

- (Apêndice1) Produto Educacional

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO - UFRPE
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL

**Distribuição de Energia das Partículas: uma proposta
de Ensino por Investigação no Ensino Médio**

**Energy Distribution of Particles: a Teaching proposal
by Research in High School**

**MANUAL SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA DAS
PARTÍCULAS PARA O PROFESSOR DE QUÍMICA DO
ENSINO MÉDIO**

***MANUAL ABOUT PARTICLE ENERGY DISTRIBUTION FOR
HIGH SCHOOL CHEMISTRY TEACHER***

ANDERSON DIEGO DE FREITAS

Material instrucional associado à
dissertação de mestrado de
Anderson Diego de Freitas,
apresentada ao Programa de
Mestrado Profissional em Química
em Rede Nacional

Recife – Pernambuco
Janeiro – 2024

Distribuição de Energia das Partículas: uma proposta de Ensino por Investigação no Ensino Médio

Energy Distribution of Particles: a Teaching proposal by Research in High School

MANUAL SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA DAS PARTÍCULAS PARA O PROFESSOR DE QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO

MANUAL ABOUT PARTICLE ENERGY DISTRIBUTION FOR HIGH SCHOOL CHEMISTRY TEACHER

ANDERSON DIEGO DE FREITAS

1 – Apresentação

Esse manual é parte da dissertação apresentada ao programa de pós-graduação do mestrado profissional em química em rede nacional, visto que o mesmo é requisito obrigatório para a obtenção do título de mestre em química no referido programa como consta na portaria 131/2017 da CAPES e na portaria MEC n.389/2017. A proposta desse trabalho é a de apresentar um material didático para professores que possibilite discutir em sala de aula aspectos relacionados a distribuição de energia, levando em consideração o conceito da entropia, fazendo-se uso da termodinâmica estatística a partir da fundamentação de Boltzmann.

2 – Um breve histórico da segunda lei

Nicolas Leonard Sadi Carnot em 1824 enunciou um princípio, no qual o funcionamento de uma máquina térmica ocorre no trânsito do calórico de uma fonte quente para uma fonte fria; onde ocorre a produção de trabalho proveniente da expansão do gás e o calórico é conservado nesse processo.

Por volta de 1850, Rudolf Clausius entende que o calor (não mais calórico) não pode ser conservado: Uma parte seria convertida em trabalho, e parte seria transferida para a fonte fria. Essas observações foram concluídas com base nos resultados de James Joule (1843). Fazendo uso de um teorema anteriormente proposto por Sadi Carnot, Clausius introduz o princípio de que o calor tende a equalizar temperaturas, sendo assim fluí do corpo quente para o corpo frio, de maneira espontânea. Este princípio serviu para demonstrar que duas máquinas operando entre temperaturas iguais, mas usando substâncias diferentes produzem a mesma quantidade de trabalho.

Em 1854, Clausius explora a ideia original de Carnot de que “alguma coisa” deve ser conservada ao fechar um ciclo, se for para reiniciar um novo ciclo da máquina. Com essa exploração mais uma grande contribuição de Rudolf Clausius surge para a teoria do Calor. A ideia construída por Clausius é que ao se fechar um ciclo da máquina há um “cancelamento de operações”, o significado desse “cancelamento” é que as duas operações distinguidas na máquina se cancelam após um ciclo fechado; as operações são: transporte de calor (de uma fonte quente para uma fonte fria) e produção de trabalho. Algebricamente esse “cancelamento” é atribuído a uma função de temperatura a cada operação.

Aplicando o conceito do acoplamento de duas máquinas, uma operando no sentido direto (realizando trabalho a partir do calor) e outra, no inverso (de usar trabalho para transferir calor de uma fonte fria para uma fonte quente); chega ao resultado, após longos cálculos de que o “cancelamento” é traduzido na expressão $dS = dQ/T$, onde S, Q, T são, respectivamente, entropia, calor transferido (cedido ou recebido pela máquina) e a temperatura em que a transferência de calor se dá. Clausius, em 1865, cria a expressão **entropia**, um nome que segundo o mesmo, lembra “energia”.

James Clerk Maxwell, em meados do século XIX, argumentou que a segunda lei é de caráter estatístico. Partindo do pressuposto que um gás a uma determinada temperatura preenche dois compartimentos de um recipiente, de acordo com a segunda lei, do ponto de vista macroscópico, uma vez atingido o equilíbrio térmico, esse equilíbrio deve permanecer. Maxwell argumenta em mostrar que isso não é absolutamente verdadeiro, pois um ser que seja capaz de interagir com as moléculas de um gás pode retroceder a segunda lei,

aquecendo o gás em um dos compartimentos e o esfriando em outro compartimento.

Ludwing Boltzmann, no final do século XIX, propôs e demonstrou o teorema -H, inicialmente um gás fora do equilíbrio termodinâmico após algum tempo, atinge o equilíbrio, como consequência das múltiplas colisões entre suas moléculas. Esse processo é irreversível e a irreversibilidade é descrita pela existência da função H; o estado do gás é matematicamente descrito por uma distribuição de velocidades das moléculas e, em particular o estado de equilíbrio é descrito pela distribuição de Maxwell-Boltzmann. O teorema proposto por Boltzmann recebeu graves críticas, uma vez que o teorema era estatístico, porém em sua demonstração apresentava o caráter muito mais mecânico e não estatístico, pois as leis da mecânica reversíveis e revertendo as velocidades de todas as moléculas do gás, ele deve retornar à sua condição inicial; então, para estados que levam a diminuição de H, há outros que levam ao aumento.

Após as críticas, Boltzmann desenvolve uma expressão para a segunda lei, obtida por contagem de microestados (Ω) das moléculas de um gás

$$S = - k \ln \Omega,$$

onde S é a entropia e k a constante de Boltzmann.

Em 1877, através da formulação estatística de Ludwig Boltzmann a entropia foi relacionada com o número de estados possíveis para um determinado sistema, desse modo a entropia passou a ser descrita como uma medida da “desordem” de um sistema.

A demonstração de Boltzmann, na verdade, relaciona a entropia com o número de estados possíveis para um dado sistema, desde que a energia total do sistema seja preservada. Com isso o número de estados possíveis de um sistema, em um processo espontâneo sempre ocorre pelo “trajeto” que apresentar o estado com maiores possibilidades possível, maior probabilidade, é assim que a entropia é fundamentada.

Segundo Silva (2020), um aumento da entropia em processos espontâneos é fundamental no estudo dos processos químicos, daí a importância de se discutir a entropia na formulação estatística de Boltzmann,

mesmo que de forma qualitativa, através de experimentos voltados para turmas de química no ensino médio. Entendemos que trazendo uma discussão sobre a entropia para a sala de aula fazendo uso dos fundamentos da formulação de Boltzmann, fortaleceremos o aprendizado dos alunos em um tema que sempre foi considerado complexo e abstrato para quem se inicia no estudo dos processos químicos.

A interpretação probabilística de Boltzmann e o princípio dela decorrente, conhecido como o princípio da ordem de Boltzmann, permite prever a formação de estruturas físicas ordenadas e descrever a coexistência de fases num sistema em equilíbrio. A termodinâmica do equilíbrio oferece uma resposta satisfatória para um número enorme de fenômenos físico-químicos, mais é insuficiente para descrever sistemas abertos, os quais não se sujeitam ao formalismo dos sistemas fechados por alimentarem-se do fluxo de matéria e de energia que lhes vem do mundo externo, por isso pode-se até se isolar um cristal perfeito, mas uma célula não sobreviveria separada do seu meio (Conceição, 2010).

2.1 – A proposta pedagógica

A proposta deste manual é a de apresentar atividades usando o ensino investigativo para discutir com os alunos evidências da distribuição da energia das partículas (átomos ou moléculas), fator fundamental e determinante na realização de qualquer processo na natureza, sejam eles processos físicos ou químicos. Este manual contém uma sequência de atividades, que é direcionada para o 2º Ano do ensino médio por também estar relacionada com conteúdo exclusiva do Ensino Médio.

2.2 – Atividade 1: A vaporização da água

Um bom exemplo para iniciar a nossa discussão é observar com os alunos o aquecimento de uma quantidade de água até que a mesma comece a vaporizar, monitorando a temperatura. Baseado no ensino investigativo, começamos perguntando aos alunos por que surgem pequenas bolhas que se desprendem em locais isolados no recipiente (béquer ou qualquer outro recipiente) mesmo a temperatura não tendo chegado aos 100°C. Ora, aí começa

toda a discussão e nesse ponto começaremos a introduzir a questão da energia das partículas, no caso as moléculas de água. Apresentaremos aos alunos um texto sobre a vaporização da água e a relação entre a temperatura de ebulição e as forças de atração entre as moléculas de um líquido.

Um questionário será aplicado na turma com o propósito de verificar se os princípios básicos contidos no texto e discutido com os alunos levou à construção do conhecimento envolvido no processo de vaporização. Além disso, como o texto afirma que o aquecimento da água diretamente na chama é “turbulento”, tentaremos detectar também se esse fato despertaria alguma relação com o fato de o aquecimento ser feito de forma diferente como em um forno de micro-ondas.

As perguntas serão as seguintes:

- 1- A água pode receber calor e sua temperatura não aumentar? _____
- 2- Quando aquecemos água na chama de um fogão qual será a maior temperatura que a água vai atingir? _____
- 3- Você acha que o aquecimento da água em forno de micro-ondas levaria normalmente a água à ebulição?
- 4- Porque soprados um alimento quente a fim de esfriá-lo?

Na pergunta 4 vamos um pouco mais além, procurando detectar nos alunos o processo inverso que ocorre com a troca de energia das partículas que resulta no resfriamento.

COMENTÁRIO:

Nessa demonstração experimental a transferência de calor se propaga do recipiente (a ser aquecido) para o líquido através da condução térmica. O monitoramento da vaporização com o auxílio de um termômetro evidenciará que “bolhas” começam a se desprender do líquido (vaporizar) antes mesmo do ponto de ebulição ser atingido (100°C). Diante dessa observação é possível conduzir o raciocínio dos alunos para a interpretação estatística do ponto de ebulição, ou seja, o ponto de ebulição não é um valor fixo do ponto de vista energético, mas sim uma média das energias das partículas distribuídas no líquido.

APÊNDICE

O TEXTO BASE

Compreendendo a vaporização da água

A vaporização ou ebulição é como chamamos à transição entre os estados líquidos e vapor. O contrário da vaporização é a condensação, ou seja, a passagem do estado de vapor para o estado líquido. É importante frisar qual a diferença entre gás e vapor. Dizemos que uma substância é um gás quando nas condições normais de temperatura (25°C) e pressão (1 atmosfera) essa substância se apresenta no estado gasoso. Quando a substância nas condições normais de temperatura e pressão se apresenta como um líquido e ao receber calor sofre a vaporização (ou ebulição), ela passa para o estado gasoso, que não é seu estado normal, por isso se diz que ela está na forma de vapor. Se retirarmos o calor cedido ela voltará ao estado líquido.

Para uma substância passar do estado líquido para o estado de vapor é necessário que a mesma absorva (ganhe) energia, geralmente na forma de calor. A energia absorvida aumenta a agitação das moléculas, a energia cinética das moléculas aumenta. O aquecimento de substâncias em uma mudança de fase dar-se principalmente de duas maneiras: aquecimento na chama e aquecimento por radiação eletromagnética.

No aquecimento por chama temos a transferência de calor pela condução térmica, nesse caso é necessário que um recipiente seja aquecido pela chama. No caso do aquecimento por radiação eletromagnética geralmente utiliza-se um forno do tipo micro-ondas, nessa forma de transferência de calor a substância previamente posta em um recipiente absorve a energia das ondas. Nesse caso o aquecimento ocorre de dentro para fora da substância.

O estado físico de uma substância é determinado pelo movimento de suas partículas. O estado sólido é aquele em que as partículas de uma substância se movem muito pouco. No estado líquido as partículas já possuem mais mobilidade. O estado gasoso é aquele em que as partículas possuem maior mobilidade, as distâncias entre as partículas são enormes e dessa forma podem ocupar volumes imensos.

Mas vejamos o exemplo clássico da água. Na temperatura ambiente a água está no estado líquido. Imagine que você tem um recipiente tipo uma panela cheia de água e começa a aquecê-la na chama de um fogão. A água na panela vai começar a receber calor e sua temperatura vai começar a aumentar. Calor ganho nesse caso resulta no aumento da temperatura da água e as moléculas de água se movimentam com mais energia. Quando uma substância ganha energia em forma de calor, a agitação de suas partículas aumenta, aumenta também sua temperatura. No caso do aquecimento acontecer em um recipiente (panela) através da tradicional chama ou bico de gás. O aquecimento se dá pela transferência de calor diretamente da panela para a água e é muito turbulento facilitando a ebulição do líquido.

A temperatura da água vai subir até chegar em _____ °C.

Você continua a aquecer a água e aí a temperatura não sobe mais. A água está em _____. Veja que interessante, você continua aquecendo a água mas a temperatura não aumenta. A energia (calor) ganha pela água serve para mudar o seu estado de líquido para vapor, não muda a sua temperatura. A energia absorvida em forma de calor pela água é usada para realizar o “esforço” de pegar as moléculas da água no estado líquido e conduzi-las ao estado de vapor.

A temperatura na qual a substância não suporta mais ficar no estado líquido e entra em ebulição é a “temperatura de vaporização”. Na verdade, bem antes da água atingir a temperatura de _____ °C, várias moléculas da água já começam a atingir a energia necessária para passar para o estado de vapor. Elas conseguem atingir a energia para vaporizar através dos choques com outras partículas. Se você olhar para o céu verá várias nuvens, que por sua vez são constituídas de moléculas de água na forma de vapor. Ora, sabemos que a temperatura de vaporização da água é de 100°C, aí vem a pergunta, onde é que tem tanta água fervendo no nosso planeta para produzir tantas nuvens? Você saberia explicar como as nuvens são formadas?

Não devemos também esquecer que a água ferve a 100°C porque estamos ao nível do mar, onde a pressão é 1 atmosfera. Nos locais mais altos, onde a pressão atmosférica é menor, a água ferve a menos de 100°C. O raciocínio inverso também acontece, em locais onde a pressão atmosférica é maior, a água ferve a mais de 100°C, é o que acontece com a água em uma

panela de pressão. Nesse caso a água ferve a mais de 100°C e isso faz os alimentos cozinharem mais rápidos economizando o gás de cozinha. Além de ter estreita relação com a pressão, outros fatores poderão fazer a temperatura de vaporização da água aumentar. Existe um caso especial em que a temperatura da água pode ultrapassar a temperatura de vaporização e não acontecer a ebulição, quando isso ocorre dizemos que aconteceu o “superaquecimento” e que aconteceu o “estado metaestável da água”.

Quando as forças de atração entre as moléculas de um líquido são fortes, a quantidade de calor para esse líquido vaporizar é grande e nesse caso, a temperatura de vaporização desse líquido será alta ou baixa? _____ . A água é um líquido que tem forças fortes de atração entre as suas moléculas, por isso sua temperatura de vaporização de _____ °C é considerada alta. O álcool etílico por exemplo ferve a 76°C, bem menos que a água, isso significa que suas partículas possuem forças de atração mais _____ (fortes ou fracas?) quando comparadas com as forças existentes entre as moléculas da água.

Mas o que faz a água ser uma substância com uma temperatura de vaporização tão alta? A resposta está numa propriedade chamada polaridade. A água tem uma estrutura molecular simples. Ela é composta de um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio.

Cada átomo de hidrogênio liga-se covalentemente ao átomo de oxigênio, compartilhando com ele um par de elétrons. O oxigênio também tem um par de elétrons não compartilhados. Assim, há 4 pares de elétrons em torno do átomo de oxigênio, dois deles envolvidos nas ligações covalentes com os átomos de hidrogênio e dois pares não-compartilhados.

A água é uma molécula "polar", o que quer dizer que ela tem uma distribuição desigual dos elétrons. A água tem uma carga negativa parcial junto ao átomo de oxigênio por causa dos pares de elétrons não-compartilhados, e tem cargas positivas parciais junto aos átomos de hidrogênio.

A atração eletrostática entre as cargas positivas parciais dos átomos de hidrogênio de uma molécula de água e a carga negativa parcial do átomo de oxigênio de outra molécula de água resulta na formação de uma atração denominada "ligação" de hidrogênio. Tais atrações permitem a união entre as moléculas de água e por isso são consideradas um outro tipo de ligação química

mais fraca chamada “ligação de hidrogênio”. Sem as ligações de hidrogênio, a temperatura de ebulição da água poderia chegar a -80°C , existindo na superfície terrestre somente na forma de vapor. Você saberia explicar porquê?

2.3 – Atividade 2: Monte Carlo: uma simulação bem interessante.

Realizar um jogo gráfico que apresente o comportamento estatístico das moléculas, tentando manter uma média. Durante a Segunda Guerra Mundial uma técnica de simulação conhecida como Método Monte Carlo. Esse nome foi dado em homenagem “à cidade dos jogos e serviu como código de guerra. O jogo Monte Carlo representa uma simulação técnica teórica para melhor compreender o conceito estatístico da partição de energia das moléculas. No jogo para dois estudantes devem-se obedecer aos seguintes passos:

- ✚ Cada estudante (estudante A e estudante B) desenha as colunas, com dez posições cada, ilustrado seguir:

Quadro 1: Posição inicial

Aluno A	Aluno B
x	
x	
x	
x	
x	
x	
x	
x	
x	
x	

Fonte: Braga J, 2002

Em que **x** indica que as posições estão ocupadas.

O estudante A sorteia, aleatoriamente, um número entre um e dez. A escolha pode ser feita num estudo preliminar, picando-se e numerando-se

papéis de tamanhos iguais. Se A sorteou, por exemplo, o número cinco, ele fornecerá o seu x , da quinta posição para B. A nova disposição será:

Quadro 2: Mudanças de posições durante o sorteio

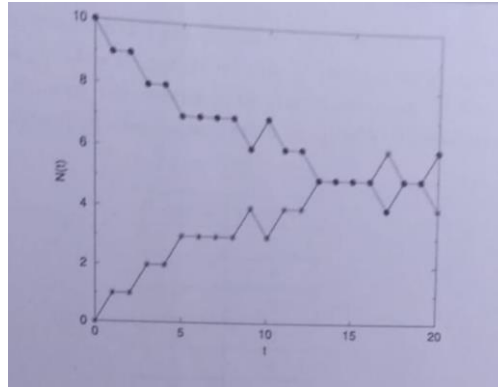
Aluno A	Aluno B
x	
x	
x	
x	
	x
x	
x	
x	
x	
x	

Fonte: Braga J, 2002

- ✚ Agora B sorteia, da mesma maneira, um número entre um e dez. Se sortear uma posição vazia nada acontece, entretanto, se sortear uma posição que contém um x , ele devolve esse x para A. O jogo prossegue pelo tempo desejado. Considerando cada sorteio uma unidade de tempo, pode-se fazer o gráfico do número de x de A e B, denotados, respectivamente, por $N_{p,A}$ e $N_{p,B}$.
- ✚ Esse jogo pode ser representativo da distribuição de energia entre as partículas em um sistema, como um gás. Cada rodada de sorteio representa um evento onde as partículas (representadas pelos x) colidem entre si. Se uma posição vazia for sorteada, nenhum evento ocorre, mas se um x for encontrado, ele é transferido para o jogador A. Isso reflete o conceito de colisões entre partículas em um gás, onde, em algumas colisões, a energia é transferida entre as partículas.
- ✚ Ao longo do jogo, o número de x de A ($N_{p,A}$) e de B ($N_{p,B}$) pode flutuar, dependendo dos resultados dos sorteios. Isso pode ilustrar como a energia se distribui entre as partículas em um sistema, às vezes concentrando-se mais em um jogador do que no outro, dependendo das colisões (sorteios) que ocorrem ao longo do tempo. Essa analogia oferece uma maneira simplificada de visualizar como a distribuição de energia em

um sistema se modifica devido às interações entre as partículas.

Figura 1 – Números de partículas em função do tempo, para $N = 10$.



Fonte: Braga J, 2002

COMENTÁRIO:

O jogo apresentado tem o objetivo de demonstrar as interações e o comportamento energético de um gás difundido. Uma vez espalhado entre A e B os x , sorteados pode retornar espontaneamente às condições iniciais (todos os x na coluna A)?

Cada possível “disposição” dos x , entre as colunas A e B representa uma configuração possível do gás, na qual chamamos de microestados. A quantidade de microestados é imensa e a cada acréscimo de x , aumentamos cada vez mais a quantidade de microestados possíveis.

Por fim, uma vez que os x estiverem espalhados, a probabilidade de retornar as condições iniciais é remota. Assim, levando em consideração a estatística de Boltzmann uma vez difundida as moléculas de um gás a reversibilidade do processo são praticamente impossíveis. Através desse jogo é possível chegar a conclusão estatística da distribuição de energia das partículas.

2.4 – Atividade 3: O estado metaestável

Demonstrar evidências experimentais da partição de energia das partículas: o caso do estado metaestável.

A comprovação do estado metaestável é apresentada como complementação aos conteúdos tratados no texto inicial, que a princípio parecerá contraditório para os alunos que poderão se perguntar: “mas a temperatura de ebulição da água não é 100 ° C? Algo está errado”. Mas ao verificar novamente o texto, o aluno perceberá que a forma de aquecimento do microondas estará relacionada com o que observarão. A atividade proposta fará uso de um forno micro-ondas e poderá ser realizada em um laboratório que possua os requisitos básicos mínimos como instalação elétrica, bancada e bico de gás. O experimento deve ser conduzido pelo professor da turma para evitar acidentes.

Na primeira etapa usa-se um béquer de 500 ml contendo aproximadamente 250 ml de água destilada. Para finalizar o arranjo experimental será utilizado um bico de gás que será usado para o aquecimento desejado. Deve-se levar o béquer ao fogo. Monitorar o tempo, a vaporização e a temperatura marcada em um termômetro.

A segunda etapa também consiste em aquecer água, só que dessa vez em por meio de radiação eletromagnética, ou seja, faremos uso de um forno micro-ondas, a mesma quantidade de água será aquecida no forno micro-ondas em tempo indicado no manual do fabricante.

O prato giratório do equipamento deve ser removido e em seu lugar deve ser colocada uma tigela de vidro invertida. O béquer com a água a ser aquecida ficará apoiada sobre a tigela invertida, que não fará movimentos rotatórios, ficará imóvel. Com o béquer parado, o aquecimento no micro-ondas além de ocorrer através da transferência da energia das ondas, acontece também sem a turbulência característica do aquecimento na chama.

Com o uso do termômetro, registramos a temperatura da água antes do aquecimento e logo a seguir iniciamos o aquecimento na potência e tempo indicados pelo manual do equipamento. Registramos a temperatura da água aquecida e aí a surpresa para espanto de todos, a temperatura registrada no termômetro está acima dos 100°C. As Figuras 2 e 3 abaixo mostram casos de superaquecimento da água.

Figura 2– Detectando temperaturas superiores à do ponto de ebulição da água



Fonte: Silvera, 2004

Figura 3 - Superaquecimento de água destilada no forno microondas



Fonte: Silvera, 2004

Nessa etapa, o professor é parte das discussões, tentando mostrar aos alunos a importância da verificação experimental que acabaram de comprovar e até onde vai as concepções que os mesmos possuíam sobre a temperatura de vaporização. Nesse ponto, de forma bem subliminar o professor tenta mostrar aos alunos a diferença nas formas de aquecimento realizadas entre a chama e o forno micro-ondas e destaca a comprovação de estado extremamente energéticos das partículas da água, que atinge temperaturas acima dos 100°C e não entram em ebulição.

COMENTÁRIO:

É claro que na maior parte do texto base que utilizamos para iniciar os alunos na intervenção em sala de aula não foi dado muito destaque à questão do superaquecimento. A maior parte do texto trata do assunto na forma mais tradicional. Portanto, a medição de temperatura acima de 100°C para a água que será constatada, uma coisa é ler a descrição de um fato em um texto, outra coisa é a comprovação experimental.

Ao observar com os alunos a temperatura da água acima dos 100°C, o professor iniciará o que chamamos na Metodologia do Ensino por Investigação de “Problema Aberto” que é caracterizada por conter aspecto quantitativo na discussão, a temperatura. Nessa etapa, a nossa proposta permite ao professor uma discussão extremamente rica com os alunos. Uma oportunidade ímpar porque foi conduzida de modo a despertar a investigação do fenômeno. Nessa etapa o professor poderá perceber sempre aqueles alunos que irão se destacar ao afirmarem que a forma diferente de aquecimento do forno micro-ondas poderá ter sido um fator determinante no fenômeno que acabaram de presenciar

Neste experimento temos a demonstração de um estado de transição energética de fase, o estado metaestável. O estado metaestável é um estado de baixa estabilidade energética, no exemplo demonstrado temos o superaquecimento da água, ou seja, a água foi aquecida a temperaturas superiores ao seu ponto de ebulição e não vaporizou. O superaquecimento se dá porque nesta temperatura a água deveria estar, devido à baixa estabilidade do sistema uma “mínima perturbação” poderá levar o sistema a um estado de agregação da matéria de menor energia naquelas condições, que seria o estado gasoso.

A partir de um sistema metaestável, neste caso superaquecimento, é possível evidenciar mais uma vez o aspecto estatístico da distribuição de energia das partículas. A termodinâmica estatística é de fundamental importância para a explicação de diversos fenômenos corriqueiros.

2.5 – Atividade 4: Será só a temperatura a causadora da “desordem”?

No seguinte experimento teremos as duas misturas (água + corante), ambas na mesma temperatura. As duas misturas são colocadas no aquário que

agora uma parede móvel separando os líquidos. A parede móvel é retirada lentamente para evitar turbulência nos líquidos.

Na Figura 03, verificamos que ao levantarmos a parede, os dois líquidos que se encontravam na mesma temperatura, se misturam facilmente, gerando uma solução de coloração violeta ao centro do recipiente. Porém fica no ar a seguinte pergunta: porque estando na mesma temperatura os líquidos se misturaram? Qual realmente a participação da temperatura no processo de mistura dos líquidos? A resposta para esses e outros questionamentos nos será dada quando investigarmos como esse processo ocorre a nível microscópico ou molecular para então podermos entender o que de fato se visualiza a nível macroscópico.

Figura 4 - Mistura contendo água, líquido quente (laranja) e frio (em azul) se misturando



Fonte: E Silva, 2020

COMENTÁRIO

Esse experimento foi idealizado teoricamente pelo físico norte-americano Richard Feynman em seu livro “Sobre as leis da física” (Feynman, 2012), adaptamos suas ideias sobre a irreversibilidade nesse experimento. Nesse caso o experimento nos traz uma discussão que foi iniciada no experimento anterior,

sobre a questão de a diferença de temperatura ser a grande responsável pela mistura dos líquidos. Agora, com as misturas dos corantes na mesma temperatura os alunos vão ter que imaginar outros fatores que possam explicar a mistura dos líquidos.

Aproveitamos esse experimento para introduzir de forma qualitativa noções acerca da distribuição de energia que as moléculas apresentam, dessa forma mostraremos aos alunos de Química do ensino médio as bases conceituais da Termodinâmica Estatística, ponto fundamental para o entendimento da irreversibilidade dos processos químicos.

Não vamos discutir a diferença da natureza entre as moléculas de água e dos corantes, na verdade porque esse aspecto não assume real importância na discussão da mistura que acontece. A discussão é feita em cima do aspecto estatístico da energia apresentada pelas moléculas, ou seja, a distribuição de energia. A mistura ocorre lentamente porque embora a temperatura das misturas sejam a mesma, o que ocorre é que a temperatura a que nos referimos na verdade representa uma “média” da temperatura que cada partícula apresentaria. A temperatura é uma grandeza que mede indiretamente a energia das partículas, temperatura alta, mais energia, temperatura baixa, menos energia.

Como a temperatura representa uma média, isso significa que a energia das partículas também possui uma média e conseqüentemente existe um número de moléculas com energia acima da média e são essas moléculas que se movem com mais frequência, se chocando com as moléculas vizinhas, dessa forma a mistura dos líquidos vai acontecendo. Com esta explicação estamos fazendo uso da interpretação molecular da segunda lei da termodinâmica, introduzida por Boltzmann.

Segundo Boltzmann, a distribuição das moléculas nos diversos valores (níveis) de energia está diretamente relacionada com a entropia, pois foi através de sua famosa expressão $S = K \cdot \ln W$, que ele propôs que a entropia de um sistema S seria uma função do número de microestados de energia, ou seja, o número de maneiras pelas quais, as moléculas de um sistema podem ser distribuídas, mantendo-se a energia total do sistema constante.

Em verdade, quando dizemos que um sistema está “desordenado”, a nível microscópico, estamos nos referindo a um sistema com um número maior de

microestados associados à mesma energia total, e que levaria a uma maior distribuição das partículas nos diferentes valores da energia.

No caso do primeiro experimento, as moléculas de água no líquido em laranja, ou seja, com maior temperatura estão distribuídas em um número maior de microestados de energia maior do que as moléculas de água no líquido em azul, por isso a água com corante laranja se mistura com maior velocidade, diferentemente da água com corante azul.

REFERÊNCIAS

ATKINS, Peter; De Paula, Júlio. **Físico-Química**, Vol 1, 8ª ed, Editora LTC, Rio de Janeiro, 2006.

BRAGA, J. P.; **Físico-química: Aspectos Moleculares e Fenomenológicos**, Ed. UFV: Viçosa, 2002.

AURANI, Katya. **As origens da segunda lei da termodinâmica**: entropia e probabilidade de estado, Editora UFABC, São Bernardo do Campo - SP, 2015.

E SILVA, Tiago de Souza. **Entropia e Termodinâmica Estatística: uma proposta para Química no Ensino Médio**. Recife, janeiro de 2020.

FEYNMAN, R. P., **Sobre as leis da Física**, Tradução Marcel Novais, Rio de Janeiro, 2012.

GIORDAN, Marcelo. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola**, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.

GUIMARAES, Cleidson. **Experimentação no Ensino de Química**: Caminho e Descaminhos Rumo à Aprendizagem significativa, Revista Química Nova na Escola Vol 31 N 3, Agosto de 2009. P1.

KOTZ, John C. **Química geral e reações químicas**, Vol 2, Editora CENGAGE, São Paulo- SP, 2016.

SOUZA, Paulo Victor S.; DIAS, Penha M. Cardozo; SANTOS, Filipe M.P. dos. Ensinando a natureza estatística da segunda lei da termodinâmica no ensino médio. **Rev. Bras. Ensino Fis.**, São Paulo , v. 35, n. 2, p. 1-9, jun. 2013 .
SCHNETLZER, R. Apontamentos sobre a história do ensino de química no Brasil. In: SANTOS, W.L.P. e MALDANER, O.A. (Orgs). **Ensino de química em foco**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2010, p. 51-75. (Coleção Educação em Química).

