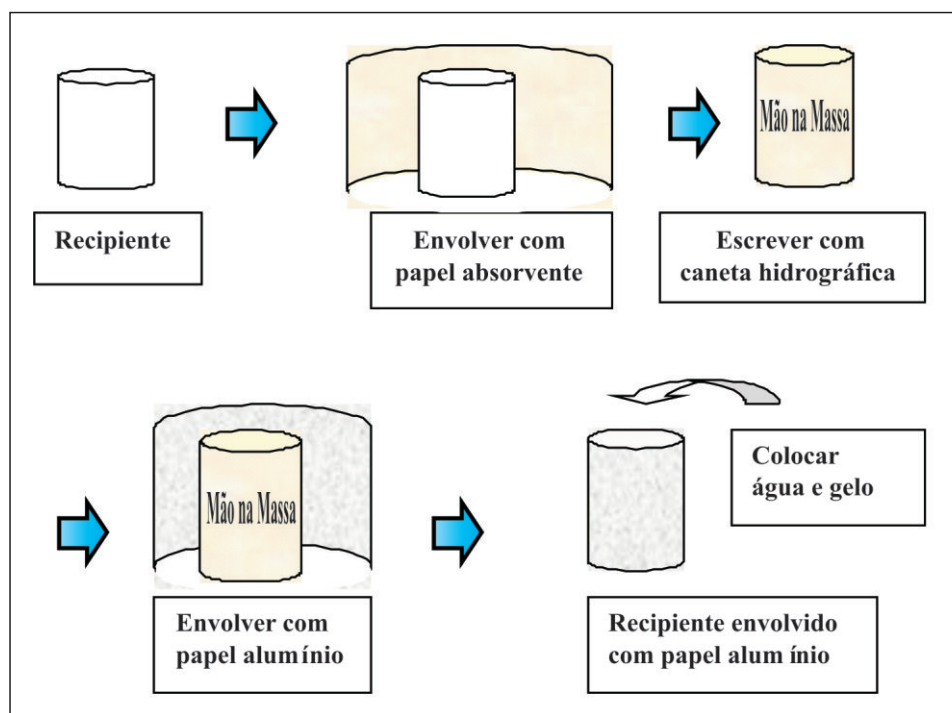


Figura 7. Sequência para montagem do experimento com o fim de verificar que a água não atravessa a parede do recipiente e não transborda.

Espera-se que no final da discussão os alunos concluam que a água no estado gasoso, presente no ar, ao atingir a parede fria do recipiente, transforma-se em água líquida, ou seja, condensa-se.

O professor pode solicitar aos alunos outros exemplos do cotidiano em que a condensação é observada, como o orvalho em dias frios e a névoa no experimento de ebulição. Nesse último caso, é necessário esclarecer que a função da superfície fria é exercida pelo ar frio que circunda o sistema.

Mecanismo de formação da chuva.

Antes de abordar o assunto, o professor pode frisar com os alunos que a solubilidade da água no ar depende da temperatura: quanto mais quente, maior quantidade de vapor d'água pode estar presente no ar. Deve observar também que a temperatura do ar diminui com o aumento da altitude, podendo ser muito baixa em grandes altitudes.

Assim, a água que evaporou sobe com as correntes de circulação na atmosfera, podendo atingir grandes alturas, onde encontra temperaturas mais baixas e se condensa, da mesma maneira que a água do ar se condensou na parede gelada do recipiente em nossa experiência. A condensação se inicia em gotículas muito pequenas, menores que 0,1mm. Por menores que sejam, essas gotículas espalham a luz e, em grande quantidade, dão a impressão de algo branco: é a nuvem. Nesse ponto, será interessante fazer uma analogia entre a nuvem e a parte embaçada na parede do recipiente, em que também não se consegue detectar gotículas individuais, mas sim um branco contínuo.

Se houver pouca quantidade de vapor d'água disponível, as gotículas não crescem mais ou até se desfazem. Se houver grande quantidade de vapor, a condensação continua e as gotículas crescem. Com isso aumenta muito o peso da gotícula, mas aumenta pouco o atrito com o ar, de modo que a gotícula passa a cair de maneira cada vez mais veloz. As gotículas podem chocar-se entre si e coalescer (juntar-se), formando gotas cada vez maiores que caem ainda mais rápido. É a chuva!

As gotículas da nuvem caem, mas com velocidade muito pequena, menor que 1 cm por segundo, devido ao atrito com o ar. Esta velocidade é tão pequena que, vista de longe, a nuvem parece não estar caindo. A nuvem pode ser deslocada pelo vento de um lugar para outro.

Na ocasião de tempestades muito violentas as gotas já formadas podem ser arremessadas pelo vento novamente a grandes altitudes, onde as temperaturas são muito baixas. Lá podem congelar e voltar a cair. É o granizo.

Atividade 4. Como acontece a chuva?

Em grupos, os alunos discutem como acontece a chuva, tentando explicar o processo. Podem surgir hipóteses como:

- a chuva vem das nuvens;
- a água evapora devido ao ar quente sobre as águas dos rios, dos lagos, das poças. Quando atingem as camadas de ar frio se condensam, ocorrendo a precipitação;
- ocorrem constantes mudanças de estados físicos, como um processo cíclico que forma a chuva;
- a água evapora de rios, lagos, mares e depois se condensa formando gotículas que formam as nuvens. Havendo clima quente, o ar quente se choca com a superfície fria e chove;
- as chuvas são causadas por frentes frias;
- as águas evaporam, sobem, encontram uma superfície fria e se condensam, formando as nuvens. Quando as nuvens ficam pesadas, a água cai na forma de chuva.

Depois de expostas e discutidas as hipóteses dos grupos, o professor apresenta um modelo para as etapas do processo. Consiste de uma simulação do ciclo da água em sistema fechado, onde são observadas a evaporação e a condensação da água, tendo como fonte de energia o Sol.

Com o auxílio da **massa de modelar**, fixar no fundo de uma **cuba plástica** um **recipiente** para coleta de água, acoplado a um **funil**. Colocar água misturada com **corante** (ou terra) na cuba até a altura aproximada de 3cm. Cobrir a cuba com o **plástico transparente** de forma que o sistema seja vedado. Fazer uma concavidade no plástico em direção ao funil e colocar uma camada fina de **algodão** embebido em água com corante (cor diferente daquela utilizada no interior da cuba) que deverá ser mantido úmido durante o experimento para que a área permaneça resfriada. Para acelerar o processo, pode-se colocar pedras de **gelo** sobre o algodão (Figura 8).

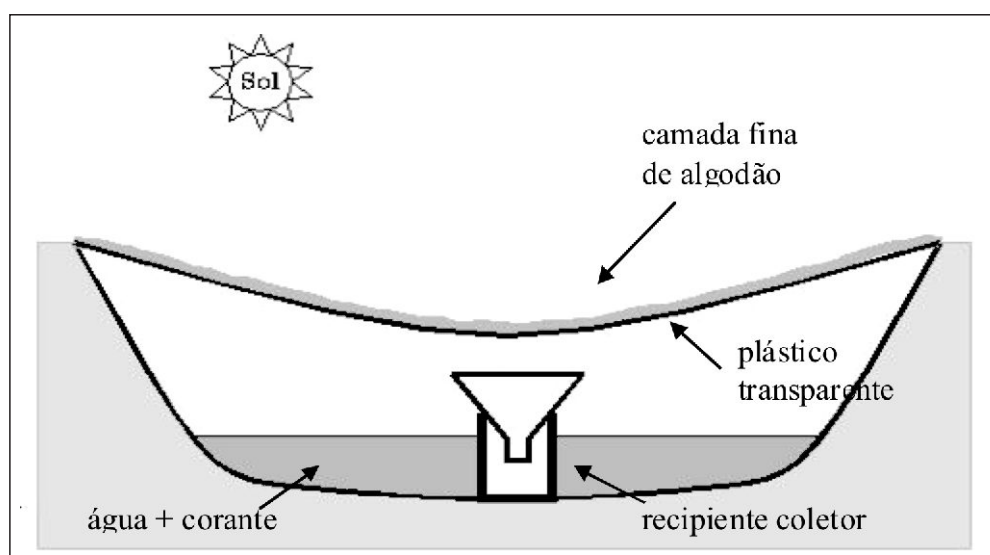


Figura 8. Montagem para simulação da chuva.

Realizar o experimento em local exposto ao sol para se obter um resultado significativo. Caso não seja possível, utilizar água morna no interior da cuba.

Após o experimento, os alunos registram o procedimento e o que observaram, tecendo um paralelo com o processo que ocorre na natureza e identificando as transformações de estados físicos da água que acontecem na chuva.

Atividade 5. Os seres vivos contribuem para a presença de água no ar?

Como já foi visto, existe vapor d'água na atmosfera proveniente da vaporização, seja na evaporação que ocorre no solo e nos corpos d'água, seja nos processos de transpiração dos seres vivos (vegetais e animais).

Para o desempenho de suas necessidades fisiológicas, os vegetais retiram água do solo por meio de suas raízes. Uma pequena fração é retida e o restante é liberado na forma de vapor d'água, através da superfície das folhas, pelo processo de transpiração.

Os animais também liberam vapor de água quando transpiram e quando respiram.

O professor inicia a atividade lembrando os processos estudados que contribuem para a presença de vapor d'água no ar. A seguir pergunta aos alunos: *Os seres vivos contribuem para a presença de água no ar? Como podemos verificar?*

Após discussão nos grupos, os alunos apresentam suas hipóteses e elaboram propostas de experimentos que permitam verificar a contribuição dos seres vivos (plantas e animais). O professor, se achar conveniente, pode propor os experimentos sugeridos a seguir ou realizá-los como complemento às propostas dos alunos.

Quando se trata de solo coberto por vegetação, é praticamente impossível identificar o vapor d'água proveniente da transpiração da vegetação e da evaporação do solo. Desta forma, consideramos que o aumento da umidade atmosférica corresponde a soma dos dois processos, ou seja, um processo único denominado evapotranspiração.

Sugestões de experimentos:

Transpiração das plantas: amarrar um **saquinho de plástico** num **galho de árvore** com algumas folhas (Figura 9) e observar após 1 hora.



Figura 9. Transpiração da planta – (a) início, (b) final.

Transpiração dos animais (ser humano): colocar a mão no interior de um **saquinho de plástico** e fechar com **elástico** no pulso (Figura 10). Observar após 10 minutos, tomando o cuidado de não encostar a mão na parede interna do saco plástico.

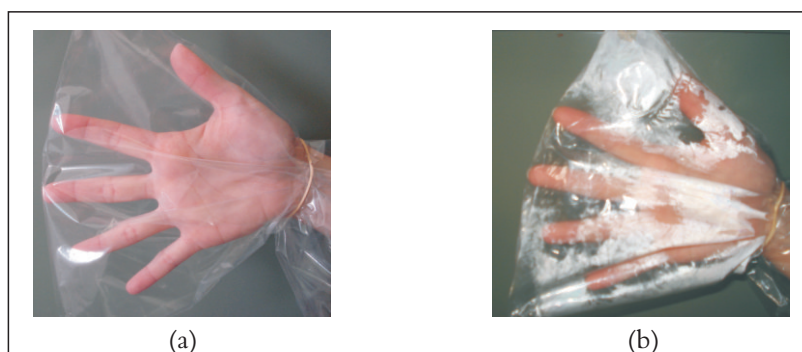


Figura 10: Transpiração animal - (a) início, (b) final.

Respiração dos animais: colocar um espelho próximo à boca e expirar. O espelho ficará embaçado devido ao vapor d'água liberado na temperatura corporal (36,5°C) e que se condensa na superfície fria do espelho.

FUSÃO

A partir desta atividade vamos considerar também o estado sólido da água: o gelo. Num país tropical, este é o estado menos comum na natureza, mas ocorre com relativa frequência nas tempestades de verão sob a forma de granizo e nas noites frias de inverno sob a forma de geada.

A passagem do estado sólido para o estado líquido é chamada de fusão. Quando o gelo atinge a temperatura de 0°C toda a energia que for fornecida ao material será utilizada na transformação para o estado líquido, de forma semelhante ao que acontece na ebulição da água. Assim, a fusão também ocorre a uma temperatura fixa, 0°C. Normalmente, o aquecimento de um sólido ocorre de fora para dentro, por isso, ao contrário da ebulição, a fusão acontece na superfície do sólido.

Como a pressão atmosférica é importante na temperatura de ebulição, pode-se imaginar que também seria na fusão. Na verdade, a pressão exerce alguma influência sobre o valor exato da temperatura de fusão, mas essa influência é muito pequena e só pode ser observada com variações muito grandes de pressão, da ordem de centenas de atmosferas. Por isso, na superfície da Terra, podemos dizer que o gelo funde a 0°C em todas as altitudes.

Uma confusão comum é acreditar que o gelo sempre está a 0°C. Porém, quando é retirado do congelador, a sua temperatura pode ser bem mais baixa. Deixado no ambiente, ele vai se aquecendo e, quando a temperatura na sua superfície atinge a temperatura de fusão, começa o derretimento.

Atividade 6. A que temperatura o gelo derrete?

O professor aborda o tema discutindo sobre o que acontece quando o gelo é retirado do congelador. Os alunos, em grupos, elaboram hipóteses na forma de descrições sobre o que esperam observar, de forma semelhante ao que foi solicitado no caso da ebulição. Na discussão coletiva subsequente, o professor deve levar os alunos a incluírem entre suas hipóteses se acreditam ou não que o gelo derrete a uma temperatura constante e, neste caso, qual seria essa temperatura. Também, como na ebulição, a descrição coletiva deve contemplar tanto os pontos com que todos concordam como aqueles em que não há consenso.

Novamente em grupos, os alunos devem elaborar um procedimento experimental para testar suas hipóteses e, se for o caso, determinar o ponto de fusão do gelo. Mesmo aqueles alunos que não acreditam que o ponto de fusão é fixo devem incluir o procedimento para determiná-lo caso exista.

O professor deve alertar os alunos para a necessidade de medição da temperatura do gelo enquanto derrete e que para isso é importante que o bulbo do termômetro esteja envolvido pelo gelo. A utilização de gelo picado (em vez de cubos de gelo) garante resultados mais eficazes. Uma maneira prática de se obter gelo picado é envolvê-lo em um pedaço de **pano** e bater com um **martelo**.

Uma sugestão de experimento é colocar **gelo picado** num **recipiente**, juntamente com o **termômetro**, como indicado na Figura 11. Para manter o líquido a uma temperatura uniforme é necessário misturá-lo constantemente. Pode-se usar o termômetro para isso, mas é necessário tomar cuidado porque o termômetro é frágil.

Como o processo de fusão do gelo é demorado, é importante que se utilize uma pequena quantidade de gelo, suficiente para envolver por completo o bulbo do termômetro.

A leitura não deve ser feita apenas no final do experimento, mas a intervalos regulares. Uma sugestão é registrar os resultados numa tabela semelhante à do experimento de ebulição. Caso surjam resultados da temperatura de fusão do gelo diferentes de 0°C , ou mesmo se a temperatura não se mantiver constante durante a fusão, o professor pode iniciar uma discussão com os alunos sobre os motivos que levaram aos diferentes resultados, tais como:

- Termômetros diferentes podem apresentar leituras ligeiramente diferentes dependendo da qualidade.
- Falta de homogeneidade na temperatura do líquido. Isto pode ser resolvido refazendo o experimento e garantido uma boa mistura do gelo e do líquido com movimentos circulares e lentos do termômetro.
- Procedimentos diferentes. Discutir quais fatores que, dependendo do procedimento, podem levar a resultados diferentes.



Figura 11. Medindo a temperatura de fusão do gelo.

SOLIDIFICAÇÃO

A transformação do estado líquido para o estado sólido chama-se solidificação. Ela ocorre à mesma temperatura que a fusão, a 0°C , no caso da água. A temperatura de fusão é igual à temperatura de solidificação por ser a temperatura de equilíbrio, em que as duas fases podem coexistir. Se a temperatura baixar um pouco, teremos apenas sólido; se subir, apenas líquido.

Até aqui consideramos apenas as transformações da água pura. Uma impureza misturada à água pode modificar a temperatura de equilíbrio entre as fases. Um exemplo muito importante é o sal de cozinha: quando misturado à água, pode baixar o ponto de fusão/solidificação em vários graus, dependendo da concentração. Interessante notar que o sal é usado nos países de clima frio para derreter o gelo que se forma nas ruas, muito liso e propenso a provocar acidentes. Na presença do sal, o gelo derreterá, exceto se estiver realmente muito frio.

As indústrias utilizam salmouras – solução bastante concentrada de sal – que permanecem líquidas em temperaturas bem abaixo de zero, para facilitar o resfriamento e a produção de sorvetes, por exemplo. Nós utilizaremos o mesmo princípio na construção de um pequeno congelador que poderá ser usado em sala de aula.

Atividade 7. Qual será a temperatura em que a água se transforma em gelo?

Para dar continuidade aos estudos das transformações dos estados físicos da água, são retomados os resultados obtidos da atividade sobre fusão do gelo e em seguida lançada a pergunta: *Qual será a temperatura em que a água se transforma em gelo?*

O professor solicita aos grupos de alunos que elaborem um experimento para testar suas hipóteses. Por se tratar de congelamento, os alunos costumam sugerir o uso de congelador, o que inviabiliza a realização do experimento em sala de aula e dificulta a visualização do processo. Então, o professor sugere a construção de um “minicongelador”, que consiste de **gelo picado** e **cloreto de sódio** (sal de cozinha).

Para que o processo de solidificação aconteça rapidamente, sugerimos que seja utilizado um **tubo de ensaio** com uma pequena quantidade de água, suficiente para cobrir o bulbo do termômetro. O tubo de ensaio deverá ser inserido no “minicongelador”, um **copo** com uma mistura de gelo e sal (Figura 12). É importante que a temperatura inicial do gelo seja a menor possível, então, aconselha-se a usar gelo retirado de um freezer (menor que 14°C negativos). Coloca-se gelo picado no copo e adiciona-se sal enquanto se mexe com uma colher, até que o gelo comece a derreter. Pode ser necessário colocar diversas colheres de sal para cada copo de gelo. É interessante que os alunos meçam a temperatura do minicongelador antes de inserirem nele o tubo de ensaio, verificando que a temperatura é inferior a 0°C . Feita esta medida, o **termômetro** deverá ser lavado cuidadosamente com água pura para que o sal presente no minicongelador não venha interferir no resultado.

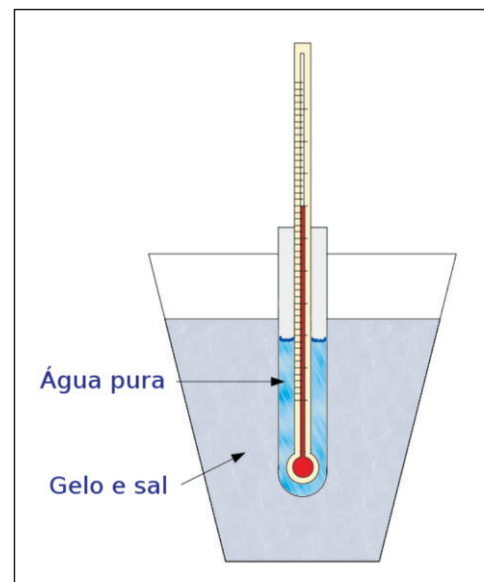


Figura 12. Montagem para realização da solidificação da água.

Terminado o experimento, os alunos discutem os resultados, comparam com suas hipóteses e, após chegarem a um consenso, elaboram um registro coletivo final.

Em caso de discrepância nos resultados, estimular uma discussão buscando os possíveis motivos. Por exemplo, diferentes manipuladores e tipos de termômetros, precisão do termômetro etc.

As discussões devem ser encaminhadas no sentido de incorporar novos conhecimentos e sempre que possível retomar o que foi visto nas aulas anteriores.

O registro coletivo pode ser elaborado com os recursos dos registros utilizados pelos grupos – textos, desenhos, tabelas ou gráficos –, desde que haja consenso.

Peso da água no estado sólido e no estado líquido

Se colocarmos uma garrafa fechada, com água, no congelador, esta estourará. Isto acontece

porque uma mesma massa de água ocupará maior volume quando estiver no estado sólido. A água é uma das raras substâncias que tem esse comportamento. Isto se dá porque as moléculas de água no estado sólido formam uma estrutura aberta, com espaços vazios no seu interior, o que não acontece no estado líquido. Desta forma, um mesmo volume de água e de gelo terá pesos diferentes, ou seja, o gelo pesará menos que o mesmo volume de água no estado líquido. Dizemos que o gelo tem menor densidade que a água no estado líquido. É por este motivo que o gelo flutua na água.

Atividade 8. Comparando os pesos da água no estado líquido e no estado sólido

O professor pode iniciar a abordagem expondo a seguinte situação: temos dois **copinhos**, sendo que um contém gelo (água no estado sólido) e o outro, água no estado líquido, até a mesma “altura”. Em seguida, pergunta aos alunos: *Se colocarmos cada um dos copinhos em um prato da balança, qual pesará mais? O copinho que contém água no estado sólido ou o que contém água no estado líquido? Por quê?*

Podem surgir hipóteses como:

- o gelo, porque é mais duro;
- têm o mesmo peso porque a quantidade é a mesma;
- a água, porque ela se movimenta.

Para verificar, os alunos colocam um copinho em cada um dos pratos da **balança** e comparam (Figura 13).

Caso os alunos não saibam comparar pesos de objetos em balança de pratos, é importante que o professor realize antes do experimento uma atividade para comparar objetos de diferentes pesos. Se não houver disponível uma balança de pratos, os alunos poderão medir o peso de cada copinho usando uma balança comum e compará-los.

Para complementar, o professor pede para os alunos marcarem no copinho a posição da superfície do gelo e esperarem o gelo derreter, comparando a marca com a superfície do líquido. A seguir, conduz uma discussão de modo que os alunos possam concluir que a mesma quantidade de água no estado sólido (gelo) ocupa maior volume, ou seja, “espaço”, que a mesma quantidade de água no estado líquido. Se os alunos desconhecem o significado da palavra “volume”, ela pode ser omitida, pois o volume está implícito na “altura” da água em copinhos com a mesma forma e tamanho.

Caso o professor considere que a realização dos dois experimentos pode confundir os alunos,



Figura 13: Comparação dos pesos de mesmo volume de água líquida (esquerda) e gelo (direita).

poderá optar por um dos dois.

No final da atividade, o professor pode estimular uma discussão com a pergunta: *O que pode acontecer com uma garrafa fechada com refrigerante, deixada no freezer?* Alguns alunos podem ter vivenciado esta situação no seu cotidiano e contribuir com seus relatos.

Conclusão

Espera-se que os alunos reconheçam na natureza os diferentes estados físicos da água, identificando as condições em que ocorrem as transformações de estado físico e como estão presentes em nosso cotidiano. As atividades deste módulo são significativas para o desenvolvimento da capacidade de observação e raciocínio lógico sobre fenômenos que envolvem causas e consequências.

Bibliografia

ATKINS, Peter; JONES, Loreta. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução Ignez Caracelli et al. Porto Alegre: Bookman, 2001. p.427-438.

USBERCO, João; SALVADOR, Edgard. **Química geral**. São Paulo: Saraiva, 1996. v.1, p. 52-59.

Endereços Eletrônicos

<http://educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u42.jhtm> - acesso 03/09/2006. Site que aborda as transformações de estados físicos.

<http://educacao.uol.com.br/quimica/ult1707u6.jhtm> - acesso 03/09/2006. Site que trata dos estados físicos e as interações entre as moléculas.

http://www.barramentos.ufc.br/Hometiciana/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_7_Evaporacao_e_Evapotranspiracao.pdf - acesso 03/09/2006. Site que aborda a evaporação e a evapotranspiração.

<http://www.etc.com.br/muda3.html> - acesso 03/09/2006. Site com a umidade relativa no Brasil, diariamente atualizada.

<http://tempo1.cptec.inpe.br> - acesso 03/09/2006. Site com a previsão do tempo atualizada constantemente.