Parte II — A gestão da rede de frio de imunobiológicos e seu processo de trabalho

Capítulo 6. A rede de frio e a importância da temperatura dos imunobiológicos

Alexandre Moreno Azevedo
Clayton Bernardo da Costa
Luis Cláudio Bernardo Colacio
Pedro Luiz da Silva Moura
Sergio Ricardo de Oliveira

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

AZEVEDO, A.M., COSTA, C.B., COLACIO, L.C.B., MOURA, P.L.S., and OLIVEIRA, S.R. A rede de frio e a importância da temperatura dos imunobiológicos. In: SILVA, M.N., and FLAUZINO, R.F., eds. *Rede de frio: gestão, especificidades e atividades* [online]. Rio de Janeiro: CDEAD/ENSP/EPSJV/Editora FIOCRUZ, 2017, pp. 127-145. ISBN: 978-65-5708-096-2.
<https://doi.org/10.7476/9786557080962.0008>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

The background is a stylized illustration of a city. It features several tall, angular buildings in shades of brown, orange, and grey. A white commercial airplane is flying in the sky above the city. In the foreground, there are green hills and a grey road. Three delivery trucks are shown: one on the left, one in the middle, and one on the right. Each truck has a blue box with a white cartoon character on it. Two workers in blue uniforms are standing near the middle truck. The sky is a light green color with small white dots and several white, fluffy clouds.

II | A gestão da rede de frio de imunobiológicos e seu processo de trabalho

6. A rede de frio e a importância da temperatura dos imunobiológicos

Alexandre Moreno Azevedo, Clayton Bernardo da Costa, Luis Cláudio Bernardo Colacio, Pedro Luiz da Silva Moura e Sergio Ricardo de Oliveira

O funcionamento correto da rede de frio (RF), em todas as etapas, é essencial para que os imunobiológicos e produtos termolábeis preservem suas características iniciais e princípios ativos até serem administrados – condição indispensável para garantir imunidade a todos que os recebam.

Para assegurar a potência das vacinas, é necessária atenção cuidadosa nas práticas de produção, conservação, armazenamento e distribuição dos imunobiológicos, em qualquer nível ou instância no país. Essas ações e cuidados incluem o armazenamento e transporte das vacinas das câmaras frias, do nível nacional até o usuário final, no estabelecimento de saúde, incluindo os locais de atividades extramuros e as campanhas de vacinação.

Ao percorrermos as instâncias da rede de frio, percebemos que a base que sustenta todo o processo é a **manutenção da temperatura**, dentro de parâmetros preconizados, condição essencial para se preservar a eficácia dos produtos imunobiológicos.

Portanto, não podemos pensar em conservação de vacinas sem considerar os conhecimentos da termologia. Devemos, também, conhecer princípios básicos de refrigeração, transmissão de calor por condução, por convecção e por radiação. Esses princípios fornecem subsídios para se trabalhar com segurança no gerenciamento da rede de frio, em qualquer instância.

Este capítulo aborda os principais aspectos relacionados à manutenção da temperatura dos imunobiológicos, destacando os princípios, as bases

O conhecimento da estabilidade de uma vacina é importante para todos os profissionais que atuam nessa área, principalmente no que se refere à perda de sua estabilidade e suas características, ao ser submetida a temperaturas fora da faixa de $+2^{\circ}\text{C}$ a $+8^{\circ}\text{C}$. Esse conhecimento pode auxiliar os gestores e a equipe no planejamento e na operacionalização das atividades, garantindo segurança e efetividade das vacinas utilizadas.

e as recomendações fundamentais da termologia, de modo a contribuir no entendimento sobre os processos físicos envolvidos na conservação dos imunobiológicos.

A ênfase sobre a gestão das vacinas para protegê-las do calor e do frio vem aumentando a cada dia, com a incorporação de novos instrumentos e equipamentos. Certamente, muitos outros estão por vir. Por isso, não é nossa pretensão esgotar o assunto, mas fornecer subsídios para a manipulação segura dos imunobiológicos e a gestão eficiente da rede de frio.

Fundamentos da termologia

A exposição das vacinas a variações de temperatura, desde calor até temperaturas mais baixas que o estabelecido (ou congelamento), pode acarretar problemas com a termoestabilidade destas. Isso pode interferir tanto em sua qualidade e eficácia, impedindo que o sistema imunológico da pessoa vacinada produza anticorpos e gere imunidade, como também na segurança do paciente, já que podem ocorrer reações locais após administração de uma vacina incorretamente armazenada, como já destacamos nos capítulos anteriores.

Para melhor entendermos os princípios que se aplicam à temperatura dos imunobiológicos e sua estabilidade, vamos analisar algumas questões relativas à termologia, iniciando com as definições de calor e frio.

Calor e temperatura

Olhando à sua volta, você pode notar que há uma grande quantidade de objetos parados ou em movimento, em relação ao solo. Escolha um, especificamente, que esteja parado e o observe por alguns segundos. O que se percebe é que ele permanece imóvel. No entanto, isso é apenas aparente!

Os objetos, de uma forma geral, são compostos por pequenas porções de matérias que chamamos de átomos. Os átomos, por sua vez, se juntam e formam moléculas que, de acordo com sua organização e a energia presente, podem constituir estruturas sólidas.

O que se sabe é que a molécula, independentemente da sua complexidade, possui alguma **energia** que a mantém em constante agitação (movimentação). É esse movimento interno da estrutura molecular que constituiu a base de estudos da física sobre termologia.

Os átomos são compostos, ainda, por partículas menores, como prótons, nêutrons, elétrons etc.

Nossa vida está diretamente ligada a uma forma de energia que agita as moléculas: a energia térmica, ou **calor**. Essa forma de energia está relacionada às variações de temperatura, à mudança de estados físicos das substâncias e da estrutura dos corpos. Dada a sua importância, começaremos conhecendo os conceitos fundamentais que servirão de base para melhor compreendermos os fenômenos que estão relacionados a esse tipo de energia. Tais conhecimentos nos permitirão entender melhor a importância da temperatura na rede de frio.

O primeiro conceito importante para compreender o **calor** é o de energia, algo constante na natureza, que pode se apresentar de diferentes formas e se transferir de um corpo para outro. No caso do calor, por exemplo, isso implica a existência de uma **fonte térmica**. Trata-se de um dispositivo natural ou artificial que, por meio da utilização da queima de um combustível, ou mesmo de outras formas de energia, como a eletricidade, produz uma quantidade esgotável de energia **térmica**.

Alguns exemplos de diferentes formas de energia são: energia luminosa, que faz um corpo emitir luz; energia cinética, relacionada ao movimento dos corpos; energia elétrica, que se converte em energia luminosa, quando acendemos uma lâmpada em casa, por exemplo, etc.

Faça um teste!

Coloque água em uma panela pequena e leve-a à chama do fogão. Com o passar do tempo, observe que a água começa a formar bolhas, e, em seguida, tem início o processo de fervura. Note que a água se encontra em processo de agitação constante. Esse efeito está relacionado com o ganho de **calor** (energia) fornecido pela chama do fogo (fonte térmica, nesse caso).

Com essas informações, podemos, então, construir um conceito básico de calor:

Calor é uma forma de energia em trânsito, que passa sempre do corpo mais quente para o corpo menos quente (HEWITT, 2011).

Essa transferência de energia aumenta o grau de **agitação** das moléculas do corpo que recebeu calor. Observa-se, também, que, enquanto a fonte térmica permanece em contato com o corpo, transferindo calor a ele, a temperatura deste aumenta, transmitindo ao corpo maior grau de agitação das moléculas. Dessa forma, podemos concluir que, **quanto maior a agitação de um corpo, maior sua energia térmica**.

Atenção!

Cuidado para não tocar a panela que abriga o recipiente em banho-maria. E, claro, não permaneça com a mão na água, quando ela começar a causar sensação de desconforto térmico.

Observe o seguinte...

Ao retirarmos água da geladeira e, imediatamente, a colocarmos em um recipiente em banho-maria, aquecendo em fogo brando, se colocarmos a mão na água, verificaremos que haverá alterações de **temperatura**. Você poderá ter as seguintes sensações:

Muito fria

Fria

Morna

Quente – Atenção, não ultrapassar esta fase!

Muito quente – Cuidado! Não recomendamos manter a mão na água nesta fase!

Ao se transferir calor para um corpo, percebe-se, na verdade, um aumento da quantidade de energia nesse corpo, composto basicamente por pequenas partículas atômicas que começam a se agitar em virtude do ganho de energia cinética (movimento). Assim, podemos definir outro conceito básico, isto é, o de temperatura:

Temperatura é a grandeza física que mede o grau de agitação das moléculas (HEWITT, 2011).

Agora que já sabemos que **calor** e **temperatura** não são a mesma coisa, é fundamental diferenciá-los da **sensação térmica**, que é a capacidade que temos de observar se um corpo está **quente** ou **frio**. Essa capacidade, porém, não pode servir de parâmetro, pois o que para uns seria quente, para outros pode ser frio.

Se considerarmos, por exemplo, a temperatura da cidade do Rio de Janeiro, que, com frequência, atinge mais de 35°C, veremos que a temperatura é extremamente quente e desagradável para povos que vivem em regiões mais frias do planeta e amena e tolerável para os que vivem em regiões tropicais.

Outra situação que demonstra bem esse fenômeno é quando, em uma sala com ar-condicionado ligado, algumas pessoas estão confortáveis com a temperatura enquanto outras sentem muito frio. A sensação térmica depende de quem a está sentindo. No entanto, a temperatura da sala é a mesma para todos, por exemplo, 25°C.

Vimos, nos dois exemplos, que sempre haverá certa subjetividade nesse tipo de análise.

A forma de medir a temperatura de um lugar ou de um corpo é por meio de **termômetros**. Quando calibrados, informam com precisão as temperaturas reais dos corpos, por intermédio de escalas termométricas conhecidas. Por isso, é o principal instrumento para medição da temperatura. Para efetuarmos essa verificação, contudo, temos que considerar um princípio fundamental denominado lei zero da termodinâmica.

A **lei zero da termodinâmica** estabelece que, se dois corpos estiverem em equilíbrio com um terceiro, eles estarão em equilíbrio entre si.

Em outras palavras, a lei da termodinâmica está relacionada com um fundamento básico físico, que é o do equilíbrio térmico. Isso significa que, quando dois ou mais corpos, em temperaturas inicialmente diferentes, são colocados em contato térmico, irão trocar calor até que, depois de certo tempo, tenham a mesma temperatura.

É possível observar esse efeito quando retiramos um frasco de imunobiológico da geladeira. Após algum tempo fora do refrigerador, observamos a formação de gotículas de água na superfície externa do frasco. Esse efeito é provocado pela troca de calor entre o ar externo e o frasco, que possui temperatura menor do que a do ambiente. Nessa situação, o ar sofre redução de temperatura, **condensando-se** sobre a superfície do frasco, o qual, ao mesmo tempo, tem a sua temperatura elevada, comprometendo sua utilização. Esse princípio é o mesmo que nos possibilita compreender como uma vacina, em contato com materiais congelados ou em temperatura fora dos padrões, pode vir a congelar ou perder calor e diminuir sua temperatura.

Medição de temperatura: termômetros

Para medir a temperatura dos corpos, o **termômetro** é o instrumento mais seguro e preciso. Em geral, o fundamento do equilíbrio térmico é usado para medir a temperatura dos corpos por meio do termômetro.

Existem vários tipos de termômetros, que possuem características distintas quanto à funcionalidade e à precisão. Basicamente, em relação a sua constituição, eles são do tipo analógico (que utiliza dispositivos mecânicos) ou digital (que utiliza dispositivos elétricos) e devem ser capazes de verificar com precisão a temperatura dos corpos.

Os termômetros analógicos são dispositivos que utilizam diversos tipos de produtos para monitorar as temperaturas. Os produtos utilizados nesse tipo de termômetro podem ser mercúrio (metal líquido com alto coeficiente de dilatação térmica), álcool (que tem baixo custo e menor

Todo e qualquer corpo, independente da sua temperatura, é uma fonte térmica, pois transmite energia na forma de calor para corpos com temperaturas abaixo da sua.

Condensando refere-se à condensação, que significa a passagem do estado gasoso para o líquido. No exemplo, a umidade que está no ar e as gotículas que se formam em volta do frasco.

A redução da temperatura do ar pela troca de calor com um frasco de imunobiológico que estava gelado não é perceptível, pois o frasco e o calor trocado são muito pequenos em relação ao volume de ar em uma sala.

A rede de frio utiliza, com frequência, um termômetro analógico, conhecido como capelinha ou “de máxima e mínima”.

risco que o mercúrio), gás (medido por pressão), ou mesmo dispositivos mecânicos, como lâminas bimetálicas.

Figura 1 – Termômetro analógico de mercúrio do tipo capelinha

Fonte: Elaboração de Edson Moura (2001).

Outros termômetros, como os digitais, são baseados em propriedades elétricas e eletrônicas de alguns materiais. A medida da temperatura é feita a partir de variações nas características elétricas do sensor de temperatura. O dispositivo utilizado para indicar variação ou medir a temperatura, nesses casos, é o **termopar**, ou simplesmente **par termoelétrico**, que responde com uma corrente elétrica diferenciada, de acordo com a temperatura do corpo.

A diferença básica entre os termômetros digitais e analógicos está na precisão da medida que se quer obter. Quando se pretende acondicionar um produto em uma temperatura que não pode sofrer grandes variações (de 1°C, por exemplo), como no caso dos imunobiológicos, o ideal é utilizar termômetros digitais, para garantir que a temperatura do ambiente seja uniforme. O termômetro analógico é indicado para verificar a temperatura de determinado ambiente ou local de acondicionamento, quando pequenas variações de temperatura não forem relevantes. Nesse caso, deve-se alocar

Foto 1 – Termômetro digital

Fonte: Flickr.com.

Foto: Idnxbmw (2010).

o termômetro nas regiões consideradas mais críticas (de maior e menor temperatura), aguardar o equilíbrio térmico entre o ambiente e o instrumento e manter a observação constante do ambiente, de forma a garantir sua temperatura.

Há, ainda, outro tipo de termômetro, conhecido como de **radiação**. Utilizado para medir a distância, ou seja, sem contato com o objeto; seu princípio se baseia em captar a radiação eletromagnética da fonte de calor.

Foto 2 – Termômetro de radiação

Foto: Larry Jacobsen (2010).

Fonte: Flickr.com.

Agora que conhecemos mais sobre temperatura e como devemos medi-la, a pergunta é: por que há mais de uma escala de medida da temperatura? Para respondê-la, apresentaremos um pouco da história das escalas termométricas.

Se você quiser se aprofundar mais sobre o assunto ou obter mais dicas sobre os termômetros, vale a pena ler o artigo de Pires, Afonso e Chaves (2016) "Do termoscópio ao termômetro digital: quatro séculos de termometria", disponível em <http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n6/40.pdf>

Você encontra mais detalhes sobre os termômetros utilizados no PNI no Capítulo 8, "Gestão da rede de frio de imunobiológicos", deste livro.

Escalas termométricas

Desde que o homem se preocupou, realmente, em medir temperaturas, percebeu que, para isso, deveria criar escalas numéricas e instrumentos menos subjetivos do que seus próprios sentidos. As primeiras tentativas remontam ao início da Era Cristã, quando alguns médicos (motivados, talvez, pela necessidade de quantificar a febre de seus pacientes) procuraram representar numericamente as diversas gradações entre **frio** e **quente**. No entanto, foi somente a partir do século XVI que começaram a surgir aparelhos e escalas com um mínimo de precisão e confiabilidade. Pelo que se sabe, o primeiro desses aparelhos foi construído por Galileu (1564-1642), em 1592. O próprio Newton (1643-1727) também criou uma escala para medir temperaturas (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006).

Para se ter uma ideia da "febre" que acometeu os cientistas, mesmo sem estes terem a noção do que ocorria com os corpos quando mudavam de temperatura, no fim do século XVIII já havia mais de 60 escalas termométricas registradas! De todas as existentes, apenas duas chegaram até os dias de hoje: a escala **Celsius**, utilizada na maioria dos países, e a **Fahrenheit**, ainda utilizada em países de língua inglesa (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006).

Se você quiser se aprofundar mais sobre o assunto ou obter informações sobre os cientistas responsáveis pelas escalas, visite as páginas: http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/escalas_term.htm e http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/escalas_term_a.htm

Quando realizamos uma medida, ela deve obedecer a algum referencial, critério ou padrão, ou então o valor obtido não pode ser considerado válido. Para isso, utilizamos, além das escalas Celsius e Fahrenheit, outra escala considerada absoluta e que não possui valores negativos, a escala **Kelvin**.

A escala Kelvin, por ser absoluta, tem como valor mínimo o 0 (zero), que corresponde ao repouso (falta de movimentação) total das moléculas de um corpo. Além disso, a Kelvin também é utilizada em estudos científicos e em laboratórios para, principalmente, aferir e calibrar os termômetros em outras escalas.

Contudo, há uma relação direta entre as escalas, e qualquer temperatura registrada em uma delas pode ser calculada para as demais. Na Figura 2, podemos observar a relação entre as escalas termométricas.

Figura 2 – Relação entre as escalas termométricas

T_C : Temperatura na escala Celsius; T_F : temperatura na escala Fahrenheit; K : temperatura na escala Kelvin.

Fonte: Elaboração do autor.

É importante conhecer a lógica da conversão entre as escalas. Caso necessite realizar essa operação, consulte a internet, onde é possível encontrar sítios que fazem a conversão de escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin. Um deles: <http://www.convertworld.com/pt/temperatura/Fahrenheit.html>

Eis um exemplo. Digamos que determinado produto da rede de frio seja importado de um país de língua inglesa e apresente, no rótulo, a indicação para ser acondicionado em temperatura de -4°F (graus Fahrenheit). Qual seria sua correspondente aqui no Brasil?

A solução é simples; basta utilizar a relação que há entre as escalas Celsius e Fahrenheit, substituindo o valor -4°F no lugar de T_F .

$$\frac{T_C}{5} = \frac{-4 - 32}{9}$$

Fazendo as contas, você conclui que o produto deve ser acondicionado a -20°C (graus Celsius).

Trocas de calor

Vimos, há pouco, que corpos em contato tendem a trocar calor até atingirem o equilíbrio, ou seja, a mesma temperatura. No entanto, alguns materiais podem ganhar ou perder calor mais rapidamente que outros. Em outras palavras, diferentes materiais absorvem diferentes quantidades de calor, mesmo tendo a mesma massa e independentemente do seu tamanho.

Por exemplo, imagine que é colocada a mesma quantidade de água, a temperatura ambiente, em duas canecas, uma de vidro e outra de alumínio. Espera-se um pouco para que as duas atinjam a mesma temperatura e, depois disso, as canecas são colocadas no congelador de uma geladeira. Minutos depois, retiram-se as duas canecas do congelador (de modo que as duas porções de água não estejam totalmente congeladas). O que se observa é que há uma pequena camada de gelo na parede da caneca de alumínio, enquanto na parede de vidro esse efeito não é percebido.

Isso acontece porque o vidro troca calor mais rápido que o alumínio, e o processo de congelamento passa a ser de dentro para fora, ou seja, o congelamento no vidro é de dentro para fora. No entanto, na caneca de alumínio o congelamento da água se dá de fora para dentro, por isso congela a parte em contato com a caneca, antes da parte interna.

Esse experimento é bastante simples e permite visualizar a diferença das trocas de calor de diferentes materiais (vidro e alumínio). O que explica essa diferença é a capacidade que cada material tem de ganhar ou perder calor com rapidez. A essa relação denominamos de **calor específico**. Quanto menor o calor específico do material, mais rápida é a troca de calor entre ele e o meio ou outro corpo.

O vidro, material sólido utilizado no envase dos imunobiológicos, possui um calor específico muito baixo e, por isso, troca calor com muita facilidade. Prova disso é a mudança rápida de sensação térmica quando seguramos um frasco de vidro que está em baixa temperatura: o vidro esquentar pela troca de calor com a mão. Por isso, é importante que, nas atividades de vacinação extramuro ou de campanhas, os profissionais não permaneçam com o frasco nas mãos durante todo o processo de vacinação, para que o produto imunobiológico não sofra alteração de temperatura em contato permanente com o calor das mãos. O vacinador deve colocar o frasco no recipiente, isopor ou caixa térmica, a cada pessoa vacinada.

O isopor é uma espuma de poliestireno expandido, ou seja, um polímero que contém inúmeras e minúsculas bolhas de ar. O ar é um excelente isolante térmico, e essas minúsculas bolsinhas de ar são as responsáveis por absorver o calor entre as faces do isopor. O verdadeiro isolante térmico do isopor é o ar retido nele.

Se fizermos uma analogia com uma lata de bebida, iremos reparar que, se retirarmos a lata do sistema de refrigeração, ela rapidamente trocará calor, absorvendo energia do meio ambiente. Para reduzir esse efeito, as latas podem ser colocadas em dispositivos individuais de isopor, que funcionam como isolante térmico. Esse tipo de material, que impede a troca de calor com o meio, ou mesmo com outros corpos, é utilizado na produção de **calorímetros**, que nada mais são do que recipientes com alta **capacidade térmica**. A capacidade térmica de um corpo está relacionada à capacidade de receber ou ceder calor, quando o corpo sofre uma variação de temperatura.

O calor específico é a característica da substância (água, óleo, alumínio, vidro), não muda com a massa (por exemplo, o calor específico de um ou dois litros de água é o mesmo). E a capacidade térmica é a característica do corpo, isto é, muda com a massa (por exemplo, a massa de um litro de água é diferente da de dois litros de água).

Em nosso dia a dia, utilizamos vários recipientes que não deixam a temperatura do seu interior variar muito, ou seja, possuem grande capacidade térmica, como garrafa térmica, caixa de isopor, a água (banho-maria), recipiente para garrafas de cerveja etc. Esses objetos são denominados de **calorímetros**. Então, as caixas térmicas, os isopores usados nas atividades de imunização e de rede de frio são também denominados de **calorímetros**!

Tipos de calor

Uma das preocupações com os imunobiológicos é a conservação da sua temperatura durante o transporte. Como é possível que produtos sensíveis como os imunobiológicos não sofram pequenas variações de temperatura em longos períodos? Como fazer para que não percam ou ganhem calor, e também não congelem?

A caixa de isopor (calorímetro), utilizada no transporte, é fundamental nesse processo, pois evita bastante a troca de calor do meio interno com o externo. Entretanto, há outro fator que também impede o aumento de temperatura no interior da caixa. Esse fator está ligado à mudança de estado físico dos produtos que se encontram no interior da caixa (os próprios imunobiológicos ou mesmo o líquido das bobinas).

A temperatura do gelo empregado na conservação das vacinas é de grande importância. Caso se utilize gelo em temperaturas muito baixas (-20°C , por exemplo) e em grande quantidade ("ilhando" as vacinas), corre-se o risco de, em determinado momento, a temperatura das vacinas ficar próxima à temperatura do gelo. Em consequência, as vacinas ficarão congeladas, o que inativará alguns tipos específicos, como a DTP (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2001).

Para entender melhor o que acontece, observe que, durante a preparação das caixas de imunobiológicos, as bobinas a serem utilizadas no interior da caixa devem estar “climatizadas” com o meio externo, ou seja, devem estar no processo de mudança de estado físico (sólido para líquido) com o propósito de evitar a diminuição da temperatura dos imunobiológicos. Dessa forma, quando as bobinas forem acondicionadas no interior da caixa, devem estar frias o suficiente para criar uma “atmosfera” que mantenha os imunobiológicos em temperatura constante, mas não frias demais de modo que possam provocar o congelamento destes. Esse efeito pode ocorrer por conta da troca de calor entre as bobinas e os imunobiológicos, em razão da diferença de capacidade térmica entre os objetos no interior da caixa.

Isso acontece porque, no momento de mudança de estado, o corpo não sofre variação de temperatura; logo, a temperatura de todo o conjunto permanece constante, e a quantidade de calor absorvido ou cedido pelo corpo é apenas para a mudança de estado. Esse tipo de calor, que se refere à **mudança de estado**, é chamado de **calor latente**.

Há, também, outra forma de ganho ou perda de calor, que é aquela perceptível, pois ocorre variação de temperatura. A esse tipo damos o nome de **calor sensível**. É importante perceber que este só ocorre enquanto o material se encontrar em um único tipo de estado da matéria.

Para que se compreenda melhor os diversos tipos de calor, temos de relembrar alguns conceitos básicos sobre os diferentes estados da matéria. Você lembra o nome dos estados da matéria e de seus processos de transformação?

No diagrama a seguir, representamos as diferentes mudanças de estados da matéria e seus respectivos nomes. Vale ressaltar que a maioria das substâncias passa pelos três estados da matéria, o que caracteriza dois calores latentes. Na sequência, podemos observar a descrição de cada uma das mudanças de fase.

Diagrama 1 – Estados da matéria

Fonte: Adaptado de João Neto ([20--]).

Notas

- **Fusão:** passagem do estado sólido para o estado líquido (por exemplo, gelo virando água, bobina de conteúdo líquido quando não mantida sob refrigeração permanente).
- **Vaporização:** passagem do estado líquido para o estado gasoso. Pode ocorrer de três maneiras:
 - **Calefação:** passagem do estado líquido para o gasoso, de modo muito rápido (por exemplo, gotas d'água derramadas numa chapa metálica aquecida).
 - **Ebulição:** passagem forçada do estado líquido para o estado gasoso (por exemplo, água fervendo no fogo).
 - **Evaporação:** passagem do estado líquido para o gasoso, que envolve apenas a superfície do líquido (por exemplo, gota d'água sobre a pele secando sozinha, poça de água evaporando).
- **Liquefação ou condensação:** passagem do estado gasoso para o estado líquido, por contato do vapor com uma superfície fria (por exemplo, os espelhos do banheiro embaçados depois de um banho quente, nuvem que se transforma em chuva).
- **Solidificação:** passagem do estado líquido para o estado sólido (por exemplo, água congelando).
- **Sublimação:** passagem do estado sólido para o gasoso, ou o processo inverso, sem passar pelo estado líquido (por exemplo, a sublimação do gás carbônico sólido, conhecido como gelo seco, usado algumas vezes pela Central Nacional de Armazenamento no transporte de grandes volumes de imunobiológicos, e a temperatura ambiente).

Podemos perceber, pelos exemplos descritos, os diversos estados da matéria, seja nas atividades domésticas ou na própria atividade da rede de frio. O conhecimento acerca dos estados da matéria das substâncias e de suas propriedades é fundamental para se entender o processo físico do sistema de refrigeração, sua importância e utilização em todo o processo da rede de frio.

Mais detalhes sobre o sistema de refrigeração podem ser obtidos no Capítulo 7, “Refrigeração e equipamentos da rede de frio”, deste livro.

Propagação de calor

Agora que já sabemos que o calor é uma forma de energia em trânsito e que os processos de trocas de calor dependem da capacidade térmica dos produtos, é necessário saber, então, a forma como se transmite.

Para refletir

Você tem alguma ideia de como o calor pode ser transmitido entre os corpos?

O calor pode se propagar por meio de **condução**, **convecção** e **irradiação**. Vejamos cada uma dessas formas a seguir.

Condução térmica

É o processo de transporte de energia sem transporte de matéria que ocorre, geralmente, em materiais sólidos. Nesse processo, a energia é transferida de partícula a partícula, sem que nenhuma delas seja deslocada. Um exemplo de condução térmica é o calor que sentimos ao utilizar uma colher metálica para cozinhar um alimento. O calor que a colher recebe, por estar em contato com o alimento quente, é conduzido pelas partículas que a formam até a ponta do cabo, onde estamos segurando, e, por isso, a sentimos esquentar.

De todos os tipos de substâncias, os metais são os materiais que melhor conduzem o calor, razão pela qual são chamados de **condutores térmicos**. Os materiais não condutores de calor são denominados de **isolantes térmicos**, como o isopor usado na conservação dos imunobiológicos, o ar, a madeira, o plástico e o vidro. Por isso, utensílios de cozinha que vão ao fogo, como panelas e espetos de churrasco, possuem uma base metálica, para aquecer mais rápido, e, nos cabos, materiais isolantes, para não queimar a mão de quem os segura.

As caixas de isopor utilizadas na conservação dos imunobiológicos devem ter sua densidade cuidadosamente verificada, para que cumpram a função de manutenção da temperatura de forma eficaz.

Por isso, é importantíssimo que o gestor/trabalhador, no momento da compra desse tipo de insumo, atente para as especificações que garantam as necessidades de manutenção da temperatura requerida pelas vacinas, em todas as atividades de imunização e na rede de frio.

Os trabalhadores que atuam na rede de frio utilizam roupas confeccionadas com materiais que funcionam como isolantes térmicos. Mais detalhes sobre esses materiais são apresentados no Capítulo 14, “Noções gerais sobre biossegurança e a questão do incêndio”, deste livro.

É por isso que no Polo Norte, por exemplo, os esquimós constroem suas casas (iglus) com gelo, material que dificulta a condução térmica.

As roupas de lã ou de materiais similares também são isolantes térmicos. Elas retêm o calor que o corpo emite, por causa do ar que fica retido entre suas fibras. Esse ar é que dificulta a condução do calor. O mesmo ocorre com os pelos dos animais e a serragem, que são bons isolantes porque retêm o calor, ou seja, impedem a troca de calor interno com o meio externo.

Outro material que dificulta a condução térmica é o gelo. Um exemplo simples é verificado no inverno: em localidades com frio intenso, os lagos congelam, mas apenas em sua parte superior, onde se forma uma camada isolante entre o frio do ar e a água do lago; abaixo do gelo, a vida marinha continua!

Convecção térmica

É o processo de transferência de calor através do transporte de matéria, por causa de uma diferença de densidade e da ação da gravidade. Acontece, apenas, em fluidos, isto é, em líquidos ou em gases.

Para entender esse processo, observe o aquecimento de um líquido, a água, por exemplo. Assim, quando o recipiente é aquecido, as porções inferiores recebem maior quantidade de calor e aquecem primeiro. Como elas se tornam menos densas, sobem; enquanto isso, as porções superiores descem, por serem mais frias e densas, e também por ação da gravidade. Esse movimento chama-se **corrente de convecção**.

Figura 3 – Corrente de convecção

Ilustração: Wagner Magalhães Paula

Na figura, as setas para cima representam o fluxo de água quente que sobe, enquanto as setas para baixo representam o de água fria, que desce para ser aquecido. Esse mesmo fluxo é percebido no interior das caixas de acondicionamento dos imunobiológicos, que, ao trocar calor, mantêm o ar mais quente na parte superior (abaixo da tampa). Uma das formas de evitar essas trocas de calor é manter as bobinas na parte inferior das caixas, para conservar o ar frio sempre no fundo da caixa.

Outro exemplo de convecção e movimento cíclico entre o ar quente, menos denso, e o ar frio, mais denso, é o funcionamento do ar-condicionado. O aparelho deve ser colocado na parte superior da habitação para possibilitar que o ar frio, mais denso, que sai do aparelho desça e desloque o ar quente, menos denso, que deve subir. Isso possibilita a criação de correntes de convecção e o resfriamento do ambiente.

O mesmo acontece na geladeira, em que a refrigeração dos alimentos é feita através da convecção. O ar em contato com os alimentos se aquece e sobe até o congelador, onde é resfriado, e volta para os alimentos. Por isso, o congelador fica na parte superior da geladeira.

Com esses exemplos, podemos entender, também, porque não se recomendam, em imunização, refrigeradores com o congelador separado: neles, o “ar resfriado” não descera para o local (parte separada) onde se encontram as vacinas.

Vejamos, agora, o processo de convecção térmica nos gases, tendo, como exemplo, uma praia. Durante o dia, o ar próximo da superfície do continente aquece mais rápido que o ar próximo à superfície do mar. Isso ocorre porque a água tem uma capacidade térmica maior que a areia. Então, o ar aquecido do continente fica mais leve e sobe, enquanto o ar mais frio do mar se desloca em direção ao continente, formando a **brisa marinha**.

Figura 4 – Formação da brisa marinha

Fonte: Elaboração do autor.

Durante a noite, acontece o inverso: o ar próximo ao mar permanece aquecido por mais tempo do que o ar próximo ao continente, então o ar próximo ao mar sobe, e ocorre o deslocamento de ar do continente para o mar, dando origem à **brisa terrestre**.

Figura 5 – Formação da brisa terrestre

Fonte: Elaboração do autor.

Você sabia?

- Quando um grupo de aves sobrevoa uma região, em círculos, está planando em uma corrente de convecção. O ar quente sobe em um fluxo de corrente sempre ascendente. Por exemplo: aves, como os urubus, percebem que uma corrente de ar aquecido ascendente (de baixo para cima) está ocorrendo em determinado ponto. As aves vão até esse ponto e aproveitam essa propriedade para flutuar, economizando energia. As correntes giram, por isso as aves voam em círculo. Esse mesmo princípio é aproveitado pelos praticantes de voo livre.
- As correntes de convecção são importantes para a dispersão de poluentes. Nas grandes cidades, a grande quantidade de poluentes suspensos no ar dificulta a dispersão; em dias quentes, ela é mais eficiente. Já no inverno, quando a superfície da Terra esfria muito, principalmente à noite, ocorre o fenômeno da **inversão térmica**. Isso porque as camadas de ar mais próximas da superfície da Terra ficam mais frias, e o Sol nem sempre consegue aquecer o solo para reverter esse processo, o que provoca interrupção das correntes de convecção e permanência dos poluentes junto ao solo, não se dispersando na atmosfera.

Irradiação térmica

Enquanto a condução e a convecção ocorrem em meios materiais, a irradiação pode acontecer tanto em meios materiais quanto no vácuo (ausência de matéria). A irradiação térmica é o processo de transferência de calor por meio de ondas magnéticas. Como exemplo, podemos citar o calor de uma fogueira, a luz do Sol etc.

As ondas são geradas pela agitação da matéria, que, por sua vez, é produzida pela quantidade de calor que contém; ou seja, as ondas dependem da temperatura do corpo. O Sol, cuja temperatura em sua super-

fície é de aproximadamente 6.000K (temperatura na escala Kelvin), é o principal irradiador de calor para a Terra. A Terra recebe o calor do Sol diretamente no solo, que o reflete para a atmosfera e aquece nosso planeta às temperaturas que temos.

Assim como o Sol, as lâmpadas incandescentes também emitem calor luminoso (ondas eletromagnéticas). Dessa forma, podemos entender por que as caixas ou os equipamentos onde estão acondicionadas as vacinas não devem estar em locais em que incida a luz solar direta, ou mesmo sob luz/lâmpadas incandescentes.

De um modo geral, podemos afirmar que todos os corpos emitem uma energia radiante, uns mais e outros menos, em virtude de sua temperatura. A maioria, no entanto, emite **calor obscuro** (não acompanhado de luz), inclusive nós, seres humanos.

Agora, vamos comentar sobre algumas aplicações de formas de propagação de calor que, de algum modo, contribuem para estudos ou manutenção da temperatura dos corpos, em especial, o efeito estufa.

Uma estufa pode ser definida, dentre outras formas, como um ambiente fechado onde se colocam plantas que precisam de condições climáticas especiais. O teto é feito de vidro ou outro material similar. É transparente à radiação que chega do Sol e opaco às ondas de calor emitidas pela Terra. Desse modo, o interior da estufa se mantém com uma temperatura maior do que a do exterior.

Um automóvel exposto aos raios solares, com os vidros fechados, reproduz as condições de uma estufa. Caso situação semelhante ocorra com veículos de transporte de vacinas, os valores de temperatura indicados para manutenção da integridade dos imunobiológicos serão alterados, provocando inadequação do produto para uso e consequente descarte. Para evitar prejuízos desse porte, somente veículos climatizados são recomendados para o transporte de imunobiológicos.

No caminho percorrido pela terminologia, conhecemos diversos aspectos que nos fizeram compreender o calor e o frio, como eles se propagam e as diversas formas de condução. Todas essas informações são importantes para vocês, profissional da saúde e trabalhadores da imunização e da rede de frio, visto que, com base nesses princípios e nas experiências aqui demonstradas, associadas à leitura dos próximos capítulos, será possível compreender os processos envolvidos na rede de frio e como eles estão convenientemente aplicados à conservação de imunobiológicos.

Convecção térmica também ocorre em uma estufa.

Na atmosfera terrestre também ocorre o **efeito estufa**. Em virtude do aumento considerável do número de veículos (automóveis, caminhões, ônibus), indústrias e fontes poluidoras em geral, os níveis de gás carbônico (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO_2) e outros gases têm aumentado expressivamente, contribuindo para o aumento da temperatura do planeta.

Considerações finais

Sabemos que a rede de frio tem, como base, a manutenção da temperatura dos imunobiológicos em todas as fases. Pela própria exigência dos órgãos reguladores, todos os produtores de imunobiológicos devem realizar diversos estudos de estabilidade, visando demonstrar que seus produtos mantêm suas características e a sua imunogenicidade quando expostos a condições adversas, por determinado período de tempo (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2010).

Vimos que, além desse controle da produção, temos de estar atentos a quaisquer mudanças ou alteração de temperatura que possam influir na estabilidade dos produtos, tendo sido demonstrada, neste capítulo, a base para entendermos como ocorrem as perdas e transmissão de calor de uma matéria para outra, incluindo os princípios físicos envolvidos na termologia. Esses princípios precisam ser conhecidos e aplicados, obrigatoriamente, em todas as etapas da rede de frio, porque assim estaremos agindo em prol da qualidade das vacinas e, conseqüentemente, do controle, da eliminação ou erradicação das doenças imunopreveníveis no país.

Equipes bem treinadas e instrumentos de medição disponíveis são fundamentais, mas as condições em que os imunobiológicos são armazenados e transportados são determinantes para garantir a qualidade dos produtos e evitar prejuízos de consequências incalculáveis. Considerando a vasta dimensão territorial do nosso país, as áreas de difícil acesso e outras situações que os profissionais da saúde, em especial os da rede de frio, enfrentam para que os imunobiológicos, em todas as instâncias, sejam mantidos nas temperaturas ideais preconizadas, percebemos a importância das informações aqui apresentadas e os desafios impostos a esses profissionais na manutenção da temperatura dos produtos em todos os recantos do país.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Resolução da Diretoria Colegiada RDC n. 17, de 16 de abril de 2010. Dispõe sobre as boas práticas de fabricação de medicamentos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 19 abr. 2010. Seção 1, p. 94.

DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J.; VILLAS BOAS, N. *Tópicos de física*. São Paulo: Saraiva, 2003. v. 2.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. *Manual de rede de frio*. 3. ed. Brasília, DF, 2001.

HEWITT, P. G. *Física conceitual*. Porto Alegre: Bookman, 2011.

JOÃO NETO, Prof. *Química*: estados físicos e mudanças de estado. [S.l., 20--]. Disponível em: <<http://www.profjoaoneto.com/quimicag/estadex.htm>>. Acesso em: 18 set. 2016.

MÁXIMO, A.; ALVAGENGA, B. *Física ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2006. v. 2.

PIRES, D. P. L.; AFONSO, J. C.; CHAVES, F. A. B. Do termoscópio ao termômetro digital: quatro séculos de termometria. *Química Nova*, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1393-1400, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n6/40.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2016.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. *Os fundamentos da física*: 2º ano. São Paulo: Moderna, 2006.