

Física e Biofísica

Paula Beghelli Oliveira

© 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Ana Carolina de Castro Curado

Editorial

Camila Cardoso Rotella (Diretora)

Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Letícia Bento Pieroni (Coordenadora)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Oliveira, Paula Beghelli
O48f Física e biofísica / Paula Beghelli Oliveira. – Londrina:
Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.
184 p.

ISBN 978-85-522-0549-4

1. Física. 2. Biofísica. 3. Física médica. I. Oliveira, Paula Beghelli. II. Título.

CDD 571.4

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2018

Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 – Londrina – PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 Introdução ao Estudo da Física	7
Seção 1.1 - Introdução à Física	9
Seção 1.2 - Cinemática	21
Seção 1.3 - Leis de Newton	33
Unidade 2 Biofísica dos fluidos e soluções	47
Seção 2.1 - Biofísica dos fluidos	49
Seção 2.2 - Termodinâmica da circulação e filtração renal	62
Seção 2.3 - Biofísica das soluções	74
Unidade 3 Biofísica dos sistemas	89
Seção 3.1 - Potenciais artificiais e biológicos	91
Seção 3.2 - Biofísica da respiração	105
Seção 3.3 - Biofísica da visão e audição	118
Unidade 4 Métodos biofísicos de análises	131
Seção 4.1 - Cromatografia	133
Seção 4.2 - Eletroforese	148
Seção 4.3 - Espectrofotometria	163

Palavras do autor

Caro aluno,

A Física é uma ciência em constante desenvolvimento, responsável por estudar e interpretar diversos fenômenos da natureza, com o objetivo de entender o funcionamento do universo. É uma ciência fundamental que impulsiona e influencia os avanços tecnológicos e suas aplicações para a humanidade.

Nesta disciplina, você estudará também a Biofísica, uma ciência interdisciplinar que utiliza as leis universais da Física para compreender e elucidar questões da Biologia. Por meio da Biofísica, somos capazes de enxergar o ser vivo como um corpo que ocupa lugar no espaço, transforma a energia e, conseqüentemente, interage com um meio. Você descobrirá, por exemplo, que aspectos como eletricidade, termodinâmica, ótica, mecânica e acústica fazem parte da composição de vários acontecimentos biológicos.

Assim, o autoestudo desta disciplina lhe permitirá compreender muitos fenômenos que fazem parte do seu corpo, que diariamente se transforma e se repete em ciclos vitais para a vida. Você ainda poderá desenvolver competências para relacionar os aspectos físicos e físico-químicos com os fenômenos biológicos, entendendo a aplicabilidade dos fenômenos físicos em técnicas de diagnóstico e tratamento de doenças.

Esta disciplina está dividida em quatro unidades de ensino. Na Unidade 1, faremos uma introdução ao estudo da Física, conhecendo as leis e os princípios básicos que descrevem os movimentos dos corpos e avaliam as atividades humanas. Na Unidade 2, trataremos da biofísica dos fluidos e das soluções, compreendendo os princípios físico-químicos, a circulação e a filtração renal. Na Unidade 3, nosso assunto será a biofísica dos sistemas, em que abordaremos os potenciais biológicos, a respiração, a visão e a audição. Por fim, a Unidade 4 tratará dos métodos biofísicos de análises, como cromatografia, eletroforese e espectrofotometria.

O estudo da Biofísica pode mostrar um mundo novo, no qual tudo se torna mais interessante, pois compreendemos como a Biologia

e a Física se entrelaçam ao aprendermos sobre o funcionamento do corpo humano. No seu dia a dia, aplique os conceitos e as competências que serão desenvolvidos nesta disciplina. Você será capaz de conhecer os fundamentos de Física e Biofísica aplicados às Ciências Biológicas. Desfrute da aventura e da magia de entender o que acontece com o seu corpo e desafie-se com as novas possibilidades tecnológicas disponíveis ao ser humano. Bons estudos!

Introdução ao Estudo da Física

Convite ao estudo

Você começará a estudar a Física por meio das relações entre movimento, massa e força, que são conceitos da Mecânica. Para entender a importância da Física no seu dia a dia e no seu desenvolvimento profissional, tente responder às seguintes perguntas: como somos capazes de controlar e realizar nossos movimentos? O que a Física tem a ver com a nossa postura? Como conseguimos caminhar? Como conseguimos manter nosso equilíbrio? Por que caímos? Por que precisamos fazer mais “esforço” nas subidas? Qual é a importância da bengala para as pessoas com dificuldades de locomoção? Para responder a essas questões, você precisa estudar a Física e suas aplicações na Biologia.

O objetivo desta unidade de estudo – Introdução ao estudo da Física – é o conhecimento das leis e dos princípios básicos da Mecânica para descrever os movimentos dos corpos e avaliar as atividades humanas.

Os conceitos aprendidos em Física e Biofísica são amplamente utilizados, nos dias de hoje, para estudar o desempenho dos atletas nas mais diversas modalidades esportivas. Digamos que um atleta, após correr uma maratona, procurou você, profissional atuante na área de Biofísica, para avaliar os parâmetros relativos ao seu desempenho na prova. De posse do *chip* utilizado pelo atleta durante a maratona, você perceberá que, utilizando os conceitos de Física aprendidos durante o estudo desta unidade, informações simples poderão ser transformadas em dados importantíssimos sobre a *performance* do atleta na corrida.

Quando mergulhamos no mundo da Física, conseguimos interpretar diversos fenômenos da natureza, entendemos o

funcionamento do universo e compreendemos como essa ciência impulsiona e influencia os avanços tecnológicos e suas aplicações na humanidade.

A partir de agora, convido você a mergulhar neste universo da Física. No decorrer dos estudos, você certamente aprenderá novas e enriquecedoras informações que levará para toda a sua vida profissional. Vamos lá!

Para analisar o desempenho do atleta durante a maratona, você faz um planejamento, dividindo o trabalho em etapas. Em cada etapa, você enfrentará um desafio para desvendar uma nova e importante informação sobre a *performance* do atleta.

Assim, no decorrer desta unidade, você deverá aprender e aplicar os conceitos de grandezas, unidades de medidas, conversões, deslocamento, velocidade, aceleração e as três leis de Newton do movimento.

Seção 1.1

Introdução à Física

Diálogo aberto

Caro aluno, descobrimos a Física aprendendo a medir e a comparar grandezas com padrões.

Nesta seção, estudaremos o que é a Física e os padrões de unidades e medidas.

A unidade é um nome particular que atribuímos às medidas dessas grandezas. Existem inúmeras grandezas físicas e cada uma delas pode ser descrita em termos de diferentes unidades, de maneira que foi necessário instituir um Sistema Internacional de Unidades (SI) para facilitar a comunicação entre as diversas regiões do mundo. Muitas vezes, precisamos fazer mudanças ou conversões de uma unidade em outra, o que é facilitado com o uso dos fatores de conversão. As grandezas mais utilizadas são comprimento, tempo, massa e temperatura.

Para contextualizar a importância desta seção, retomaremos a situação do maratonista que solicitou sua ajuda para avaliar o desempenho dele na competição. Na primeira etapa do plano de trabalho, para iniciar as análises, você precisa coletar informações sobre a distância percorrida pelo atleta na maratona e o tempo gasto no percurso. Para que essas informações sejam precisas, você solicita ao atleta que ele lhe entregue o *chip* utilizado por ele durante a prova.

Ao fazer a leitura dos dados disponíveis no *chip*, você percebe que as informações estão no sistema britânico e não no SI. Logo, na primeira etapa do trabalho, você precisará converter as grandezas deslocamento e tempo para o SI. Como você fará essas conversões? Quais são as unidades do SI para essas grandezas? Será desafiador, não é mesmo?

Ao final desta seção, esperamos que você conclua que, para resolver o problema, teremos de compreender as grandezas, os padrões e as unidades, além de conhecer o SI e saber como realizar conversões de unidades. Está preparado? Então, vamos lá!

Não pode faltar

A Física é uma ciência fundamental que estuda os fenômenos da natureza por meio das observações, da criação de modelos, da formulação de conceitos e das experimentações.

Os experimentos exigem medidas e, normalmente, usamos números para descrever resultados de medidas. Quando utilizamos grandezas para descrever qualitativa ou quantitativamente um fenômeno observado, denominamo-as de grandezas físicas. São exemplos de **grandezas físicas**: massa, altura, velocidade, tempo, distância etc.

Ao medirmos uma grandeza física, sempre a comparamos com um padrão de referência (a **unidade**). O padrão de referência pode estar associado a um objeto ou a um procedimento experimental. É extremamente desejável que os padrões sejam naturais e invariáveis com o passar do tempo.

Portanto, medir é o procedimento experimental por meio do qual o valor momentâneo de uma grandeza física é determinado como um múltiplo e/ou uma fração de uma unidade, estabelecida por um padrão de referência.



Exemplificando

Considere as matrizes seguintes: queremos medir a altura de Laura e expressar o resultado em metros. A altura é a grandeza física de interesse dessa situação. Para medir a sua altura, devemos comparar quantas vezes a unidade metro "cabe" ou está contida na altura de Laura. Podemos fazer essa comparação com o auxílio de uma trena ou de uma fita métrica, que são instrumentos de medidas compatíveis com o padrão da unidade metro. Assim, ao esticarmos uma trena ao lado de Laura, estamos comparando quantos metros cabem na sua altura. Estamos, portanto, realizando uma medição, utilizando a unidade metro, para observar e quantificar a grandeza física **altura**. Se identificarmos, por exemplo, que cabem 1,72 unidade de metro na altura de Laura, dizemos, então, que a altura de Laura é 1,72 metro.

Para obtermos medidas confiáveis, precisas e que possam ser repetidas quantas vezes for necessário, por diferentes pessoas, sem produzir variações significativas, existe um Sistema Internacional de Unidades (SI) utilizado mundialmente por cientistas e profissionais de diversas áreas. O SI é composto de sete grandezas físicas fundamentais, conforme mostra a Tabela 1.1:

Tabela 1.1 | As sete grandezas físicas fundamentais do SI

Grandeza física	Unidade	Símbolo
Comprimento	Metro	m
Massa	Quilograma	kg
Tempo	Segundo	s
Temperatura	Kelvin	K
Quantidade de matéria	Mol	mol
Intensidade luminosa	Candela	cd
Corrente elétrica	Ampère	A

Fonte: elaborada pela autora.



Refleta

Será que todas as unidades e os símbolos apresentados na tabela dada estão escritos de forma correta? É muito importante que você saiba escrever e simbolizar corretamente as unidades. O **nome das unidades**, quando escritos por extenso, são sempre registrados em **letras minúsculas** (exceto as unidades de temperatura grau Celsius). Os **símbolos das unidades** são entes matemáticos e não abreviaturas. Por isso, não possuem pontos nem vão para o plural. Existem símbolos com letras maiúsculas e minúsculas.

Muitas unidades derivadas do SI são definidas em termos das unidades fundamentais apresentadas na tabela anterior. Por exemplo, a unidade de força, newton (N), é uma unidade derivada:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Muitas vezes, para expressar grandezas muito grandes ou muito pequenas, usamos a **notação científica** e os **prefixos**, que empregam potências de base 10:

$$3456000000000\text{ m} = 3,456 \cdot 10^{12}\text{ m} \quad 0,000000123\text{ s} = 1,23 \cdot 10^{-7}\text{ s}$$

Para representar as potências mais utilizadas, foram desenvolvidos prefixos e símbolos. Veja a Tabela 1.2 (os prefixos em negrito são os mais utilizados):

Tabela 1.2 | Prefixos do SI

Potência	Prefixo	Símbolo	Potência	Prefixo	Símbolo
10^{24}	iota	I	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zeta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	quilo	k	10^{-18}	ato	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deca	da	10^{-24}	iocto	i

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Sistema Internacional de Unidades: SI. 1. ed. bras. da 8. ed. do BIPM. Duque de Caxias: Inmetro/CICMA/Sepin, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/si_versao_final.pdf>. Acesso em: 14 out. 2017.



Assimile

Perceba que os prefixos das unidades têm efeito de multiplicar a unidade pelo fator correspondente: 1 kg = 1 quilograma. Note que prefixo **quilo (k)** corresponde à potência 10^3 . Portanto:

$$1\text{ kg} = 1 \cdot 10^3\text{ g} = 1 \cdot 1000\text{ g} = 1000\text{ g}$$



Para que você tenha mais conhecimento sobre o Sistema Internacional de Unidades e as grandezas fundamentais, acesse:

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA.
Sistema Internacional de Unidades: SI. 1. ed. bras. da 8. ed. do BIPM. Duque de Caxias: Inmetro/CICMA/SePin, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/si_versao_final.pdf>. Acesso em: 14 out. 2017.

É possível medir as grandezas físicas nas unidades fundamentais do SI e também em diversas outras unidades derivadas. Assim, é importante conhecermos como converter uma unidade em outra. A maioria das conversões de unidades (mudanças de unidades) pode ser realizada por meio da **regra de três simples** ou **fórmula de conversão**. Para isso, é necessário sabermos algumas correspondências entre as unidades. Seria impossível sabermos e guardarmos todos os fatores de conversão. Por isso, vamos sugerir que você guarde alguns fatores de conversão amplamente utilizados (Quadro 1.1). Os demais fatores não citados aqui podem ser encontrados na internet ou nos aplicativos de conversão de medidas.

Quadro 1.1 | Principais correspondências entre as unidades utilizadas

Conversões de temperatura
Relação entre kelvin e grau Celsius: $K = C + 273$;
Relação entre grau Celsius e grau Fahrenheit: $C = \frac{F - 32}{1,8}$;
Relação entre kelvin e grau Fahrenheit: $\frac{K - 273}{5} = \frac{F - 32}{9}$;
Conversões de comprimento
1 km (um quilômetro) = 1000 m (mil metros)
1 m (um metro) = 100 cm (cem centímetros)
1 m (um metro) = 1000 mm (mil milímetros)

Conversões de massa

1 kg (um quilograma) = 1000 g (mil gramas)

1 g (um grama) = 1000 mg (mil miligramas)

*Lembre-se dos significados dos prefixos quilo (k) =

= 10^3 , centi (c) = 10^{-2} e mili (m) = 10^{-3} .

Conversões de tempo

1 h (uma hora) = 60 min (sessenta minutos)

1 min (um minuto) = 60 s (sessenta segundos)

1 h (uma hora) = 3600 s (três mil e seiscentos segundos)

1 dia = 24 h (vinte e quatro horas)

Fonte: elaborado pela autora.



Exemplificando

Sabendo que em 1 ano temos 365 dias, quantas horas tem 1 ano?

Usando a regra de três simples, temos:

$$1 \text{ dia} \rightarrow 24 \text{ h}$$

$$365 \text{ dias} \rightarrow X$$

Ao multiplicar em cruz, temos:

$$1 \text{ dia} \cdot X = 365 \text{ dias} \cdot 24 \text{ h}$$

$$X = \frac{365 \text{ dias} \cdot 24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \therefore X = 8760 \text{ h}$$

Observe que cancelamos a unidade "dia", restando apenas a unidade hora (h). Calculamos que em 365 dias temos 8760 horas. Se 1 ano tem exatamente 365 dias, portanto, em 1 ano, temos 8760 horas.



Em termos laboratoriais, a temperatura ambiente é a situada em **20 °C**. Essa temperatura na escala kelvin (SI) e em graus Fahrenheit é, respectivamente, igual a quê?

Para converter a temperatura de graus Celsius para kelvin, temos a seguinte fórmula de conversão:

$$K = C + 273;$$

Logo, temos: $K = 20 + 273 = 293 K$, ou seja, **20 °C** são equivalentes a 293 K (kelvins).

Para converter a temperatura de graus Celsius em graus Fahrenheit, temos a seguinte fórmula de conversão:

$$C = \frac{F - 32}{1,8};$$

Assim: $20 = \frac{F - 32}{1,8} \rightarrow F = (20 \cdot 1,8) + 32 = 68 \text{ } ^\circ F$, ou seja, **20 °C** são equivalentes a **68 °F** (graus Fahrenheit).



Aplicando a regra de três simples, podemos fazer conversões de muitas unidades para medir grandezas físicas. Para a conversão de temperaturas, usamos as fórmulas de conversão.

Em todo processo de medição, existem erros (incertezas) envolvidos. Portanto, para representar corretamente os resultados das medições, precisamos utilizar as regras de arredondamento e determinar os algarismos significativos. Por exemplo, ao medirmos a espessura de um livro com uma régua, cuja menor medida é de um milímetro (1 mm), se obtivermos o resultado de cinco milímetros, a forma correta de representar o resultado será 5 mm, ou seja, com apenas um algarismo significativo, de acordo com a menor medida (resolução) da régua utilizada.

A resolução do instrumento representa o erro máximo da medição. Portanto, podemos dizer que a espessura do livro é de **$(5 \pm 1) \text{ mm}$** . Nessa situação, seria errado representar o resultado como 5,0 mm (2 algarismos significativos) ou 5,00 mm (3 algarismos significativos). Porém, se fizermos a mesma medida com um paquímetro, cuja menor medida é de 0,05 mm, o correto será representar o resultado da medida como **$(5,00 \pm 0,05) \text{ mm}$** .

Caso seja necessário realizar arredondamentos, é importante seguirmos as orientações da norma ABNT NBR 5891:2014, que define:

- Quando o algarismo a ser conservado for seguido de algarismo **inferior a 5, permanece o algarismo a ser conservado e retiram-se os posteriores**. Exemplo: 2,3333 arredondado para uma casa decimal torna-se 2,3.

- Quando o algarismo a ser conservado for seguido de algarismo **superior a 5, ou igual a 5 seguido de, no mínimo, um algarismo diferente de zero, soma-se uma unidade ao algarismo a ser conservado e retiram-se os posteriores**. Exemplos: 5,6666 arredondado para uma casa decimal torna-se 5,7; 9,8505 arredondado para uma casa decimal torna-se 9,9.

- Quando o algarismo a ser conservado **for ímpar, seguido de 5 e, posteriormente, de zeros, soma-se uma unidade ao algarismo a ser conservado e retiram-se os posteriores**. Exemplo: 6,5500 arredondado à primeira decimal torna-se 6,6. Quando o algarismo a ser conservado **for par, seguido de 5 e, posteriormente, de zeros, permanece o algarismo a ser conservado e retiram-se os posteriores**. Exemplo: 7,8500 arredondado à primeira decimal torna-se 7,8.

Sem medo de errar

Retomaremos a situação do maratonista que solicitou sua ajuda para avaliar o desempenho dele na competição. Na primeira etapa do plano de trabalho, para poder iniciar as análises, você precisa coletar informações sobre a distância percorrida pelo atleta na maratona e o tempo gasto no percurso. Para que essas informações sejam precisas, você solicita ao atleta que lhe entregue o *chip* utilizado por ele durante a prova.

Ao fazer a leitura dos dados disponíveis no *chip*, você percebe que as informações estão no sistema britânico e não no Sistema Internacional de Unidades (SI). Logo, na primeira etapa do seu trabalho, você precisará converter as grandezas deslocamento e tempo para o SI.

As informações do *chip* estão apresentadas na Tabela 1.3:

Tabela 1.3 | Informações do *chip* do atleta

Horário da largada	08:03:01 (h:min:s)
Horário da chegada	10:13:55 (h:min:s)
Distância percorrida	26,0976 milhas (mi)

Fonte: elaborada pela autora.

O primeiro passo é sabermos o tempo total de prova e, então, convertê-lo para o SI. Lembre-se de que a grandeza tempo, no SI, é medida em segundos (s).

Pela Tabela 1.3, podemos perceber que o atleta correu a maratona no tempo total de 2 horas, 10 minutos e 54 segundos. Inicialmente, converteremos as horas em segundos, usando a regra de três simples:

$$1 \text{ h} \rightarrow 3600 \text{ s}$$

$$2 \text{ h} \rightarrow X$$

Ao multiplicar em cruz, temos: $1 \text{ h} \cdot X = 2 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s}$. Logo, temos que: $X = 7200 \text{ s}$.

Agora, converteremos os minutos em segundos, novamente usando a regra de três simples:

$$1 \text{ min} \rightarrow 60 \text{ s}$$

$$10 \text{ min} \rightarrow X$$

Ao multiplicar em cruz, temos: $1 \text{ min} \cdot X = 10 \text{ min} \cdot 60 \text{ s}$. Assim, temos que: $X = 600 \text{ s}$.

Portanto, o tempo total de prova do atleta, no SI, é de: $7200 \text{ s} + 600 \text{ s} + 54 \text{ s} = 7854 \text{ s}$.

O segundo passo é convertermos a grandeza distância, que está em milhas (mi), para o SI, ou seja, para metros.

Fazendo uma breve pesquisa, conseguimos saber que 1 milha equivale a 1.609,34 metros.

Com essa informação e, mais uma vez, usando a regra de três simples, somos capazes de fazer a conversão desejada. Então, a distância percorrida pelo atleta, no SI, é:

$$1 \text{ mi} \rightarrow 1609,34 \text{ m}$$

$$26,0976 \text{ mi} \rightarrow X$$

Ao multiplicar em cruz, temos: $1 \text{ mi} \cdot X = 1609,34 \text{ m} \cdot 26,0976 \text{ mi}$.

Logo, temos que: $X \approx 42000 \text{ m}$.

Resumindo os dados obtidos nesta primeira etapa na Tabela 1.4, temos:

Tabela 1.4 | Informações do *chip* no SI

Grandezas	Valores (no SI)
Tempo (total de prova):	7.854 s
Distância (total percorrida):	42.000 m

Fonte: elaborada pela autora.

Excelente trabalho! Saber fazer conversão de unidades e representar corretamente as grandezas no Sistema Internacional de Unidades é muito importante para sua carreira. Fique sempre atento ao uso correto das unidades quanto à simbologia e à grafia. Aproveite as situações do seu dia a dia e coloque em prática o que aprendeu até aqui.

Avançando na prática

O resgate

Descrição da situação-problema

Você recebeu ordens para navegar em um bote salva-vidas a uma distância de 24,5 milhas na direção leste, com o objetivo de resgatar sobreviventes de um naufrágio. Ao chegar ao local, percebe que não há nada. Em contato novamente com a base, você descobre que deveria navegar 24,5 **milhas náuticas** e não 24,5 milhas comuns (milhas terrestres). Calcule a distância entre a sua posição atual e a

posição do naufrágio no SI. Utilize a internet ou os aplicativos para descobrir o fator de conversão de milhas terrestres e de milhas náuticas para o SI.

Resolução da situação-problema

A distância correta a ser percorrida seria 24,5 milhas náuticas. Sabemos que 1 milha náutica = 1.852 metros. Portanto, usando a regra de três, temos que:

$$1 \text{ milha náutica} \rightarrow 1852 \text{ metros}$$

$$24,5 \text{ milhas náuticas} \rightarrow X$$

Ao multiplicar em cruz, temos:

$$1 \cdot X = 1852 \cdot 24,5$$

$$X = \frac{1852 \cdot 24,5}{1} = 45\,374 \text{ m}$$

Portanto, a distância no SI correta a ser percorrida seria de 45374 metros para chegar ao local do naufrágio. Mas, em razão do erro, foram percorridas 24,5 milhas comuns (milhas terrestres).

1 milha terrestre = 1.609 metros. Usando a regra de três, temos que:

$$1 \text{ milha terrestre} \rightarrow 1\,609 \text{ metros}$$

$$24,5 \text{ milhas terrestres} \rightarrow X$$

Ao multiplicar em cruz, temos:

$$1 \cdot X = 1609 \cdot 24,5$$

$$X = \frac{1609 \cdot 24,5}{1} = 39\,420,5 \text{ m}$$

Portanto, a distância no SI realmente percorrida foi de 39420,5 m. Assim sendo, a distância entre o local atual do bote e o local do naufrágio, no SI, é:

$$45374 \text{ m} - 39420,5 \text{ m} = 5953,5 \text{ m} \approx 5,9 \cdot 10^3 \text{ m}$$

Você ainda deve navegar mais aproximadamente $5,9 \cdot 10^3 \text{ m}$ (ou 5,9 km) para chegar ao local do naufrágio.

Faça valer a pena

1. Existem inúmeras grandezas físicas e cada uma delas pode ser descrita em termos de diferentes unidades, de maneira que foi necessário instituir um Sistema Internacional de Unidades (SI) para facilitar a comunicação entre as diversas regiões do mundo. O SI permite obter medidas confiáveis, precisas e que possam ser repetidas quantas vezes for necessário por diferentes pessoas, sem produzir variações significativas. Por isso, é utilizado mundialmente por cientistas e profissionais de diversas áreas.

Escolha a alternativa que contenha apenas as grandezas fundamentais do SI:

- a) Tempo, comprimento, massa, temperatura.
- b) Massa, tempo, velocidade, força.
- c) Comprimento, força, massa, temperatura.
- d) Tempo, intensidade luminosa, potência, massa.
- e) Quantidade de matéria, intensidade luminosa, força, comprimento.

2. Sobre o Sistema Internacional de Unidades, analise as afirmações a seguir:

- I. É simbolizado pela sigla SI.
- II. É o sistema de unidades mais utilizado no mundo por cientistas e profissionais de diversas áreas.
- III. Possui sete grandezas fundamentais.
- IV. Estabelece que a unidade de medida da grandeza massa seja o quilograma.
- V. Estabelece que a unidade de medida da grandeza temperatura seja o grau Celsius.

São verdadeiras as afirmações:

- a) I, II e III.
- b) I, II, III e IV.
- c) II, III, IV e V.
- d) I, II, III e V.
- e) I, II, III, IV e V.

3. A luz é um tipo de onda eletromagnética visível e pode propagar-se através de diversos meios e sofrer alterações de velocidade ao passar de um meio de propagação para outro. No vácuo, a luz possui a velocidade máxima de propagação.

Sabendo que a velocidade de propagação da luz no vácuo é de $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, calcule o tempo, em milissegundos, que a luz leva para percorrer a distância de 1 km:

- a) $3,33 \cdot 10^{-5}$.
- b) $3,33 \cdot 10^{-4}$.
- c) $3,33 \cdot 10^{-3}$.
- d) $3,33 \cdot 10^{-2}$.
- e) 3,33.

Seção 1.2

Cinemática

Diálogo aberto

Um dos objetivos da Física é estudar o movimento dos corpos: a rapidez com que se movem e a distância que percorrem no espaço em um determinado tempo. Nesta seção – cinemática –, oferecemos os conhecimentos de métodos gerais para descrever os movimentos dos corpos, sem nos preocupar com suas causas.

Estudaremos as grandezas deslocamento, velocidade e aceleração, conceitos amplamente utilizados na biomecânica. Tais grandezas muito contribuíram com os esportes, por exemplo, na análise e na melhoria da técnica desportiva, na prevenção de lesões, na reabilitação, no desenvolvimento de equipamentos esportivos etc.

Retomaremos a situação do atleta que, após correr em uma maratona, procurou você, profissional atuante na área de Biofísica, para avaliar os parâmetros relativos ao desempenho dele na prova. Na seção anterior, foram obtidas as grandezas deslocamento e tempo no Sistema Internacional de Unidades (SI). Agora, a segunda etapa do seu trabalho será obter os parâmetros de desempenho do atleta na maratona. Diante desse novo desafio, faça o seguinte questionamento: quais grandezas podem ser calculadas? Após uma profunda reflexão, você descobre que será fundamental, nessa etapa do trabalho, calcular a velocidade e a aceleração médias do atleta durante a maratona. Como fazer esses cálculos? Quais informações são necessárias? Qual é a importância de cada uma dessas grandezas e o que significam? Será uma ótima oportunidade para demonstrar seus conhecimentos e suas habilidades em Física e Biofísica!

Ao final desta seção, esperamos que você aprenda a interpretar as principais grandezas da cinemática. Para isso, é preciso conhecer, saber calcular e trabalhar com três grandezas essenciais na Física: deslocamento, velocidade e aceleração. Vamos começar?

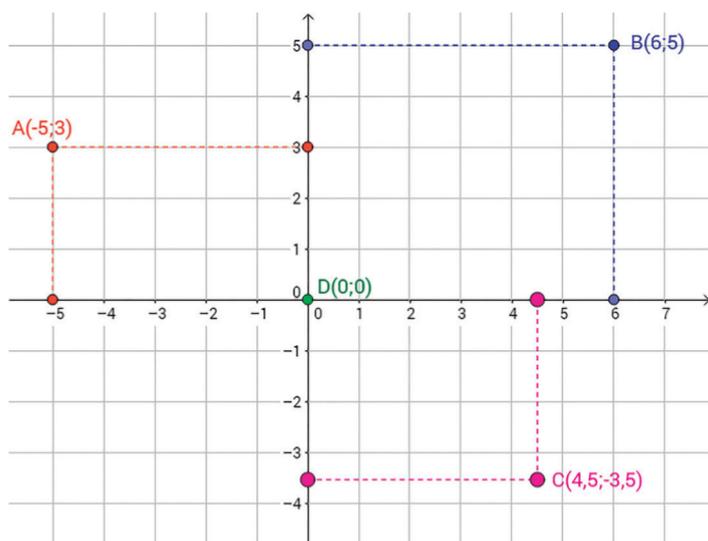
Não pode faltar

A cinemática é o ramo da Física que estuda o movimento de um corpo, sem se preocupar com a sua causa. Essa ciência nos permite descrever matematicamente os movimentos dos corpos, utilizando conceitos de geometria associados às ideias de tempo e espaço.

Durante o estudo do movimento, as dimensões do objeto podem ser importantes ou não. Se as dimensões são desprezíveis, em comparação com as distâncias envolvidas no movimento estudado, o objeto é um ponto material (ou partícula). Ao contrário, se as dimensões do objeto são importantes, afirmamos que o objeto é um corpo extenso (ou corpo rígido). Por exemplo: um carro pode ser visto como um ponto material em uma viagem de São Paulo à Bahia. Contudo, o mesmo carro deve ser tratado como um corpo rígido, se estivermos calculando o tempo que leva para ultrapassar um caminhão. No nosso estudo do movimento, consideraremos os objetos como pontos materiais.

A posição de um ponto material (em um plano) é definida pelo par de coordenadas cartesianas (x ; y). Na Figura 1.1, veja as posições das partículas A , B , C e D :

Figura 1.1 | Coordenadas cartesianas no plano



Fonte: elaborada pela autora.

Trajetória de um ponto material é a união de todas as posições por onde o ponto material passou em um determinado tempo. Imagine um avião deixando um rastro de fumaça em um *show* aéreo. Sua trajetória fica marcada por ele. Quando a trajetória do objeto é uma reta, chamamos o movimento de **retilíneo**. Toda trajetória deve ter um sentido de orientação.

Uma constatação importante é que **a trajetória depende do referencial adotado**. Referencial pode ser entendido como o observador em relação ao qual pretendemos estudar um movimento qualquer.

Por exemplo, imagine que você está dentro de um carro em movimento e lança uma bola para cima. Para você, a bola apenas faz uma trajetória em linha reta de subida e descida. Agora, imagine a mesma situação, porém observada por uma pessoa parada na calçada. Para ela, a bola faz uma trajetória curvilínea (como uma parábola), pois, além de a bola subir e descer, há o movimento do carro na horizontal. Assim, a trajetória da bola é diferente em cada caso, porque depende do referencial adotado.



Refleta

Considere um metrô com velocidade constante em um trilho reto e horizontal. Um passageiro que está dentro de um vagão do metrô deixa cair o celular no chão. A trajetória percorrida pelo celular será a mesma se você observar o fato dentro do vagão e fora dele (na plataforma)?

Perceba que repouso e movimento são conceitos relativos, uma vez que dependem do referencial adotado.



Assimile

Uma partícula está em repouso, para um dado referencial, quando suas coordenadas não mudam e, portanto, sua posição permanece invariável no decorrer do tempo. Assim, a trajetória é um ponto.

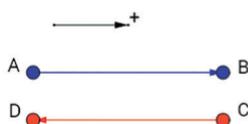
Uma partícula está em movimento, para um dado referencial, quando, no decorrer do tempo, há variação de posição (variação de pelo menos uma coordenada). Então, nesse caso, a trajetória não é um ponto.

Denominamos espaço (representado pela letra **S** a localização do objeto na sua trajetória partindo de um ponto denominado de origem dos espaços (S_0). Assim, o espaço (**S**) é um indicador de local (posição), isto é, responde à pergunta: "onde está o objeto?". O espaço (**S**) **não** indica a distância percorrida e pode ser um valor positivo, negativo ou nulo. Utilizaremos sempre uma unidade de comprimento como referência, em geral, o metro.

Podemos avaliar a variação de posição de um objeto por meio do seu **deslocamento** ΔS . Vale ressaltar que o deslocamento é uma grandeza vetorial, ou seja, para ser medido e descrito corretamente, de forma que todos entendam, sem gerar dúvidas, deve ser expresso com um valor numérico (módulo) e, também, com dados sobre a orientação, como direção e sentido.

Dessa maneira, é necessário adotar sentido positivo para o deslocamento, contudo, quando o móvel se deslocar no sentido oposto, seu deslocamento será negativo. Veja a Figura 1.2.

Figura 1.2 | Deslocamento: grandeza vetorial



Fonte: elaborada pela autora (2017).

Nessa figura, observamos que se adotarmos o sentido positivo para a direita, o deslocamento de *A* para *B* será positivo, enquanto o deslocamento de *C* para *D*, negativo.

O deslocamento é dado por:

$$\Delta S = S_{final} - S_{inicial}$$

(A letra grega maiúscula Δ (delta) é usada para representar a variação de uma grandeza e corresponde à diferença entre o valor final e o valor inicial).

Quando um ponto material está em movimento, sua posição (**S**) varia no decorrer do tempo (**t**). Assim, podemos afirmar que $S = f(t)$, sendo essa a função horária do movimento. É importante indicar as unidades das variáveis **S** e **t** na equação, isto é, metros e segundos, respectivamente, no SI (Sistema Internacional de Unidades).



A seguir, temos duas equações do movimento de objetos que podem ser aproximados por pontos materiais. Encontre a posição das partículas nos instantes 0 s, 1,0 s e 5,0 s.

a) $S = 8,0 + 3,0 \cdot t$ (SI).

Solução:

Utilizando $t = 0\text{ s}$, notamos que $S = 8,0\text{ m}$. Chamamos de espaço inicial (S_0) a posição quando $t = 0$. Assim, $S_0 = 8,0\text{ m}$. Para $t = 1,0\text{ s}$, temos que $S = 8 + 3 \cdot 1 = 11,0\text{ m}$. Para $t = 5,0\text{ s}$, obtemos $S = 23,0\text{ m}$. Em outras palavras, após 5,0 s do início do movimento, o objeto encontra-se na posição 23 m

b) $S = 3,0 \cdot t^2$ (SI).

Solução:

Determinamos a posição inicial S_0 do objeto na origem dos tempos, ou seja, quando $t = 0$. Assim: $S_0 = 3,0 \cdot (0)^2 \therefore S_0 = 0$. Para $t = 1,0\text{ s}$, temos $S = 3\text{ m}$, e para $t = 5,0\text{ s}$, $S = 3,0 \cdot (5,0)^2 \therefore S = 75\text{ m}$.

Ao longo da trajetória, vimos que a posição do objeto é definida pela grandeza física espaço (S). Se quisermos medir a taxa de variação da posição com o tempo, temos o conceito de velocidade. Quanto mais rápida a mudança de posição no tempo, maior a velocidade do objeto.

A velocidade também é uma grandeza vetorial. Quando queremos saber apenas o módulo (o valor) da velocidade de um objeto, estudamos a **velocidade escalar** desse objeto. Quando a velocidade é positiva, significa que o objeto se move no sentido positivo da trajetória (movimento progressivo). Quando a velocidade é negativa, significa que o objeto se move no sentido negativo da trajetória (movimento retrógrado). **Se a posição de um objeto não varia no tempo, dizemos que está em repouso (sua velocidade é nula).**

Imagine um carro viajando de São Paulo para o Rio de Janeiro. A medida que descreve a rapidez com que a posição do carro varia no tempo é a velocidade.

Considere o mesmo exemplo do carro viajando de São Paulo para o Rio de Janeiro (400 km). Durante a viagem, o painel do carro mostra velocidades diferentes. Às vezes, o carro está mais rápido (velocidade maior); outras vezes, mais devagar (velocidade menor). Podemos calcular uma média da velocidade do carro durante o trajeto percorrido. Chamaremos essa grandeza de velocidade média. Se o carro percorreu os 400 km em 5,0 h, em média, completou 80 km a cada hora. Assim, definimos que a velocidade média (v_m) é dada por:

$$v_m = \frac{S_f - S_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta S}{\Delta t},$$

na qual:

S_f = espaço (posição) final no tempo final considerado (t_f);

S_i = espaço (posição) inicial no tempo inicial considerado (t_i);

ΔS (delta S) = variação dos espaços (deslocamento);

Δt (delta t) = variação do tempo.

No SI, a velocidade média v_m é medida em metros por segundo (m/s). Em outras palavras, quantos metros são percorridos em cada segundo de movimento?



Pesquise mais

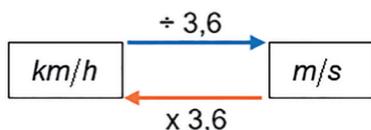
Usain Bolt, o velocista mais rápido do mundo, consegue alcançar marcas impressionantes em apenas 100 m. Mas, você sabe quão veloz ele é? O vídeo indicado a seguir apresenta o cálculo da velocidade média de Usain Bolt em seu recorde como homem mais rápido do mundo:

KHAN ACADEMY EM PORTUGUÊS. Média de velocidade de Usain Bolt. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=rJlkR1dEcR8>>. Acesso em: 17 out. 2017. (Vídeo do YouTube)

É bastante comum encontrarmos velocidades expressas na unidade quilômetros por hora (km/h). Lembre-se de que na seção anterior você aprendeu a fazer conversão de unidades. Uma forma

rápida para converter km/h em m/s , ou vice-versa, está representada na Figura 1.3:

Figura 1.3 | Deslocamento: grandeza vetorial



Fonte: elaborada pela autora (2017).



Assimile

Velocidade é uma grandeza vetorial que indica a taxa de variação da posição com o tempo. A velocidade média (v_m) é uma medida fictícia que representa a velocidade constante que o objeto deveria ter para percorrer a trajetória no tempo considerado.



Exemplificando

Uma partícula parte do repouso e começa a se movimentar. A posição da partícula é dada pela equação $S = 12 \cdot t^2 - 2 \cdot t^3$ (SI). Determine:

- a posição inicial S_0 da partícula (quando $t = 0$);
- a posição da partícula quando $t = 4,0s$;
- a velocidade média da partícula entre $t = 0$ e $t = 4,0s$.

Solução:

a) Substituindo $t = 0$ na equação, temos que $S_0 = 0$, ou seja, a partícula sai da origem do sistema de coordenadas.

b) Substituindo $t = 4$ na equação, obtemos:

$$S = 12 \cdot (4^2) - 2 \cdot (4^3) = 12 \cdot 16 - 2 \cdot 64 = 64 \text{ m.}$$

c) A velocidade média é:

$$v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_f - S_i}{t_f - t_i} = \frac{64 - 0}{4 - 0} = \frac{64}{4} = 16 \text{ m/s.}$$

Logo, em média, a partícula percorreu 16 metros a cada segundo.

Quando a velocidade de um objeto em movimento varia com o tempo, dizemos que o objeto possui aceleração, que é uma grandeza vetorial que descreve a taxa de variação da velocidade com o tempo. A aceleração, também, pode ser positiva ou negativa. Quando o produto (multiplicação) entre a velocidade e a aceleração for positivo, significará que a aceleração está a favor do movimento, sendo este acelerado. Quando o produto entre a velocidade e a aceleração for negativo, significará que a aceleração é contrária ao movimento, sendo este retardado.

Se um objeto possui aceleração nula, significa que a velocidade dele não varia no tempo, ou seja, é constante.

A aceleração média a_m é dada por:

$$a_m = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

em que:

v_f = velocidade final no tempo final considerado (t_f);

v_i = velocidade inicial no tempo inicial considerado (t_i);

Δv (delta v) = variação da velocidade;

Δt (delta t) = variação do tempo.

No SI, a aceleração média a_m é medida em metros por segundo ao quadrado (m/s^2). Em outras palavras, em quantos metros por segundo aumentou a velocidade a cada segundo de movimento?

Veja agora a Tabela 1.5.

Tabela 1.5 | Classificação do movimento em relação à velocidade e à aceleração

Sinal da velocidade (v)	Sinal da aceleração (a)	Sinal do produto $v \times a$	Módulo da velocidade	Classificação
+	+	+	Aumenta	Progressivo e acelerado
+	-	-	Diminui	Progressivo e retardado
-	+	-	Diminui	Retrógrado e retardado
-	-	+	Aumenta	Retrógrado e acelerado

Fonte: elaborada pela autora.



Por meio de explicação bastante didática, veja este vídeo que mostra a diferença entre a velocidade e a aceleração em situações muito presentes no nosso dia a dia:

GURU DA CIÊNCIA. Qual é a diferença entre velocidade e aceleração? Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=XuU8A8PDwps>>. Acesso em: 18 out. 2017. (Vídeo do YouTube)

Sem medo de errar

Retomaremos a situação do atleta que, após correr em uma maratona, procurou você, profissional atuante na área de Biofísica, para avaliar os parâmetros relativos ao desempenho dele na prova. Na seção anterior, foram obtidas as grandezas deslocamento e tempo no Sistema Internacional de Unidades (SI). Agora, a segunda etapa do seu trabalho será obter os parâmetros de desempenho do atleta na maratona. Diante desse novo desafio, faça o seguinte questionamento: quais grandezas podem ser calculadas? Após uma profunda reflexão, você descobrirá que é importante, nessa etapa do trabalho, calcular a velocidade e a aceleração médias do atleta durante a maratona.

Na seção anterior, lembre-se de que obtivemos as seguintes informações, conforme a Tabela 1.6:

Tabela 1.6 | Informações do *chip* no SI

Grandezas	Valores (no SI)
Tempo (total de prova)	7854 s
Distância (total percorrida)	42000 m

Fonte: elaborada pela autora (2017).

Perceba que a distância total percorrida é justamente o deslocamento: $\Delta S = 42000 \text{ m}$.

De posse das informações de deslocamento e tempo, podemos calcular a velocidade do esportista.

Assim, a velocidade média v_m do atleta durante a maratona é:

$$v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{42000 \text{ m}}{7854 \text{ s}} \approx 5,35 \text{ m/s}$$

Tal resultado significa que, em média, o atleta percorreu, aproximadamente, 5,35 metros a cada segundo.

É importante lembrar que essa é uma medida fictícia. A cada instante, a velocidade do atleta pode alterar, estando ora mais rápido, ora mais devagar do que a velocidade média calculada.

Agora, sabendo que o atleta partiu do repouso e atingiu a velocidade média calculada, podemos estimar a sua aceleração média durante o tempo da prova.

A aceleração média a_m é dada por:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5,35 \text{ m/s}}{7854 \text{ s}} \approx 6,81 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2.$$

Assim, podemos concluir que, em média, a cada segundo, a velocidade do atleta aumentou, aproximadamente, **0,000681 m/s**. Logo, a aceleração média nos informa o quanto variou a velocidade a cada instante de tempo.

Ao representarmos na Tabela 1.7 os dados do desempenho do atleta na maratona, temos:

Tabela 1.7 | Informações de desempenho

Grandezas	Valores (no SI)
Velocidade média	$v_m \approx 5,35 \text{ m/s}$
Aceleração média	$a_m \approx 6,81 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$

Fonte: elaborada pela autora.

Ótimo trabalho! Você obteve os principais parâmetros de desempenho do atleta na maratona e, com essas informações, certamente ele poderá trabalhar para melhorar sua técnica desportiva. As grandezas deslocamento, velocidade e aceleração são muito úteis para análises de diversas situações de movimento e estão presentes, a todo momento, no nosso dia a dia. Não deixe de aplicar os conhecimentos adquiridos!

Situação de emergência

Descrição da situação-problema

Você trabalha em uma operadora de monitoramento e rastreamento de trens e percebe a seguinte situação de perigo: um trem vermelho a **72 km/h** e um trem azul a **144 km/h** estão na mesma linha, retilínea e plana, movendo-se em direções opostas (um em direção ao outro). Quando a distância entre os trens é de **950 m**, você percebe a gravidade da situação e avisa os dois maquinistas para acionarem imediatamente os freios, fazendo os dois trens sofrerem uma desaceleração de **1,0 m/s²**. Com essas informações, você precisa saber se os trens conseguirão frear a tempo de evitar uma colisão, para avisar seus superiores sobre uma possível situação de emergência.

Resolução da situação-problema

Vamos analisar qual é o espaço que cada um dos trens precisa percorrer para parar completamente:

Para o trem vermelho: $v = 72 \text{ km/h} \rightarrow v = 20 \text{ m/s}$ e $a = -1,0 \text{ m/s}^2$.

Para conseguir parar, a velocidade do trem deve zerar, assim: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} \rightarrow -1 = \frac{0 - 20}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{-20}{-1} = 20 \text{ s}$. O trem vermelho levará 20 segundos para frear completamente. Nesse processo de frenagem, o módulo da velocidade média é: $v = \frac{v_i - v_f}{2} = \frac{20 - 0}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ m/s}$. A distância percorrida durante a frenagem é: $v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow \Delta S = v \cdot \Delta t = 10 \cdot 20 = 200 \text{ m}$. Portanto, o trem vermelho precisa percorrer 200 m até parar completamente.

Para o trem azul: $v = 144 \text{ km/h} \rightarrow v = 40 \text{ m/s}$ e $a = -1,0 \text{ m/s}^2$.

Para conseguir parar, a velocidade do trem deve zerar, assim: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} \rightarrow -1 = \frac{0 - 40}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{-40}{-1} = 40 \text{ s}$. O trem azul levará 40 segundos para frear completamente. Nesse processo de

frenagem, o módulo da velocidade média é:

$$v = \frac{v_i - v_f}{2} = \frac{40 - 0}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ m/s.}$$

Assim, a distância percorrida durante a frenagem é: $v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow \Delta S = v \cdot \Delta t = 20 \cdot 40 = 800 \text{ m.}$

Portanto, o trem azul precisa percorrer 800 m até parar completamente.

A distância total percorrida pelos dois trens até poderem parar completamente é de $\Delta S_{total} = 200 + 800 = 1000 \text{ m.}$

Como a distância entre eles é de 950 m, haverá colisão e será necessário avisar os supervisores sobre a situação de emergência.

Faça valer a pena

1. Uma pessoa caminha dando 1,5 passo por segundo, medindo 70 cm cada um. Ela deseja atravessar uma avenida com 21 m de largura.

O tempo mínimo que o sinal de pedestres deve ficar aberto para que essa pessoa atravesse a avenida com segurança é:

- a) 10 s.
- b) 14 s.
- c) 20 s.
- d) 32 s.
- e) 45 s.

2. Um objeto movimentou-se com uma aceleração média constante de $2,0 \text{ m/s}^2$.

Isso significa que:

- a) a cada segundo, sua velocidade varia a uma taxa constante de $2,0 \text{ m/s}$.
- b) sua velocidade é constante e vale $2,0 \text{ m/s}$.
- c) a cada segundo, sua velocidade dobra.
- d) a cada $2,0 \text{ m}$ percorridos, sua velocidade varia a uma taxa constante de $2,0 \text{ m/s}$.
- e) a cada $2,0 \text{ m}$ percorridos, sua velocidade dobra.

3. Um atleta corre em uma competição, sendo sua velocidade, no início da prova, descrita pela equação $v = 1,5 \cdot t$ (no SI).

Entre os instantes $t = 1,0 \text{ s}$ e $t = 2,0 \text{ s}$, a aceleração média do atleta é:

- a) $a = 4,5 \text{ m/s}^2$.
- b) $a = 3,0 \text{ m/s}^2$.
- c) $a = 2,5 \text{ m/s}^2$.
- d) $a = 1,0 \text{ m/s}^2$.
- e) $a = 1,5 \text{ m/s}^2$.

Seção 1.3

Leis de Newton

Diálogo aberto

Caro aluno,

Já conhecemos a linguagem para descrever os movimentos (a cinemática). Agora, estamos aptos a entender o que leva os objetos a se moverem da maneira como o fazem.

Para isso, nesta seção, iniciaremos os estudos dos princípios da dinâmica, conhecidos como as três leis de Newton do movimento.

A dinâmica pesquisa e estuda as causas que produzem e modificam os movimentos. Procura relacionar as características dos movimentos com os fatores que determinam e causam alterações neles. Para estudar a dinâmica, usaremos as grandezas que já conhecemos, deslocamento, velocidade e aceleração, com dois conceitos novos: força e massa. Dessa forma, entenderemos o que faz os corpos se moverem.

Você aprenderá que as leis de Newton podem ser enunciadas de modo muito simples, porém entendê-las e utilizá-las talvez seja desafiador. Isso porque, antes de estudar Física, durante anos, você caminhou, jogou bola, empurrou caixas, isto é, fez milhares de atividades que envolvem movimentos. Nesse período, você desenvolveu um “senso comum” sobre os movimentos e suas causas, que, embora possa funcionar em nossa vida diária, não se encaixa em uma análise lógica nem experimental. Assim, começaremos, nesta seção, nossa tarefa de substituir o “senso comum” por análises baseadas em conceitos físicos. Será empolgante!

A primeira lei de Newton estuda e explica situações em que a força resultante que atua sobre um corpo é nula (igual a zero). A segunda lei trata das situações em que a força resultante que atua sobre um corpo não é igual a zero. A terceira lei de Newton mostra-nos que, para toda força de ação, existe uma força de reação correspondente.

Para contextualizar a importância desta seção, finalizaremos o trabalho com o maratonista. Ao repassar para o atleta as informações obtidas até aqui, ele lhe faz o seguinte questionamento: “Acredito

que preciso melhorar meu desempenho e fico muito cansado nos trechos íngremes. Por que é preciso tanto esforço nas subidas?”.

Na última etapa do seu trabalho, você deve ajudar o atleta a compreender o motivo pelo qual ele precisa fazer mais força nas subidas, para manter a mesma aceleração de quando está no plano horizontal. Como a Física pode ajudar a explicar essa situação? Como seria um esboço demonstrativo do que acontece com o atleta na subida? As leis de Newton podem ajudá-lo nessa questão, não é mesmo? Então, mãos à obra para encerrar seu trabalho com sucesso!

Não pode faltar

No decorrer desta seção, dedicaremos-nos a entender e a descobrir as causas dos movimentos. Nossos estudos serão fundamentados na mecânica newtoniana, ou seja, descobriremos as causas dos movimentos por meio das três leis básicas de Isaac Newton. É importante sabermos que essas leis não podem ser aplicadas em todas as situações, mas, ao compreendê-las, conseguimos estudar diversos outros casos.

No nosso cotidiano, exercer uma força significa puxar ou empurrar alguma coisa. A força é uma grandeza vetorial que causa a aceleração dos objetos. Assim, uma força age sobre um objeto, mudando sua velocidade, ou seja, aplicar uma força sobre um objeto é a única forma de tirá-lo da condição de equilíbrio. A unidade que mede a força é newton (N).

Quando duas ou mais forças atuam, simultaneamente, sobre um objeto, podemos calcular a força total ou força resultante (\vec{F}_R), somando vetorialmente todas as forças: $\sum \vec{F} = \vec{F}_R$.

Uma única força, com o módulo e a orientação da força resultante, tem o mesmo efeito sobre um objeto do que todas as forças agindo ao mesmo tempo.

A primeira lei de Newton define que se nenhuma força resultante atua sobre um corpo, então a velocidade desse corpo não pode mudar, ou seja, o corpo não pode sofrer aceleração.

Em outras palavras, se não há força resultante, um corpo em repouso tem a tendência de continuar em repouso, e se o corpo está em movimento, tende a permanecer em movimento com velocidade constante. Isso significa que se não há força resultante, não é possível mudar a direção nem o sentido do movimento.

Quando um corpo está em repouso, encontra-se em equilíbrio estático (velocidade constante igual a zero). Se o corpo apresenta-se em movimento uniforme, está em equilíbrio dinâmico (velocidade constante diferente de zero e aceleração nula). Vale ressaltar que quando o objeto está em equilíbrio dinâmico, move-se com velocidade constante, aceleração nula, e a direção e o sentido do movimento não se alteram!



Assimile

A primeira lei de Newton é também conhecida como o princípio da inércia, que consiste na tendência de os corpos manterem a velocidade vetorial (módulo e orientação). Em outras palavras, significa que se um corpo está em repouso, tende a continuar em repouso e, se está em movimento, tende a permanecer da mesma maneira, mantendo invariável sua velocidade em módulo e orientação.

Na primeira lei de Newton, o que importa é conhecer a força resultante (\vec{F}_R), que é o somatório de todas as forças ($\sum \vec{F} = \vec{F}_R$). Quando a força resultante sobre um objeto é zero, esse objeto está em equilíbrio, isto é, o objeto pode estar em repouso ou movendo-se com velocidade constante:

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_R = 0 \rightarrow \textit{equilíbrio}.$$

Lembre-se de que, no repouso, a velocidade é constante e igual a zero.

Assim, podemos concluir: **força resultante nula** \Leftrightarrow **velocidade constante** (equilíbrio).



Exemplificando

Analise as seguintes afirmações e explique por que tais situações acontecem:

- Quando um ônibus arranca para a direita, a partir do repouso, um passageiro desprevenido pode cair, sentindo-se lançado para a esquerda.
- Quando um ônibus, em pleno movimento retilíneo para a direita, freia bruscamente, um passageiro desprevenido pode cair, sentindo-se projetado para a direita.

Solução:

a) Quando um corpo está em repouso, tende a permanecer em repouso, ou seja, mantém sua velocidade nula. Assim, quando o ônibus arranca para a direita, a partir do repouso, o passageiro desprevenido pode desequilibrar-se, porque seu corpo insiste em manter-se em repouso.

b) Quando um corpo está em movimento, tende a permanecer em movimento, mantendo velocidade constante em módulo e orientação. Assim, quando o ônibus, em pleno movimento retilíneo para a direita, freia bruscamente, o passageiro pode desequilibrar-se para a direita, porque seu corpo insiste em manter-se em movimento.

Curiosidade: para vencer a inércia, é preciso sempre a intervenção de uma força. Por isso, para não cair, o passageiro precisa segurar-se no ônibus, com o objetivo de receber uma força capaz de vencer sua inércia.

A segunda lei de Newton enuncia o princípio fundamental da dinâmica: quando uma força é aplicada a um corpo, este adquire uma aceleração, que apresenta a mesma direção e o mesmo sentido da força resultante. O módulo da aceleração é proporcional ao da força resultante aplicada.



Assimile

A segunda lei de Newton determina que a força resultante que age sobre um corpo é igual ao produto da massa do corpo pela aceleração. Essa afirmação pode ser descrita matematicamente da seguinte forma:

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}.$$

É importante ressaltar que a força resultante \vec{F}_R aplicada e a aceleração adquirida \vec{a} têm sempre a mesma orientação, isto é, mesma direção e mesmo sentido. A massa m é uma grandeza escalar e positiva (não existe massa negativa).

Segundo a equação do princípio fundamental da dinâmica $\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$, observe que se a força resultante sobre um corpo é nula, então a aceleração também é nula. Logo, um corpo que não tem aceleração está em equilíbrio: em repouso ou movendo-se com velocidade constante.

$$\begin{aligned}\vec{F}_R = m \cdot \vec{a} &\rightarrow 0 = m \cdot \vec{a}, \\ \vec{a} = 0 &\Leftrightarrow \textit{equilíbrio}.\end{aligned}$$



A Figura 1.4 mostra duas forças atuando em uma caixa:

Figura 1.4 | Duas forças atuando em uma caixa



Fonte: elaborada pela autora.

a) Se apenas essas duas forças atuarem na caixa, qual será a força resultante? A caixa conseguirá se mover? Em caso afirmativo, quais serão a direção e o sentido do movimento?

b) Se uma terceira força \vec{F}_3 também agir sobre a caixa, qual deverá ser o seu módulo e a orientação para que a caixa fique em equilíbrio estático (repouso)?

Solução:

a) A força resultante é a soma vetorial de todas as forças que atuam na caixa. Para somar vetores, precisamos considerar a orientação. Adotando o sentido para a direita como positivo, temos: $F_R = \sum F = 5 - 3 = 2$. A força resultante possui módulo de 2N, direção horizontal, sentido para a direita. Pela segunda lei de Newton, sabemos que a caixa adquirirá uma aceleração na mesma direção e no mesmo sentido da força resultante, portanto se moverá na horizontal para a direita.

b) Para o equilíbrio estático (repouso), vimos, pela primeira lei de Newton, que a força resultante sobre a caixa deve ser nula, porque, assim, garantimos que não haja aceleração. Portanto, o somatório de todas as forças deve ser igual a zero:

$$F_R = \sum F = 5 - 3 + F_3 = 0 \rightarrow 2 + F_3 = 0 \rightarrow F_3 = -2.$$

Para que a caixa fique em repouso, a força \vec{F}_3 deve apresentar módulo de 2N, direção horizontal e sentido para a esquerda (sentido negativo).

A terceira lei de Newton estabelece o princípio da ação e reação, aplicando-se a corpos em repouso ou em movimento. Quando dois corpos interagem, as duas forças decorrentes da interação apresentam sempre o mesmo módulo, a mesma direção, porém sentidos contrários. **Atenção: as forças do par ação-reação atuam sempre em corpos distintos, por isso nunca se cancelam!**



A terceira lei de Newton estabelece o princípio da ação e reação: quando um corpo A exerce uma força (uma ação) sobre um corpo B , então o corpo B reage e exerce também uma força sobre o corpo A (uma reação). Essas duas forças têm o mesmo módulo, a mesma direção e sentidos opostos, atuando em **corpos diferentes**.

Para entender melhor a terceira lei de Newton, é muito importante conhecermos algumas forças especiais, como força peso, força normal, tração, atrito e força elástica, que estão detalhadas no Quadro 1.2.

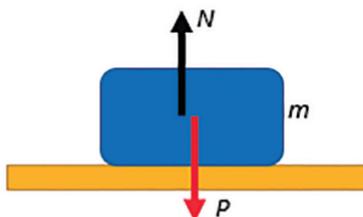
Quadro 1.2 | Forças especiais

Força	Quando a força existe?	Característica	Representação
Peso	Quando existem massa e campo gravitacional.	Direção vertical e sentido para baixo, sendo sempre perpendicular ao solo.	$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$
Normal	Quando o objeto está apoiado em uma superfície.	É sempre perpendicular à superfície de apoio.	\vec{N}
Tração	Quando existem cabos, fios ou cordas tensionados.	Sempre estará orientada ao longo da corda, ou seja, terá a mesma direção da corda. A tração é constante ao longo de um cabo ideal.	\vec{T}
Atrito	Quando tentamos puxar ou empurrar um objeto sobre uma superfície que possui imperfeições.	É sempre paralela à superfície e aponta no sentido oposto (contrário) ao do movimento ou da tendência de movimento.	$\vec{F}_{at} = \mu \cdot \vec{N}$ $\mu = \mu_e \text{ OU } \mu_d$ (estático ou dinâmico)
Elástica	Quando um corpo está preso a um objeto elástico (mola, corda elástica).	A força elástica possui a mesma direção da deformação sofrida pelo objeto elástico, e o sentido dessa força é contrário ao da deformação.	$\vec{F}_{el} = k \cdot \vec{L}$

Fonte: elaborada pela autora.

Veja, por exemplo, que um objeto se mantém em repouso em uma superfície plana, pois nele atuam forças que **NÃO** configuram um par de ação e reação e, portanto, podem se anular: força peso e normal.

Figura 1.5 | Forças peso e normal na superfície plana



Fonte: elaborada pela autora.

Na Figura 1.5, a força gravitacional atrai o bloco de massa m (força peso). Assim, o bloco pressiona a mesa. Esta, por sua vez, reage, impedindo o movimento do bloco e aplicando uma força normal nele, a fim de cancelar a força peso. Observe que se a mesa não conseguisse anular completamente a força peso, restaria uma força resultante para baixo e o bloco teria que acelerar. A mesa quebraria!

Quando um objeto é colocado em uma superfície inclinada, apresenta tendência de se movimentar deslizando pela superfície, ou seja, as forças normal e peso não se anulam naturalmente nessa situação.



Refleta

Você conseguiria explicar por que a mão ou o pé se machuca quando alguém bate em uma parede? Por qual motivo os lutadores usam luvas nas mãos?

Muitas vezes, para resolver problemas que envolvem as leis de Newton, desenhamos um **diagrama de corpo livre**, no qual o único corpo mostrado é aquele analisado e cujas forças são somadas. **É absolutamente necessário definir logo de início o corpo que estamos analisando.** Normalmente, no diagrama de corpo livre, simplificamos o corpo em estudo, representando-o por meio de um ponto. Ao desenhar um diagrama de corpo livre, é conveniente indicar também o sistema de coordenadas.

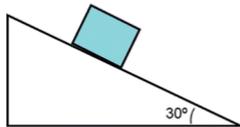


Quando um objeto é colocado em uma superfície inclinada, apresenta tendência de se movimentar deslizando pela superfície, ou seja, as forças normal e peso não se anulam naturalmente nessa situação. Veja a seguir o que ocorre.

Considere um bloco de massa igual a 10 kg apoiado em uma superfície inclinada de 30° com a horizontal, na qual não atuam forças de atrito, como mostra a Figura 1.6.

- Calcule a força normal.
- Calcule a aceleração do bloco.

Figura 1.6 | Bloco no plano inclinado

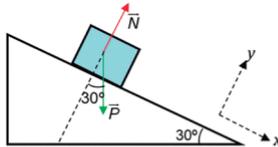


Fonte: elaborada pela autora.

Solução:

- Sobre o bloco atuam as forças peso e normal, sendo o peso vertical para baixo e a normal perpendicular à superfície.

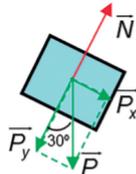
Figura 1.7 | Forças normal e peso no plano inclinado



Fonte: elaborada pela autora.

Desenhando o diagrama de corpo livre do bloco e decompondo a força peso, temos:

Figura 1.8 | Diagrama de corpo livre do bloco



Fonte: elaborada pela autora.

Observe que a força normal se anula com a componente vertical do peso (P_y), assim:

$$N = P_y = m \cdot g \cdot \cos 30^\circ$$

$$N = 10 \cdot 9,8 \cdot \cos 30^\circ \approx 85 \text{ N}$$

Concluimos que o bloco fica sujeito à força resultante que é a componente horizontal do peso (P_x), por isso desliza sobre o plano inclinado:

$$F_R = P_x = m \cdot g \cdot \sin 30^\circ$$

$$F_R = 10 \cdot 9,8 \cdot \sin 30^\circ = 49 \text{ N}$$

b) Lembrando-nos da segunda lei de Newton, temos que $F_R = m \cdot a$.

Logo, a aceleração do bloco é: $49 = 10 \cdot a \rightarrow a = \frac{49}{10} = 4,9 \text{ m/s}^2$.



Pesquise mais

Estude mais sobre as três leis de Newton, assistindo ao vídeo bastante ilustrativo indicado a seguir:

TEDEd – Lessons Worth Sharing. As 3 leis de Newton, com uma bicicleta. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JGO_zDWmkvk&feature=youtu.be>. Acesso em: 25 out. 2017. (Vídeo do YouTube)

Você pode ativar a legenda em português para melhor compreensão.

Sem medo de errar

Caro aluno, vamos finalizar o trabalho com o maratonista?

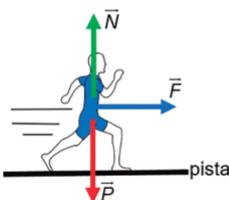
Ao repassar para o atleta as informações obtidas até aqui, ele lhe faz o seguinte questionamento: “Acredito que preciso melhorar meu desempenho e fico muito cansado nos trechos íngremes. Por que é preciso tanto esforço nas subidas?”.

Na última etapa do seu trabalho, você deve ajudar o atleta a compreender o motivo pelo qual ele precisa fazer mais força nas subidas, para manter a mesma aceleração de quando está no plano horizontal. Ao refletir sobre como a Física pode ajudá-lo a explicar essa situação, você percebe que, para sanar a dúvida do maratonista, será necessário desenhar dois esboços (diagramas de corpo livre)

demonstrando as forças que atuam no atleta, nos trechos retilíneos e nos trechos íngremes (subida). Além disso, deve utilizar as leis de Newton do movimento para comparar e explicar as duas situações.

Dessa maneira, para explicar e analisar o que ocorre nos trechos retilíneos (desconsiderando atritos), você esboça o seguinte diagrama de corpo livre:

Figura 1.9 | Diagrama do atleta nos trechos retilíneos



Fonte: adaptada de Pixabay (2017a, [s.p.]).

Uma vez que o atleta está em movimento na horizontal e possui aceleração (calculada na seção anterior), sabemos que existe uma força resultante atuante sobre ele. Pelo diagrama, podemos perceber que as forças peso (\vec{P}) e normal (\vec{N}) se anulam. Assim, pela segunda lei de Newton, temos:

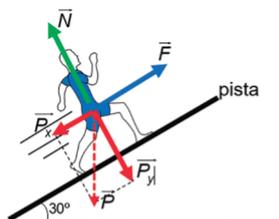
$$F_R = F = m \cdot a.$$

Sabendo que a massa do atleta é $m = 65 \text{ kg}$ e sua aceleração média durante a maratona é $a = 6,81 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$, podemos estimar a força, ou o esforço, que o atleta faz nos trechos retilíneos:

$$F_R = F = 65 \cdot 6,81 \cdot 10^{-4} \approx 0,0443 \approx 4,43 \cdot 10^{-2} \text{ N}.$$

Agora, analisaremos o que ocorre nos trechos íngremes (subidas). Para simular a situação, consideremos a inclinação de 30° e, novamente, desconsideremos os atritos, como mostrado no diagrama de corpo livre a seguir:

Figura 2.0 | Diagrama do atleta nos trechos íngremes (subida)



Fonte: adaptada de Pixabay (2017a, [s.p.]).

Na subida (trecho inclinado), as forças normal e peso não se anulam completamente. A força normal (\vec{N}) anula-se apenas com a componente vertical do peso (\vec{P}_y). Se o atleta não fizer esforço (força) para vencer a subida, terá a tendência de “deslizar” para trás, em razão da componente horizontal do peso (\vec{P}_x).

Assim, para que o atleta mantenha a mesma aceleração dos trechos retilíneos, perceba que ele deverá fazer uma força muito maior, que seja capaz de anular a componente horizontal do seu peso e, ainda, movê-lo para frente. Aplicando a segunda lei de Newton, temos:

$$F_R = F - P_x = m \cdot a, \text{ em que } P_x = m \cdot g \cdot \text{sen}30^\circ.$$

Veja que, para manter a mesma aceleração dos trechos retilíneos ($a = 6,81 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$), sendo $m = 65 \text{ kg}$ e considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, então:

$$F_R = F = (m \cdot a) + P_x$$

$$F_R = F = (65 \cdot 6,81 \cdot 10^{-4}) + (65 \cdot 10 \cdot \text{sen}30^\circ) \approx 325,04 \text{ N}$$

Resumindo essas análises na Tabela 1.7, temos:

Tabela 1.7 | Resultados das análises

Trecho da maratona	Força (esforço) para manter $a = 6,81 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$
Retilíneo	0,0443 N
Subida (trecho inclinado)	325,04 N

Fonte: elaborada pela autora.

Logo, a força na subida (para manter a mesma aceleração) deve ser muito maior (da ordem de 10.000 vezes para a inclinação considerada na simulação) em relação aos trechos retilíneos, o que explica a exaustão do atleta. Melhorar o desempenho na subida pode ser muito difícil. Portanto, uma boa estratégia pode ser aumentar o desempenho (aumentar a aceleração) nos trechos retilíneos.

Parabéns! Você concluiu as análises do desempenho do atleta com êxito. As leis de Newton podem nos ajudar a entender as causas que produzem e modificam os movimentos. Lembre-se de que são as forças que alteraram o estado de movimento de um corpo! Não deixe de praticar o que você aprendeu até aqui. Siga em frente!

Esportes no gelo

Descrição da situação-problema

Você e seu amigo estão assistindo aos jogos olímpicos de inverno. A modalidade conhecida como *curling* é uma excelente oportunidade para estudar as leis de Newton.

Figura 2.1 | *Curling*: esporte no gelo



Fonte: Pixabay (2017b, [s.p.]).

O *curling* é um esporte praticado em uma pista de gelo, cujo objetivo é lançar pedras de granito, que devem parar o mais próximo possível de um alvo. Sabendo que uma força de 200 N é aplicada para lançar a pedra com uma velocidade inicial de 20 m/s e que a pedra entra em repouso após 2 segundos, responda:

- Como você explica o movimento da pedra, do momento em que é lançada até parar, visto que, nesse intervalo, ninguém toca nela?
- Qual é a massa da pedra?

Resolução da situação-problema

a) Pela primeira lei de Newton, um corpo inicialmente em movimento tende a continuar em movimento com velocidade constante. Por isso, após lançada, a pedra continua em movimento, mesmo sem ser tocada, pelo princípio de inércia. Se não fosse o atrito com a pista de gelo, a pedra jamais entraria em repouso.

b) O módulo da aceleração da pedra é:
 $|a| = \frac{|\Delta v|}{\Delta t} = \frac{|0 - 20|}{2 - 0} = \frac{20}{2} = 10 \text{ m/s}^2$. Pela segunda lei de Newton, sabemos que $F_R = m \cdot a$. Como a força resultante é **200 N**, logo a massa da pedra é: $200 = m \cdot 10 \rightarrow m = \frac{200}{10} = 20 \text{ kg}$.

Faça valer a pena

1. Considere uma pessoa sentada em um carro em repouso. Quando o carro acelera para frente, ela sente as costas comprimirem o banco no qual está sentada.

Essa situação pode ser explicada pela(o):

- a) primeira lei de Newton – princípio da inércia.
- b) segunda lei de Newton – princípio fundamental da dinâmica.
- c) terceira lei de Newton – princípio da ação e reação.
- d) princípio de conservação de massas.
- e) a Física não explica essa situação.

2. Um objeto de massa igual a **30 kg** sofre a ação de uma força resultante de **300 N**.

Podemos afirmar que esse objeto se move com uma aceleração de módulo:

- a) **6,0 m/s²**.
- c) **8,0 m/s²**.
- e) **10,0 m/s²**.
- b) **7,0 m/s²**.
- d) **9,0 m/s²**.

3. Após estudar a terceira lei de Newton, um aluno concluiu que não adianta empurrar um carro que está parado por falta de combustível, pois, pela força de reação, continuará em repouso.

Podemos afirmar que o aluno está:

- a) correto, porque as forças de ação e reação se anulam, portanto o carro ficará em repouso.
- b) correto, pois as forças de ação e reação são sempre aplicadas no mesmo corpo.
- c) errado, uma vez que as forças de ação e reação são aplicadas em corpos distintos.
- d) errado, tendo em vista que, nessa situação, não há força de reação. O aluno aplicará uma força no carro, fazendo-o se mover.
- e) certo, pois as forças de ação e reação, apesar de serem aplicadas em corpos distintos, podem se anular por terem a mesma intensidade e sentidos opostos.

Referências

- CHAVES, Alair. **Física básica** – Mecânica. 5. ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2013.
- CHIQUETTO, Marcos; VALENTIM, Bárbara; PAGLIARI, Estéfano. **Aprendendo Física**. 1. ed. São Paulo: Scipione, 1996. v. 3.
- CUTNELL, John D.; JOHNSON, Kenneth W. **Física**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC – Grupo GEN, 2016. v. 1.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 1: Mecânica**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 2009, v.1.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Sistema Internacional de Unidades**: SI. 1. ed. bras. da 8. ed. do BIPM. Duque de Caxias: Inmetro/CICMA/Sepin, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/si_versao_final.pdf>. Acesso em: 14 out. 2017.
- NUSSENZVEIG, Herch M. **Curso de Física básica**. São Paulo: Blucher, 2011. v. 3.
- ORTIZ, Jeferson. **Práticas de laboratórios para engenharias** – Obra de referência. Campinas: Átomo, 2009.
- PIXABAY. **Imagem de um atleta**. Disponível em: <<https://pixabay.com/en/runner-drawing-isolated-sport-304236/>>. Acesso em: 25 out. 2017a.
- _____. **Imagem de curling**: esporte no gelo. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/ondula%C3%A7%C3%A3o-equipe-jogos-ol%C3%ADmpicos-670195/>>. Acesso em: 25 out. 2017b.
- SEARS, Francis W.; ZEMANSKY, Mark W.; YOUNG, Hugh D. **Física 1: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. v. 1.
- SEARS, Francis Weston et al. **Física 1** – Mecânica. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. v.1.
- SERWAY, Raymond A.; JEWETT JUNIOR, John W. **Princípios de Física**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- TIPLER, Paul A. **Física para cientistas e engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2009.
- YOUNG, Hugt. **Física I: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

Biofísica dos fluidos e soluções

Convite ao estudo

Até o momento, em nossas discussões, estudamos o comportamento dos corpos tratando-os como sólidos (blocos, esferas etc.). Porém, agora, lançamos as seguintes questões: como se organizam as forças nos fluidos (líquidos e gases)? Como os fluidos se comportam sob a ação de forças? Ora, fluidos, como líquidos que escoam, ou gases, que preenchem espaços vazios, não têm inércia?

Definitivamente, os fluidos reagem de maneira diferente da dos sólidos sob a ação das mesmas forças físicas. Isso é compreensível, uma vez que os fluidos e sólidos são matérias com propriedades dinâmicas completamente diferentes. A principal diferença é que os fluidos escoam e geralmente assumem a forma do recipiente em que estão inseridos. Em função das propriedades de escoamento dos fluidos, os físicos criaram ramos especiais da Mecânica chamados de hidrostática e hidrodinâmica, que serão assuntos desta unidade de ensino.

No decorrer dos estudos, você perceberá que os fluidos podem ser considerados como uma população de pequenos sólidos e, assim, aprenderemos conceitos como pressão, viscosidade, escoamento, difusão, osmose, entre outros.

É importante lembrar que nosso alvo é a Biofísica, e não a Física isoladamente. Dessa forma, utilizaremos os conceitos físicos aprendidos para compreender a fisiologia cardiovascular, a dinâmica da filtração renal e a biofísica das soluções.

Para contextualizar o aprendizado desta unidade, ilustraremos com uma situação na qual você foi convidado

por uma instituição de ensino para palestrar sobre o seguinte tema: "Aspectos biofísicos do sistema circulatório humano". Durante a palestra, você abordou as fantásticas aplicações físicas no funcionamento do corpo humano, com ênfase no funcionamento do sistema circulatório. Além disso, você tratou da biofísica dos fluidos, da termodinâmica da circulação e das soluções. Sua atuação foi empolgante e despertou o interesse e a curiosidade de muitos alunos. Logo após o término da palestra, os participantes levantaram algumas dúvidas muito interessantes sobre os assuntos abordados, sendo você desafiado a respondê-las.

Para responder às questões com assertividade, convido você a aprofundar seus conhecimentos e ingressar nos estudos sobre a biofísica dos fluidos e soluções. Ao final, você certamente terá todo o conhecimento necessário para enfrentar o desafio exposto. Pronto para começar? Será um aprendizado e tanto!

Seção 2.1

Biofísica dos fluidos

Diálogo aberto

Caro aluno!

Nesta seção vamos aprender sobre a biofísica dos fluidos. No corpo humano, os fluidos se movem constantemente. Pense, por um instante, na circulação de sangue pelos vasos ou na entrada e saída de ar, pelos pulmões, durante nossa respiração. Temos, portanto, um assunto de extrema importância, não é mesmo?

Os fluidos são estudados tanto na condição de repouso (hidrostática) quanto em movimento (hidrodinâmica) e, para compreendê-los, precisamos aprender novos conceitos físicos: pressão, escoamento, viscosidade, fluxo, entre outros.

Na intenção de aplicar os novos conceitos aprendidos e compreender a importância desta seção, retomaremos a situação na qual você palestrou em uma instituição de ensino sobre o seguinte tema: "Aspectos biofísicos do sistema circulatório humano". Sua atuação foi sensacional e, muito empolgado com todas as informações aprendidas durante a sua palestra, um aluno fez o primeiro questionamento: "Se um vaso triplicar de raio, em quanto irá aumentar o fluxo neste vaso?" Como você responderia a esse questionamento de forma objetiva e assertiva? Quais conceitos sobre fluidos são importantes para responder a essa questão? É possível provar sua explicação matematicamente? Como?

Não se preocupe, usando os conceitos aprendidos sobre a biofísica dos fluidos, você vai superar esse desafio com sucesso. Preparado para mergulhar no universo dos fluidos? Ao final desta seção, esperamos que você tenha compreendido o conceito de pressão, consiga definir as propriedades dos fluidos, saiba explicar como ocorre a aceleração de um fluido, seja capaz de definir fluxo e seus determinantes, entenda a diferença entre fluxo e velocidade

de escoamento, saiba explicar como ocorre a resistência ao fluxo e quais fatores a determinam. Essas novas e enriquecedoras informações serão muito importantes para a sua vida profissional.

Dedique-se e bons estudos!

Não pode faltar

Em geral, a matéria pode se apresentar em três estados: sólido, líquido ou gasoso. Os gases e líquidos podem ser agrupados e classificados como **fluidos**.

Vamos aproveitar todos os conceitos estudados até agora para compreender o motivo de o comportamento mecânico de fluidos ser diferente do dos sólidos. Um corpo sólido, quando submetido a uma força, mantém o mesmo padrão de comportamento em todas as suas partículas, em razão de seu grau de ordem e estabilidade. No fluido, as partículas são relativamente independentes. Assim, quando ele é submetido a uma força, as partículas desse líquido (ou gás) assumem padrões diferentes de comportamento. Então, podemos estudar os fluidos considerando-os não como corpos homogêneos, mas, sim, como populações de pequenos sólidos.



Assimile

Os fluidos podem escoar, já os sólidos não possuem essa propriedade. Mas, podemos estudar os fluidos como populações de pequenos sólidos.

Para fluidos em repouso, utilizamos os conceitos de **hidrostática**. Considerando um fluido uma população de pequenos sólidos e observando as propriedades dos líquidos e gases, vamos definir **pressão**. Quando aplicamos uma componente de força normal (perpendicular) à superfície do fluido, sem permitir que ele escoe, geramos uma pressão. A intensidade da **pressão** é:

$p = \frac{F}{A}$; em que p = pressão; F = força normal e A = área de aplicação.

Para uma força de intensidade constante, **a pressão será maior quanto menor for a área na qual a força é aplicada**. A pressão é

uma grandeza escalar com unidade no SI: N/m^2 , que recebe o nome de pascal (Pa). Outra unidade de medida de pressão muito utilizada é o mmHg (milímetro de mercúrio).

Além disso, cada fluido pode ser especificado por meio da sua **densidade** (ou **massa específica**). Para materiais homogêneos, temos:

$$\rho = \frac{m}{V}; \text{ em que } \rho = \text{densidade (massa específica), } m = \text{massa total} \\ \text{e } V = \text{volume ocupado.}$$

A densidade é uma grandeza escalar, com unidade no SI: kg/m^3 . Se a massa específica do fluido é constante em qualquer situação, dizemos que ele é incompressível. Uma referência importante é a massa específica da água, de aproximadamente $1000 kg/m^3$ (1000 kg de água são necessários para preencher um recipiente com volume de $1 m^3$). A densidade do sangue é quase igual à da água: $1054 kg/m^3$.



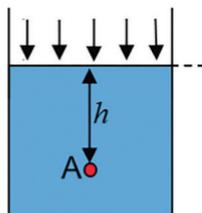
Refleta

Quanto maior a densidade do fluido, maior ou menor a pressão hidrostática?

A pressão hidrostática exercida pelos gases, que são normalmente menos densos, é maior ou menor que a dos líquidos?

A pressão em um ponto no interior de um fluido é calculada pela soma da pressão externa com a que é causada pela altura da coluna, como mostra a Figura 2.1.

Figura 2.1 | Pressão hidrostática



Fonte: elaborada pela autora.

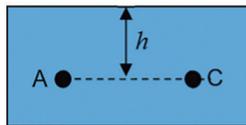
Portanto, a pressão no ponto A da Figura 2.1 é:

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h; \text{ em que } p_0 = \text{pressão externa.}$$

Um caso comum de pressão externa aplicada é a pressão atmosférica, que atua sobre todos os recipientes abertos. Ao nível do mar, seu valor é $p_{atm} \approx 10^5 \text{ Pa}$.

O **princípio de Stevin** estabelece que a diferença entre as pressões de dois pontos em um fluido em repouso (homogêneo e incompressível) **independe da forma do reservatório e é igual ao produto entre a densidade do fluido, a aceleração da gravidade e a diferença entre as profundidades dos pontos** ($\rho \cdot g \cdot \Delta h$). Logo, pontos que estão a uma mesma profundidade devem estar submetidos à mesma pressão.

Figura 2.2 | Princípio de Stevin (pontos na mesma profundidade)



Fonte: elaborada pela autora.

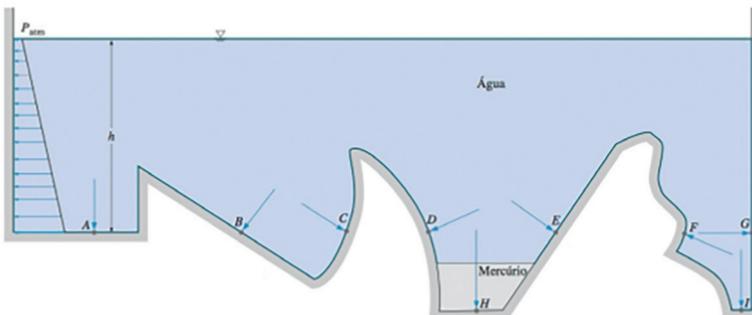
Pela Figura 2.2, temos: $p_A = p_C = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$.



Exemplificando

Vejam a situação ilustrada na Figura 2.3 a seguir.

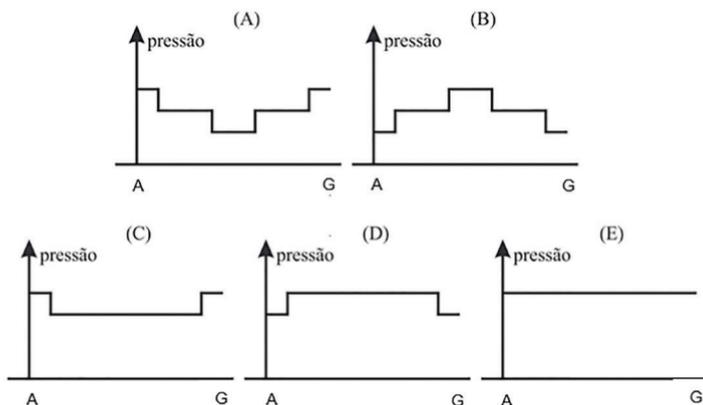
Figura 2.3 | Pressão hidrostática



Fonte: Çengel e Cimbala (2015, p. 80).

Dos gráficos da Figura 2.4 a seguir, qual representa corretamente a pressão ao longo da linha que passa pelos pontos *ABCDEFGG*?

Figura 2.4 | Representações gráficas para a variação de pressão ao longo da linha *AG*



Fonte: elaborada pela autora.

O correto é o gráfico representado pela letra *E*, pois a **pressão é a mesma** em todos os pontos de um plano horizontal em um dado fluido, independentemente da geometria, desde que os pontos estejam interconectados pelo mesmo fluido.



Refleta

A pressão arterial varia de acordo com a postura. Em uma pessoa deitada, como varia a pressão arterial em diferentes partes do corpo? E em uma pessoa em pé ou sentada?

Pascal, matemático e filósofo francês, enunciou o importante princípio: o acréscimo de pressão produzido em um fluido transmite-se integralmente a todos os pontos do fluido e às paredes do recipiente.



Assimile

Princípio de Pascal: a pressão aplicada a um fluido enclausurado é transmitida sem atenuação a cada parte do fluido. Esse é o princípio que explica, por exemplo, o funcionamento da prensa hidráulica.

A pressão arterial é a pressão que o sangue exerce na parede das artérias; afinal, como vimos, um fluido sempre exerce pressão na parede de seu “recipiente”.

A pressão é um agente físico capaz de romper a inércia de um fluido, o qual, quando submetido a uma aceleração, entra em movimento. O estudo dos fluidos em movimento é denominado de **hidrodinâmica**. Abordaremos aqui os conceitos da hidrodinâmica, que, no futuro, serão importantes para a compreensão da fisiologia cardiovascular e respiratória e da dinâmica da filtração renal.

Como explicado por Mourão Jr. e Abramov (2017), vamos imaginar uma seringa com um líquido (medicamento) em seu interior. Agora, suponha que a agulha da seringa seja introduzida na veia de um paciente. Ao apertarmos o êmbolo, iremos romper a inércia do líquido e criar uma aceleração para fora da seringa, fazendo com que o medicamento entre na veia do paciente. Se, ao contrário, puxarmos o êmbolo, iremos aspirar sangue para o interior da seringa.

Utilizando conceitos físicos, vamos compreender o que ocorreu nas duas situações apresentadas: conforme você sabe, o sangue exerce determinada pressão nos vasos sanguíneos. Assim, quando apertamos o êmbolo da seringa e a pressão no seu interior fica maior do que a pressão sanguínea, o líquido (medicamento) é aceleradamente inserido na corrente sanguínea. Quando puxamos o êmbolo, a pressão no interior da seringa fica menor do que a pressão sanguínea, e, nesse caso, o sangue vai aceleradamente em direção à seringa, ou seja, é aspirado.

Com esses exemplos, podemos ilustrar uma **lei fundamental da hidrodinâmica: só ocorrerá aceleração de um fluido se houver diferença de pressão entre dois pontos do circuito**. Porém, após ter sua inércia rompida pela diferença de pressão, o movimento do fluido em velocidade constante é mantido pela própria inércia. Em outras palavras, a lei da inércia também se aplica aos fluidos. **A aceleração de um fluido ocorre do ponto de maior pressão do circuito para o de menor pressão.**

Para saber a rapidez com a qual um volume de fluido escoar, utilizamos o conceito de **vazão ou fluxo**.



Fluxo é volume por unidade de tempo. Quando falamos, por exemplo, que a vazão de uma torneira é de 2 litros por hora (**2l/h**), significa que a torneira irá gastar o tempo de 1 h para encher um recipiente de dois litros.

Outro conceito importante da hidrodinâmica é a **velocidade de escoamento**, que não deve ser confundida com fluxo. Lembre-se de que velocidade é a distância percorrida por um intervalo de tempo.

De acordo com Mourão Jr. e Abramov (2017), fluxo e velocidade nem sempre se correlacionam como poderíamos imaginar. Perguntamos: seria possível aumentar a velocidade de um fluido sem que seu fluxo fosse alterado? Para facilitar a compreensão, poderíamos fazer essa pergunta da seguinte maneira: suponha duas torneiras, *A* e *B*. Digamos que ambas enchem um reservatório de 5 litros em 1 minuto (logo, ambas têm o mesmo fluxo, isto é, **5L/min**). Seria possível que, por exemplo, a velocidade de escoamento na torneira *A* fosse maior do que na torneira *B*? A resposta é sim. Desde que o calibre (diâmetro) da torneira *A* fosse menor, pois, neste caso, ela teria de escoar com maior velocidade para oferecer o mesmo fluxo da torneira *B*.

Assim, se o raio dos vasos for o mesmo, quanto maior a velocidade, maior o fluxo. Porém, quando os raios são diferentes (como acontece ao longo do sistema circulatório), quanto menor o raio, maior a velocidade de escoamento, caso se pretenda manter o mesmo fluxo.

Esse é um conceito muito relevante na hidrodinâmica, representado matematicamente pela **equação da continuidade**, que relaciona a área disponível para escoamento com a velocidade do fluido:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$



Quanto menor a seção (área) do tubo (por onde o fluido escoar), maior a velocidade de escoamento.



Vamos imaginar uma situação na qual, devido ao acúmulo de gordura, a seção transversal (área) de um vaso sanguíneo foi reduzida pela metade. Será que houve alteração na velocidade do sangue nesse local? Podemos quantificar essa variação de velocidade?

Pela equação da continuidade, sabemos que:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \text{ (equação 1)}$$

Devido ao acúmulo de gordura, a "nova" área (área 2) do vaso é igual à metade da área inicial (área 1), ou seja, $A_2 = \frac{A_1}{2}$.

Colocando essa informação na equação 1, temos: $A_1 \cdot v_1 = \frac{A_1}{2} \cdot v_2$.

Logo: $v_2 = 2 \cdot v_1$.

Dessa maneira, comprovamos que, no local onde houve o acúmulo de gordura, a velocidade do sangue é duas vezes maior.

A baixa velocidade nos capilares permite que haja tempo para as trocas ocorrerem com os tecidos. Logo, o acúmulo de gordura com consequente aumento da velocidade pode ser prejudicial ao tecido.

O fluxo é dado pela razão entre diferença de pressão e resistência, dependendo diretamente da diferença de pressão entre o início e o fim do trajeto. Mas, também, o fluxo é inversamente proporcional à resistência imposta à sua passagem. Quais fatores são responsáveis por tal resistência? Um fator que intuitivamente podemos imaginar é o raio do vaso. Dá para perceber que quanto maior o raio do vaso, menor a resistência e maior o fluxo. Entretanto, será que essa relação é linear (se dobrarmos o raio, dobraremos o fluxo)? Para responder a essa pergunta, foram necessárias medidas obtidas em laboratório. O médico francês Poiseuille mostrou que tal relação não é linear, mas, sim, exponencial, e que o fluxo é diretamente proporcional à quarta potência do raio, de acordo com Mourão Jr. e Abramov (2017).

Outro fator que interfere no fluxo é a **viscosidade** do fluido. Imagine uma seringa cheia de água e outra, idêntica, com leite condensado. Se quisermos esvaziá-las, em qual das duas terá de se aplicar maior

força no êmbolo? É claro que será muito mais difícil esvaziar a seringa cujo conteúdo é leite condensado, uma vez que ele apresenta maior viscosidade do que a água e, portanto, oferece maior resistência ao escoamento. Portanto, quanto mais viscoso um fluido, maior a resistência no escoamento. Essa relação é linear: se dobrarmos uma, dobramos a outra. Logo, para Mourão Jr. e Abramov (2017), **o fluxo em um vaso é inversamente proporcional à viscosidade de seu conteúdo.**

Vejamos também que, se alterarmos o comprimento do tubo por onde um fluido escoar, alteraremos o fluxo. **O fluxo em um vaso é inversamente proporcional ao seu comprimento.**



Assimile

Se dobrarmos o raio de um vaso, aumentaremos o fluxo em 16 vezes. Essa é a famosa lei da quarta potência do raio.

Se dobrarmos o comprimento do vaso, dobraremos sua resistência, ou seja, reduziremos seu fluxo pela metade.



Pesquise mais

Caro aluno, dedique-se ao estudo dos fluidos e aprofunde seus conhecimentos em hidrostática e hidrodinâmica. Para tanto, leia o seguinte trabalho acadêmico: FERREIRA, R. F. **Mecânica de fluidos e algumas aplicações**. 2010. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) _ Departamento de Física, Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Ji-Paraná, 2010. Disponível em: <<http://doczz.com.br/doc/158660/mec%C3%A2nica-de-fluidos-e-algumas-aplica%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

Sem medo de errar

Você foi convidado por uma instituição de ensino para palestrar sobre o seguinte tema: "Aspectos biofísicos do sistema circulatório humano". Durante a palestra, você abordou as fantásticas aplicações físicas no funcionamento do corpo humano, com ênfase no funcionamento do sistema circulatório. Além disso, você tratou da biofísica dos fluidos, da termodinâmica da circulação e das soluções. Sua atuação foi empolgante e despertou o interesse e a curiosidade de muitos alunos.

Logo após o término da palestra, os participantes levantaram algumas dúvidas muito interessantes sobre os assuntos abordados, sendo você desafiado a respondê-las.

Muito empolgado com todas as informações aprendidas durante a sua palestra, um aluno fez o primeiro questionamento: “Se um vaso triplicar de raio, em quanto irá aumentar o fluxo neste vaso?”

Como você responderia a esse questionamento de forma objetiva e assertiva? Quais conceitos sobre fluidos são importantes para responder essa questão? É possível provar sua explicação matematicamente? Como?

Sabemos que o fluxo é diretamente proporcional à quarta potência do raio (lembre-se de que essa é a lei da quarta potência do raio).

Matematicamente, podemos representar: **fluxo** $\propto r^4$; em que r = raio.

Assim, se um vaso triplicar de raio, temos: **fluxo** $\propto (3 \cdot r)^4$.

Logo, **fluxo** $\propto 81 \cdot r^4$, o que significa que ele irá aumentar em 81 vezes!

Perceba que mínimas alterações no calibre de um vaso criam grandes alterações no fluxo do fluido.

É interessante lembrar que o fluxo dos fluidos é influenciado por fatores relacionados à resistência, como o raio, a viscosidade e o comprimento do vaso. O principal determinante da resistência ao fluxo no sistema circulatório é o raio do vaso.

Parabéns! Excelente trabalho! Compreender os líquidos e gases por meio do estudo da hidrostática e da hidrodinâmica nos torna capazes de aplicar os conceitos físicos aprendidos para entender o comportamento dos fluidos no corpo humano. Essa é a magia da Biofísica! Siga em frente e desfrute, cada vez mais, desse universo maravilhoso.

A postura e a pressão sanguínea

Descrição da situação-problema

Em uma experiência laboratorial, foram colocados três monitores de pressão arterial em diferentes posições em um paciente de 1,80 m de altura. Um monitor foi colocado no braço (na altura do coração), outro monitor no pé e outro na cabeça. Inicialmente, o paciente foi posicionado na posição horizontal (deitado) e, então, todos os monitores foram acionados para verificar a pressão sistólica. Os resultados obtidos foram:

Tabela 2.1 | Resultados com o paciente na horizontal (deitado)

Indicações da pressão arterial sistólica		
Monitor braço	Monitor pé	Monitor cabeça
120 mmHg ou 15999 Pa	120 mmHg ou 15999 Pa	120 mmHg ou 15999 Pa

Fonte: elaborada pela autora.

Em seguida, o paciente foi posicionado na vertical (em pé) e, novamente, todos os monitores foram acionados para verificar a pressão. Os novos resultados foram:

Tabela 2.2 | Resultados com o paciente na vertical (em pé)

Indicações da pressão arterial sistólica		
Monitor braço	Monitor pé	Monitor cabeça
120 mmHg ou 15999 Pa	214,87 mmHg ou 28647 Pa	72,57 mmHg ou 9675 Pa

Fonte: elaborada pela autora.

Os experimentadores desconfiaram dos resultados obtidos e você, profissional renomado da área de Biofísica, foi chamado às pressas para verificar e explicar os dados. Será que estão corretos? Sabendo que o coração é o ponto de referência e que a distância entre o pé e o coração é de 120 cm, e entre o coração e a cabeça é de 60 cm, a densidade do sangue é 1054 kg/m^3 e a aceleração da gravidade é $g = 10 \text{ m/s}^2$, será que você consegue ajudar os experimentadores?

Resolução da situação-problema

O princípio de Stevin estabelece que pontos que estão a uma mesma profundidade devem estar submetidos à mesma pressão. Assim, quando o paciente está deitado, a pressão hidrostática é praticamente constante em todos os pontos do corpo e igual à do coração. Portanto, os resultados mostrados na Tabela 2.1 estão coerentes.

Quando o paciente está em pé, devido às diferenças de alturas do coração em relação ao pé e à cabeça, as pressões arteriais são diferentes em cada ponto, sendo: $p_{\text{cabeça}} = p_{\text{coração}} - \rho \cdot g \cdot h$. Perceba que o sinal negativo é devido ao fato de a cabeça estar a um nível acima do coração, ou seja, a pressão na cabeça deve ser menor.

Logo, a pressão sistólica na cabeça é:

$p_{\text{cabeça}} = 15999 - (1054 \cdot 10 \cdot 0,6) = 9675 \text{ Pa}$; o que equivale a 72,57 mmHg.

Já no pé, a pressão sistólica deve ser maior, pois está a um nível abaixo do coração. Matematicamente, temos: $p_{\text{pé}} = p_{\text{coração}} + \rho \cdot g \cdot h$. Logo:

$p_{\text{cabeça}} = 15999 + (1054 \cdot 10 \cdot 1,2) = 28647 \text{ Pa}$; o que equivale a 214,87 mmHg.

Concluindo, os dados da Tabela 2.2 também estão corretos e, portanto, os monitores estão funcionando adequadamente.

Faça valer a pena

1. Considere a frase a seguir:

A pressão será maior quanto _____ for a área na qual a força é aplicada. Quanto maior a densidade do fluido, _____ a pressão hidrostática. Assim, a pressão hidrostática exercida pelos gases é _____ do que a dos líquidos. Assinale a alternativa que preenche a frase corretamente.

- a) menor; maior; menor.
- b) menor; menor; menor.
- c) maior; maior; maior
- d) maior; maior; menor.
- e) menor; maior; maior.

2. Analise as afirmações a seguir:

I. O princípio de Pascal estabelece que a pressão aplicada a um fluido enclausurado é transmitida sem atenuação a cada parte do fluido e às paredes do recipiente. Logo, a afirmação I é verdadeira.

II. Pela lei fundamental da hidrodinâmica, sabemos que só ocorrerá aceleração de um fluido se houver diferença de pressão entre dois pontos do circuito, e a aceleração ocorre do ponto de **maior** pressão para o de **menor** pressão do circuito. Portanto, a afirmação II é falsa.

III. Fluxo e velocidade de escoamento são conceitos similares.

São verdadeiras as afirmações:

- a) Apenas a I.
- b) Apenas a II.
- c) Apenas a III.
- d) Apenas I e II.
- e) I, II e III.

3. O fluxo é dado pela razão entre diferença de pressão e resistência, dependendo diretamente da diferença de pressão entre o início e o fim do trajeto. Mas, também, o fluxo é inversamente proporcional à resistência imposta à sua passagem. Os fatores que influenciam a resistência ao fluxo são, principalmente, o raio e o comprimento do tubo e a viscosidade do fluido.

Se dividirmos o raio de um tubo pela metade e dobrarmos seu comprimento, podemos afirmar que o fluxo:

- a) não se altera.
- b) aumenta em duas vezes.
- c) diminui em duas vezes.
- d) aumenta em 32 vezes.
- e) diminui em 32 vezes.

Seção 2.2

Termodinâmica da circulação e filtração renal

Diálogo aberto

Caro aluno, chegamos agora a um ponto muito interessante do nosso estudo. Vamos aplicar os conceitos sobre fluidos, aprendidos na seção anterior, para compreendermos a termodinâmica da circulação e a filtração renal. Nosso sistema circulatório é fechado, ou seja, o mesmo volume que é ejetado pelo coração retorna a ele, após percorrer os vasos sanguíneos. Mas, durante esse percurso, o calibre dos vasos sanguíneos varia consideravelmente, passando por grandes artérias até atingir capilares minúsculos. Então, como variam o fluxo, a pressão e a velocidade do sangue na circulação? Qual mecanismo em nosso corpo garante que os capilares cumpram seu papel?

Você já deve saber que nosso sangue precisa ser constantemente filtrado. Esse é o papel dos rins: filtrar o sangue e formar a urina para eliminar substâncias nocivas ao organismo. Mas, você sabia que a filtração é um processo que ocorre sob pressão? E você sabe como ocorre a dinâmica da filtração renal no nosso corpo? Nesta seção, vamos concluir nossa discussão sobre a dinâmica dos fluidos, estudando como a troca de fluidos ocorre nos rins.

Para contextualizar todo o aprendizado, vamos retomar a situação na qual você palestrou em uma instituição de ensino sobre o seguinte tema: "Aspectos biofísicos do sistema circulatório humano". Sua atuação foi marcante, empolgou os alunos e, ao final da palestra, você foi desafiado a responder a algumas perguntas. A primeira dúvida já foi esclarecida com sucesso. Você está confiante nos seus conhecimentos e pronto para responder mais dúvidas. Outro aluno, que ficou extremamente entusiasmado com todo o aprendizado obtido na sua palestra, tem a seguinte dúvida: "Por que, nos capilares do sistema circulatório humano, a pressão e a velocidade do sangue são muito baixas?".

Novamente, você está diante de um excelente questionamento. Quais conceitos você deve utilizar para responder a essa dúvida? Seus conhecimentos sobre Termodinâmica podem ajudar, não é mesmo?

Então, aproveite e dedique-se aos estudos desta seção para vencer esse desafio. Ao final, esperamos que você tenha desenvolvido uma

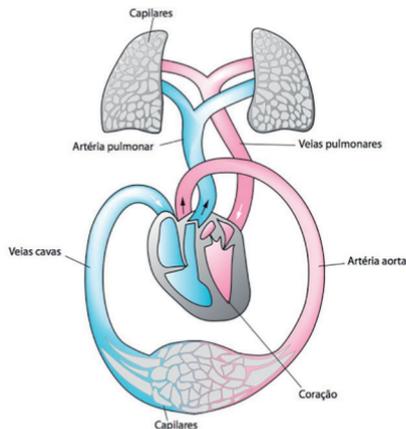
visão aprofundada sobre a termodinâmica da circulação e que tenha compreendido a dinâmica da filtração renal. Procure fixar e adquirir domínio sobre todos os conceitos aqui apresentados, pois eles são essenciais para o entendimento de muitos fenômenos biofísicos que ocorrem nos organismos vivos. Vamos começar? Bons estudos!

Não pode faltar

Nosso sistema circulatório é fechado, pois os vasos saem e retornam de uma mesma bomba – o coração. Assim, o volume que entra na bomba é o mesmo que sai dela, em determinado intervalo de tempo e, portanto, não existe nenhuma alteração de volume do fluido. Sabe-se que o fluxo do coração (que recebe o nome de débito cardíaco) é de, aproximadamente, cinco litros por minuto. Então, se a cada minuto, o coração ejeta cinco litros nos vasos, como o sistema circulatório é um circuito fechado, a cada minuto retornam os mesmos cinco litros ao coração, como explicado por Mourão Jr. e Abramov (2017).

O sistema circulatório é estruturado nesta sequência: coração → vasos arteriais → rede capilar → vasos venosos → coração, como mostra a Figura 2.5. O coração é uma estrutura muscular que atua como bomba propulsora de sangue. Vasos arteriais são vasos que saem do coração. A rede capilar são sistemas compostos por vasos muito finos, em que ocorre a troca de nutrientes entre o sangue e os tecidos. Vasos venosos são vasos que retornam ao coração, segundo Mourão Jr. e Abramov (2017).

Figura 2.5 | O sistema circulatório dos mamíferos



Fonte: Mourão Jr. e Abramov (2017, p. 64).

Para compreendermos a termodinâmica da circulação, primeiro precisamos entender sobre a energia mecânica dos fluidos. Para Mourão Jr. e Abramov (2017), a energia mecânica é composta pela energia potencial e pela energia cinética e, nos fluidos, este princípio também se aplica. Dizemos que um corpo tem energia potencial quando, em virtude de sua posição, ele tem possibilidade de entrar em movimento, como, por exemplo, uma pedra posicionada a certa altura acima do solo, uma mola esticada ou, ainda, um fluido sob pressão dentro de um continente. A energia potencial é um tipo de energia latente, ou seja, uma energia armazenada e pronta para produzir um movimento.

Como você já viu na seção anterior, no caso dos fluidos, o agente capaz de colocar um fluido em movimento é a pressão. Logo, nos fluidos, a energia potencial é representada pela pressão. Já a energia cinética é a energia que o corpo tem em virtude de seu próprio movimento. Então, quanto maior a velocidade, maior a energia cinética. Este princípio também se aplica aos fluidos. Dessa forma, nos fluidos, a energia cinética é representada pela velocidade, segundo Mourão Jr. e Abramov (2017).



Assimile

Nos fluidos, a energia potencial é representada pela pressão, e a energia cinética pela velocidade.

Na seção anterior, comprovamos que, quanto menor o raio, maior a velocidade de escoamento, caso se pretenda manter o mesmo fluxo. Vimos também que fluxo e velocidade são conceitos distintos. A partir de agora, veremos que o fator determinante para a velocidade de escoamento dos fluidos não é o calibre do vaso, mas, sim, as forças dissipativas que existem no sistema circulatório, uma vez que velocidade nada mais é do que energia cinética.

Antes de explicarmos que forças dissipativas são essas, faremos aqui um parêntese para tratarmos dos sistemas dissipativos.

À luz da Física, podemos distinguir os sistemas em conservativos e dissipativos. Em um sistema conservativo, não existe degradação da energia, ou seja, a energia total do sistema se conserva. Como sabemos, no mundo real, todos os sistemas são dissipativos e, nesses sistemas,

parte da energia “se degrada”, ou seja, se transforma em um tipo de energia (entropia) que não pode retornar ao tipo original. Em outras palavras, a cada transformação, uma parcela de energia se dissipa em calor, e, dessa forma, a energia total útil diminui ao longo do tempo.

Como explicado por Mourão Jr. e Abramov (2017), no sistema circulatório existem forças dissipativas importantes e, assim, ele se torna um modelo muito interessante para ilustrar os princípios da Termodinâmica, a ciência da energia. Quais forças dissipativas são essas? Pois bem, vamos debatê-las. Porém, é importante recordar, antes, que fluxo é movimento e, como tal, apresenta energia mecânica. Essa energia é composta por energias potencial (pressão) e cinética (velocidade). Desde a saída do sangue do coração até seu retorno a ele, a energia mecânica deveria se conservar, caso o sistema circulatório fosse um sistema conservativo. Mas, como sabemos, esse não é o caso, pois o sistema é dissipativo. Assim, a energia mecânica não se conserva, já que uma parcela da energia cinética e da energia potencial se transforma em entropia (medida do grau de desordem do sistema), em função das forças dissipativas que passamos a descrever.

Como as grandes artérias apresentam um considerável grau de elasticidade, logo ao sair do coração, a pressão do sangue é amortecida pela dilatação de tais artérias, representadas principalmente pela artéria aorta. Assim, parte da energia potencial do sangue (pressão) é transformada em energia potencial elástica nas artérias. Lembre-se de que, em um sistema dissipativo, a cada transformação de energia produzimos uma quantidade de energia que se perde em calor (entropia). Logo, as perdas se iniciam no momento em que o sangue deixa o coração, como explicado por Mourão Jr. e Abramov (2017).

Outra força dissipativa muito importante é a força de atrito. Apesar de o endotélio que reveste os vasos sanguíneos apresentar um dos coeficientes de atrito mais baixos da natureza, como a extensão total dos vasos é grande, existe dissipação de energia mecânica do sangue em função do atrito com o endotélio. Como as artérias se bifurcam, o choque da coluna de sangue com as incontáveis bifurcações também faz com que parte da energia seja dissipada, de acordo com Mourão Jr. e Abramov (2017).

Ainda existem os esfíncteres pré-capilares, que ficam na extremidade final da maioria das arteríolas. O esfíncter é a musculatura que circunda a extremidade de um vaso e, ao se contrair, produz um estreitamento importante na extremidade arteriolar, pela redução

do seu calibre, fazendo com que o volume de sangue flua de modo lento e contínuo, até chegar aos capilares.

Uma grande dissipação de energia é produzida pelo choque da coluna de sangue com o esfíncter. Em razão disso e das demais variáveis dissipativas, o sangue chega aos capilares com baixa pressão (energia potencial) e baixa velocidade (energia cinética). Como consequência, o sangue chega ao sistema venoso com baixa pressão e retorna ao coração em decorrência da pressão aspirativa produzida pela diástole dos átrios.

Interessante também o fato de que, por apresentarem uma parede muito fina, os capilares poderiam ser rompidos até mesmo com uma pressão baixa. Isso não ocorre porque o raio muito pequeno faz com que a tensão na parede capilar seja mínima (aplicação da lei de Laplace). Além disso, como a pressão em cada capilar é baixa, muito pouco do plasma vaza através dos poros capilares para os tecidos, embora os nutrientes (principalmente oxigênio e glicose) possam se difundir facilmente para as células que circundam os capilares. De fato, quase não ocorre troca de plasma (parte líquida do sangue) entre capilares e tecidos. O que é trocado entre eles são os nutrientes, e essas trocas se dão por difusão (que será discutida na próxima seção), segundo Mourão Jr. e Abramov (2017).



Assimile

Tanto a pressão quanto a velocidade nos capilares são muito baixas, em virtude das forças dissipativas presentes no sistema. A baixa velocidade nos capilares permite que haja tempo para as trocas ocorrerem com os tecidos. A baixa pressão nos capilares permite que a tensão neles não seja excessiva, protegendo-os de uma ruptura. Assim, para que um capilar cumpra bem o seu papel, o importante é que a pressão capilar e a velocidade de escoamento do sangue sejam baixas.



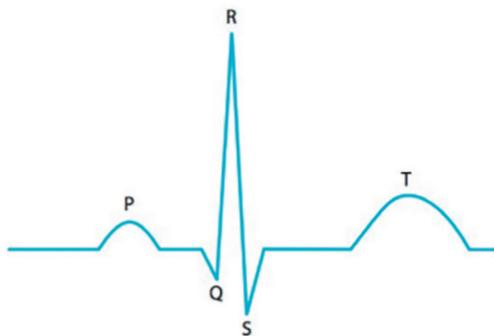
Exemplificando

Qual é a vantagem fisiológica de o sangue passar lentamente e sob baixa pressão nos capilares?

A baixa velocidade nos capilares permite que haja tempo para as trocas ocorrerem com os tecidos. A baixa pressão nos capilares permite que a tensão neles não seja excessiva, protegendo-os de uma ruptura.

Para o coração, a bomba do sistema circulatório, manter-se ativo, com energia para bombear o sangue por todo o corpo, além dos nutrientes provenientes da circulação sanguínea (oxigênio e glicose), são necessários impulsos elétricos, que serão responsáveis pela contração ritmada do músculo do coração (miocárdio). O eletrocardiograma (ECG) é um exame muito utilizado para examinar o funcionamento do coração. O ECG registra a atividade elétrica do miocárdio por meio de sinais elétricos representados por ondas. A onda *P* representa a despolarização atrial; o complexo de ondas QRS, a despolarização ventricular, e a onda *T*, a repolarização ventricular, como mostra a Figura 2.6.

Figura 2.6 | O traçado típico do ECG



Fonte: Mourão Jr. e Abramov (2017, p. 167).



Pesquise mais

Para compreender melhor os princípios e as aplicações do eletrocardiograma, assista ao vídeo disponível em:

MEDICINARESUMIDA. REUNI Biofísica 2010 – ECG – Eletrocardiograma. Disponível em:

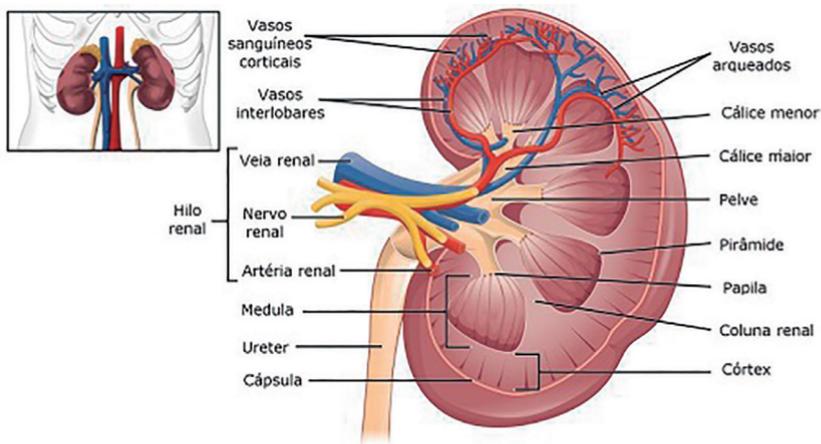
<<https://www.youtube.com/watch?v=9d6uLvzFZSw>>. Acesso em: 23 jan. 2018. **(vídeo do YouTube)**

Vamos, agora, concluir nossa discussão sobre a dinâmica dos fluidos, entendendo como ocorre a troca de fluidos nos rins. Basicamente, a filtração é um método físico de separação de misturas heterogêneas que ocorre através da passagem da mistura por um filtro, isto é, um material poroso, no qual ficam retidas as

partículas sólidas suspensas; a parte líquida ou gasosa atravessa o filtro. Assim, para ocorrer filtração, é necessário haver pressão. Um exemplo muito comum de filtração realizada no cotidiano é quando preparamos café. O coador retém as partículas sólidas do café e extrai substâncias solúveis no pó de café.

Transferindo o exemplo para nosso corpo, os rins auxiliam no controle da pressão arterial e eles têm como principal função filtrar o plasma (parte líquida do sangue) para formar a urina e, assim, excretar os dejetos presentes no sangue. Como já sabemos, o processo de filtração ocorre sob pressão. Vale ressaltar que as hemácias e as proteínas do plasma **não** são filtradas, já que são substâncias preciosas para o organismo.

Figura 2.7 | Estrutura do rim



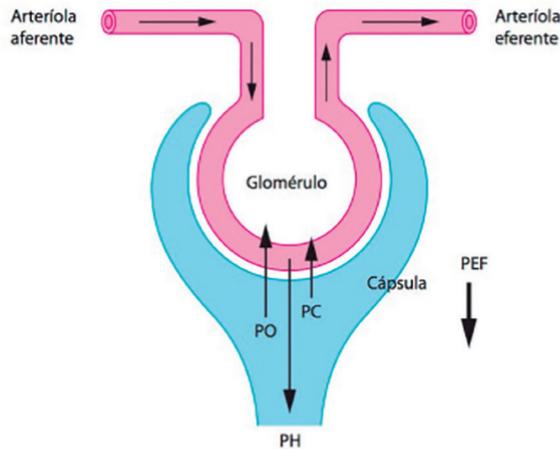
Fonte: Anatomia do corpo humano (s.d.).

O néfron é a unidade funcional do rim, pois realiza todas as funções renais. Conforme detalhado por Mourão Jr. e Abramov (2017) e como mostra a Figura 2.8, para que ocorra filtração, os vasos sanguíneos, ao chegarem aos néfrons, formam uma rede capilar enovelada que denominamos glomérulo (rede de capilares localizada nos rins, na qual ocorre a filtração). A pressão existente no glomérulo é a pressão hidrostática do sangue, que tende a acelerar o filtrado para fora (em direção à cápsula de Bowman, que é a porção inicial do néfron e recebe o líquido filtrado). A pressão hidrostática é a pressão que o sangue exerce na parede dos vasos, como já vimos na seção anterior.

Note que, se houvesse apenas a presença da pressão hidrostática, haveria um grande edema contínuo, com perda constante de líquido em direção à cápsula de Bowman. Assim, curiosamente, opondo-se à filtração, existem duas pressões: a pressão oncótica no glomérulo, determinada pelas proteínas ali existentes, e a pressão hidrostática na cápsula de Bowman (pressão capsular), que aumenta à medida que o filtrado se acumula na cápsula. Dessa forma, para que ocorra a filtração, a pressão dos capilares dos glomérulos deve ser maior do que a pressão dentro do túbulo. Essa diferença de pressão é chamada pressão efetiva de filtração (PEF), determinada pela aritmética entre a pressão hidrostática do glomérulo (PH), a pressão oncótica (PO) e a pressão capsular (PC), da seguinte maneira:

$$PEF = PH - (PO + PC)$$

Figura 2.8 | Determinantes da pressão efetiva de filtração no glomérulo



Fonte: Mourão Jr. e Abramov (2017, p. 71).



Assimile

Resumindo, podemos considerar que:

- Pressão hidrostática capilar glomerular (PH) → favorece a filtração.
- Pressão hidrostática capsular (PC) → opõe-se à filtração.
- Pressão oncótica do capilar glomerular (PO) → opõe-se à filtração.

Sob condições normais, a PEF varia de 20 a 50 mmHg. A taxa de filtração glomerular (TFG) normalmente atinge 130 mL/min (180 litros em 24 horas), sendo excretado apenas 1,5 a 2 litros de urina por dia.

É interessante sabermos que as proteínas presentes no plasma do sangue geram uma pressão chamada de pressão oncótica. Essas proteínas exercem significativa pressão osmótica sobre as paredes dos capilares sanguíneos saudáveis em direção ao sangue, pois, normalmente, não conseguem atravessá-las e, dessa forma, equilibram parcialmente a quantidade de líquido que sai dos capilares por pressão hidrostática.



Refleta

O que pode acontecer se os rins falharem? No caso de insuficiência renal, é preciso filtrar o sangue artificialmente por meio de um processo denominado diálise. Você sabe como ele funciona?

Sem medo de errar

Agora, vamos retomar a situação na qual você palestrou em uma instituição de ensino sobre o seguinte tema: "Aspectos biofísicos do sistema circulatório humano". Sua atuação foi marcante, empolgou os alunos e, ao final da palestra, você foi desafiado a responder a algumas perguntas. A primeira dúvida já foi esclarecida com sucesso. Você está confiante nos seus conhecimentos e pronto para responder a mais dúvidas. Outro aluno, que ficou extremamente entusiasmado com todo o aprendizado obtido na sua palestra, tem a seguinte dúvida: "Por que, nos capilares do sistema circulatório humano, a pressão e a velocidade do sangue são muito baixas?"

Novamente, você está diante de um excelente questionamento. Quais conceitos você deve utilizar para responder a essa dúvida? Seus conhecimentos sobre Termodinâmica podem ajudar, não é mesmo?

Como sabemos, o sistema circulatório é dissipativo. Isso significa que, durante a circulação do sangue pelo nosso corpo, a energia mecânica do fluido **não** se conserva, já que uma parcela, tanto da energia cinética quanto da energia potencial, se transforma em entropia, em função das forças dissipativas.

Devemos lembrar que, nos fluidos, a energia potencial é representada pela pressão, e a energia cinética pela velocidade. Dessa forma, durante o percurso pelo corpo, o sangue perde velocidade e pressão, principalmente, devido:

- à elasticidade das artérias;
- ao atrito com o endotélio;
- ao choque da coluna de sangue com as incontáveis bifurcações;
- à existência dos esfíncteres pré-capilares.

Em resumo, todos os fatores relacionados são considerados variáveis dissipativas, ou seja, são responsáveis por dissipar parte da energia mecânica do sangue em outra forma de energia. Assim, o sangue começa a perder energia logo após sair do coração e continua perdendo durante todo o processo de circulação, de tal forma que, chegando aos capilares, a pressão e a velocidade são muito baixas.

Ótimo trabalho! Você venceu mais esse desafio com sucesso. Perceba que os conceitos de Termodinâmica nos tornam capazes de compreender o perfeito funcionamento do nosso sistema circulatório. O que parece mágica, na realidade, é Física, não é mesmo? Estamos, cada vez mais, desvendando os mistérios do nosso corpo. Vamos continuar essa aventura!

Avançando na prática

Alterações na dinâmica da filtração renal

Descrição da situação-problema

Às vésperas da prova de Física e Biofísica, você e seu colega se encontram para estudar e discutir os assuntos aprendidos na disciplina. Durante o estudo sobre a dinâmica da filtração renal, seu colega levanta o seguinte questionamento: "O que poderia alterar a dinâmica da filtração, provocando, por exemplo, um quadro de insuficiência renal?" Será que você consegue ajudar seu colega a resolver essa dúvida?

Resolução da situação-problema

Para ajudar a esclarecer a dúvida do seu colega, você explica que os fatores determinantes da filtração renal são a pressão hidrostática (PH),

que é a pressão que o sangue exerce na parede dos vasos, a pressão oncótica no glomérulo (PO), determinada pelas proteínas existentes, e a pressão hidrostática na cápsula de Bowman (pressão capsular ou PC), que aumenta à medida que o filtrado se acumula na cápsula.

Essas pressões determinam a pressão efetiva de filtração (PEF) da seguinte maneira:

$$PEF = PH - (PO + PC)$$

Assim, quaisquer fatores que possam modificar as pressões PH, PO e PC podem, conseqüentemente, alterar a dinâmica da filtração renal.

Os quadros de hipertensão ou hipotensão, por exemplo, influenciam na PH, sendo, portanto, uma possível causa de débito renal.

Podemos pensar também que um aumento excessivo na produção de proteínas pode aumentar a PO, possivelmente afetando a filtração renal. Um quadro de leucemia, por exemplo, acarreta o aumento da produção de proteínas, podendo levar à insuficiência renal.

O aumento na PC também pode ocasionar alterações na filtração renal. A existência de pedras nos rins aumenta a PC e, dessa forma, pode ser mais uma possível causa de insuficiência renal.

Faça valer a pena

1. Para compreendermos a termodinâmica da circulação, precisamos entender sobre a energia mecânica dos fluidos. A energia mecânica é composta pela energia potencial e pela energia cinética e, nos fluidos, este princípio também se aplica. A energia potencial é um tipo de energia latente, ou seja, uma energia armazenada e pronta para produzir um movimento. Já a energia cinética é a energia que o corpo tem em virtude de seu próprio movimento.

Considere a frase a seguir:

Nos fluidos, a energia potencial é representada pela(o) _____, e a energia cinética pela(o) _____.

Marque a alternativa que completa corretamente as lacunas da frase anterior.

a) velocidade; pressão.

d) velocidade; fluxo.

b) pressão; velocidade.

e) viscosidade; fluxo.

c) fluxo; velocidade.

2. Analise cada afirmação a seguir como **verdadeira (V)** ou **falsa (F)**.

I. O sistema circulatório é fechado e conservativo.

II. Devido às variáveis dissipativas presentes no sistema circulatório, o sangue chega aos capilares com alta velocidade e baixa pressão.

III. Alguns exemplos de variáveis dissipativas no sistema circulatório são: a elasticidade das artérias e a existência dos esfíncteres pré-capilares.

Marque a alternativa correta.

a) I-V; II-V; III-V.

b) I-V; II-V; III-F.

c) I-F; II-V; III-F.

d) I-F; II-F; III-V.

e) I-F; II-F; III-F.

3. Basicamente, a filtração é um método físico de separação de misturas heterogêneas que ocorre através da passagem da mistura por um filtro, isto é, um material poroso no qual ficam retidas as partículas sólidas suspensas; a parte líquida ou gasosa atravessa o filtro. Assim, para ocorrer filtração, é necessário haver pressão. Nossos rins têm como principal função filtrar o plasma (parte líquida do sangue) para formar a urina. Mas, para que ocorra a filtração renal, é necessário haver uma diferença de pressão efetiva de filtração (PEF).

Considerando a dinâmica da filtração renal e a PEF, podemos afirmar:

a) A pressão hidrostática do glomérulo (PH), a pressão oncótica (PO) e a pressão capsular (PC) são determinantes da PEF.

b) A pressão oncótica (PO) e a pressão capsular (PC) favorecem a filtração.

c) Para ocorrer a filtração, a pressão hidrostática do glomérulo (PH) deve ser menor do que a pressão oncótica (PO) e a pressão capsular (PC).

d) A PEF é igual ao somatório da pressão hidrostática do glomérulo (PH) com a pressão oncótica (PO) e a pressão capsular (PC).

e) A filtração renal se deve apenas à pressão existente no glomérulo, que é a pressão hidrostática que o sangue exerce na parede dos vasos.

Seção 2.3

Biofísica das soluções

Diálogo aberto

Você sabia que a água representa cerca de 60% do peso de um adulto? Logo, podemos imaginar que a água exerce atividades essenciais para garantir o bom funcionamento e o equilíbrio do corpo humano, não é mesmo? Ela faz parte da composição de nossas células, tecidos e órgãos, sendo o elemento mais importante do corpo e um solvente biológico universal. Por isso, todas as reações físico-químicas celulares dependem da água e são estudadas por meio dos conceitos fundamentais de soluções.

Como se caracterizam as soluções dentro no nosso corpo? Quais as suas propriedades? Por que elas são importantes e como elas interagem entre si?

Compreender a importância da água no nosso organismo, pelo entendimento da biofísica das soluções, será o objetivo desta seção de estudo.

No intuito de aplicar os conceitos aprendidos, vamos, novamente, retomar a situação na qual você palestrou, em uma instituição de ensino, sobre o tema “Aspectos biofísicos do sistema circulatório humano”. A essa altura, os participantes estão completamente imersos no tema da palestra e muito admirados com o seu conhecimento, afinal, a biofísica do corpo humano é um universo mágico e você sabe que por trás de toda essa magia existem as explicações físicas.

Antes de encerrar, você permite o esclarecimento de mais uma dúvida. Então, outro participante que ficou atento à palestra do início ao fim pergunta: “O sangue é uma solução ou uma suspensão? E o plasma?”

A biofísica das soluções foi o último tema tratado por você na palestra. Então, quais conceitos sobre soluções você deve usar

para esclarecer a dúvida? O que difere o sangue do plasma? Existe diferença de fato? Qual?

Conhecer os conceitos, as definições e a biofísica das soluções é fundamental para que você possa vencer esse último desafio. Não perca a oportunidade de mergulhar nos estudos e reunir todas as informações importantes que o levarão ao êxito. Bons estudos!

Não pode faltar

Você já deve ter ouvido falar em solução e suspensão. Dizemos que **suspensão** é uma mistura heterogênea, enquanto **solução** é uma mistura homogênea de substâncias. Ambas, suspensão e solução, são misturas. Mistura, por sua vez, é a reunião de duas ou mais substâncias diferentes em um mesmo meio e podem ser classificadas como homogênea ou heterogênea. **Mistura homogênea** é aquela cujos componentes não podem ser identificados, pois não podem ser fisicamente separados, mantendo a sua integridade original. Já a **mistura heterogênea** é caracterizada por ser aquela na qual conseguimos identificar visualmente os elementos, ou seja, os componentes podem ser separados fisicamente, mantendo a sua integridade original.



Assimile

Suspensão é uma mistura heterogênea, enquanto solução é uma mistura homogênea de substâncias.

O sangue, por exemplo, é uma suspensão (mistura heterogênea) de plasma e células. Essa mistura pode ser decomposta por decantação, a qual pode ser acelerada por meio de uma centrífuga. O plasma sanguíneo é uma solução de substâncias em um meio aquoso. Por mais que centrifuguemos o plasma, não conseguiremos separar, por exemplo, a albumina do restante. Podemos, então, definir que solução é uma mistura cujos componentes estão tão intimamente associados, que somente um processo que altere o estado original deles poderá decompor a mistura, segundo Mourão Jr. e Abramov (2017).



As misturas gasosas como o ar, por exemplo, são soluções ou suspensões? E a mistura de gás em água?

Para compreender as soluções, precisamos abordar três conceitos fundamentais:

- **Dissolução:** processo de formação de uma solução.
- **Solvente:** substância que promove a dissolução, ou seja, que determina ativamente a existência da solução.
- **Soluto:** substância que sofre a dissolução do solvente.

Para que uma substância possa ser um solvente, ela precisa ter afinidade química com o soluto. Em outras palavras, dizemos que “igual dissolve igual”. A água é considerada o solvente universal e, por isso, ela é tão abundante na natureza e nos organismos vivos.

As soluções podem ser divididas em dois tipos: as **oleosas** e as **aquosas** e, podemos, ainda, classificá-las em soluções interativas (aquosas) e difusivas (oleosas e gasosas).

Como explicado por Mourão Jr. e Abramov (2017), **solução difusiva** é toda aquela em que os seus componentes interagem entre si, apenas transferindo energia cinética, misturando-se por difusão. As soluções difusivas são determinadas pelo calor e não apenas pelas interações moleculares. **Solução interativa** é toda solução cujos componentes interagem quimicamente entre si.



A solução de água e sal é difusiva ou interativa?

O sal, inicialmente sólido, muda sua natureza quando interage com a água para formar uma solução, mesmo sem um aquecimento da mistura que justifique a mudança de fase do sal por um processo termodinâmico. Sem mudança de temperatura (sem acréscimo de energia), o retículo cristalino, estável e organizado, é destruído pela água; ou seja, uma importante interação química acontece, logo, a solução de água e sal é interativa.

Contudo, ainda que o calor não seja um fator determinante para essa solução, ele também a influencia, uma vez que o sal se dissolve de modo mais rápido na água quente.



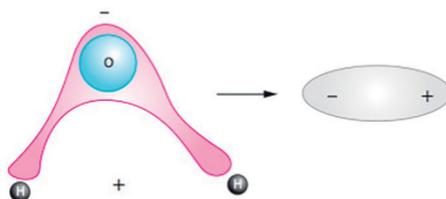
Assimile

A presença de energia (calor) é determinante para as soluções difusivas, enquanto a afinidade química é determinante para as soluções interativas.

É importante ressaltar que também acontecem processos termodinâmicos em todas as soluções interativas, o que é muito importante para o comportamento dessas soluções nos sistemas biológicos. A maioria das soluções é interativa.

A água, como já mencionado, é popularmente conhecida como solvente universal e é o melhor e mais abundante solvente que existe no universo para formar soluções interativas. Essa característica deve-se à sua estrutura molecular, como mostrada na Figura 2.9.

Figura 2.9 | Modelo da molécula de água como dipolo



Fonte: Mourão Jr. e Abramov (2017, p. 80).

Observe na Figura 2.9 que a geometria da molécula de água (H_2O) permite a configuração de um poderoso dipolo elétrico. **É importante frisar que a molécula de água não tem carga elétrica, não é um íon.** Os prótons (cargas positivas) e os elétrons (cargas negativas) se distribuem de modo desigual ao longo da molécula, permitindo, assim, que parte dela manifeste uma força elétrica positiva (onde se encontram os átomos de hidrogênio) e a outra parte manifeste uma força elétrica negativa (onde se encontra o oxigênio). As moléculas de água interagem entre si por meio de forças de atrações muito intensas, constituindo as famosas pontes ou ligações de hidrogênio.

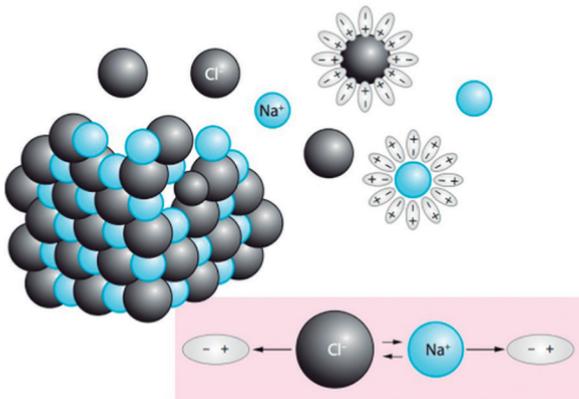


Como o sal de cozinha ou cloreto de sódio (NaCl) se dissolve na água?

O sal de cozinha é o nome usual do cloreto de sódio, que é um sal cristalino formado por átomos de sódio (Na^+) e cloro (Cl^-). Nesse cristal, esses átomos são dispostos intercaladamente, de modo que cada cátion de sódio é cercado por ânions de cloreto e vice-versa, formando um retículo cristalino.

Quando colocamos um cristal de cloreto de sódio na água, sabemos que o sal se dissolve, ou seja, esse retículo é desfeito. Os íons em questão se dissolvem na água. A força da ponte de hidrogênio contida na água é tão intensa que destrói um cristal. Para se ter uma ideia, a água precisaria estar a **800 °C** para as pontes de hidrogênio serem desfeitas. Sabemos que a molécula de água tem uma polaridade, ou seja, uma parte positiva e outra negativa. Pois bem, a parte positiva da água atrai os cloretos para si própria, e a parte negativa atrai o sódio, como mostra a Figura 2.10.

Figura 2.10 | Dissolução do sal na água

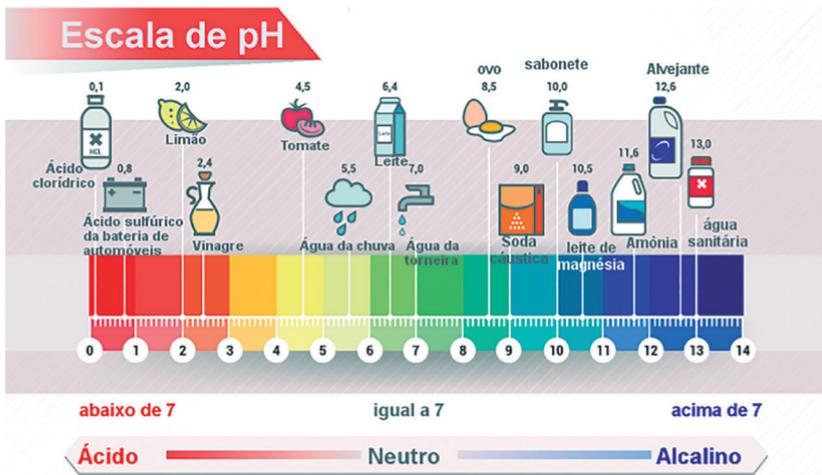


Fonte: Mourão Jr. e Abramov (2017, p. 82).

As soluções aquosas podem ser ácidas, básicas (alcalinas) ou neutras. As pontes de hidrogênio da água interagem com a molécula quebrando suas ligações químicas e formando verdadeiros íons. Se a maior quantidade de íons liberados for H^+ , há uma solução ácida. Se for o OH^- , temos uma solução básica. Se a quantidade desses íons for igual, há uma solução neutra. Podemos, ainda, caracterizar

as soluções como ácidas, básicas e neutras pela quantificação do pH, como mostra a Figura 2.11.

Figura 2.11 | Escala de pH



Fonte: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/conceito-ph-poh.htm>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

O sangue humano é uma solução praticamente neutra (pH próximo de 7,4). Pequenas variações no pH do sangue podem trazer graves consequências ao ser humano. Portanto, a manutenção do pH do sangue é um fator muito importante para o bom funcionamento do nosso organismo. Isso só é possível devido à existência das chamadas soluções-tampão que atenuam a variação dos valores de pH, mantendo-os aproximadamente constantes, mesmo com a adição de pequenas quantidades de ácidos ou bases.



Pesquise mais

Em estudos relacionados às Ciências Biológicas, é muito importante o conceito de solução-tampão, pois os fluidos biológicos são, em geral, meios aquosos tamponados. Aprofunde seus conhecimentos e entenda mais sobre soluções-tampão. Leia o artigo a seguir:

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL. Departamento de Física e Química. NAEQ – Núcleo de Apoio ao ensino da Química. **Textos interativos.** Disponível em: <<http://mecdb3.c3sl.ufpr.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4452/NAEQ%20-%20Textos%20I%20...%20C3%A1cido-base%20no%20sangue.htm?sequence=1>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

Em resumo, a água exerce um importante e fundamental papel na regulação do funcionamento do corpo humano, devido à sua propriedade de dissolver substâncias. Ela é capaz de dissolver minerais, vitaminas, aminoácidos, entre outras moléculas, deixando-as disponíveis para a célula e proporcionando um meio ideal para que as reações químicas aconteçam. Ainda é responsável por dissolver e descartar produtos que devem ser eliminados.

Conforme já abordamos nas seções anteriores, os fluidos mantêm uma independência cinética relativa entre suas partículas. Logo, quando consideramos uma solução de água e sódio, por exemplo, devemos pensar que essas partículas, apesar de interagirem, apresentam uma relativa independência cinética entre si. Então, a água pode ir para um lado, e o sódio para o outro, conforme Mourão Jr. e Abramov (2017).

Existem fenômenos dinâmicos específicos para as soluções, dada a relativa independência cinética entre os solutos e o solvente. Esses fenômenos são conhecidos como difusão e osmose.

Difusão é a tendência de um soluto se espalhar homogeneamente pelo solvente. É um transporte passivo, lento, no qual as moléculas do soluto **passam do local de maior para o de menor concentração, até atingir o equilíbrio**. Certas substâncias, como glicose, aminoácidos, vitaminas, entram nas células pelo processo de difusão e, portanto, sem gasto de energia.



Assimile

A **difusão** é um processo de transporte passivo, em resposta ao gradiente de concentração do soluto, que ocorre sem gasto de energia em sistemas que buscam o equilíbrio.

Do ponto de vista termodinâmico, **difusão** é o deslocamento de uma partícula com grande energia cinética a regiões de menor energia, até que o sistema se estabilize. Do ponto de vista mecânico, que é o mais utilizado para responder a questões sobre processos biológicos, em um processo de difusão, a trajetória da partícula é no sentido de sair da região de máxima concentração de soluto, segundo Mourão Jr. e Abramov (2017).

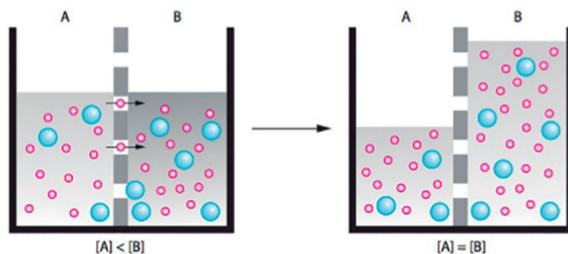
Caso um soluto esteja impossibilitado de se difundir ao longo da solução até que ela se torne homogênea, os processos termodinâmicos continuam atuando, levando a água até onde está o soluto, na tentativa de atingir o equilíbrio. Esse fenômeno é conhecido como **osmose**, que é a difusão do solvente. Podemos pensar que osmose é a passagem de água do meio menos concentrado (hipotônico) para o meio mais concentrado (hipertônico), até que o equilíbrio seja atingido (solução isotônica).



Exemplificando

Um experimento clássico demonstra perfeitamente a osmose a partir de duas câmaras preenchidas por um mesmo volume de soluções com concentrações diferentes de solutos, separadas por uma membrana semipermeável (permite apenas a passagem de água), como mostra a Figura 2.12. Sendo a câmara B mais concentrada (possui mais soluto) do que A, o que ocorre com o passar do tempo?

Figura 2.12 | Osmose



Fonte: Mourão Jr. e Abramov (2017, p. 87).

O que se observa ao longo do tempo é a passagem de água (solvente) da câmara de menor concentração (câmara A) para a câmara de maior concentração de soluto (câmara B), até que o equilíbrio seja atingido. Isso fica visível, pois os volumes das câmaras se alteram.

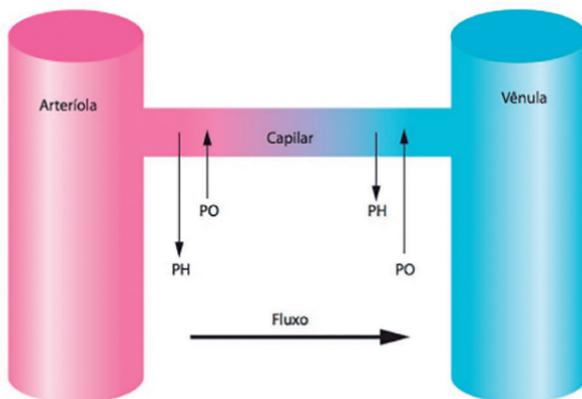
Esses conceitos de difusão e osmose são importantes para compreendermos o que ocorre em nível celular no organismo humano.

Como explicado por Mourão Jr. e Abramov (2017), para manter seu metabolismo de maneira adequada, as células necessitam de oxigênio e glicose, que são solutos que chegam pelos capilares arteriais. Do mesmo modo, os capilares venosos têm de remover

o excesso de dióxido de carbono produzido pelas células no processo metabólico. A pressão hidrostática (PH) é maior do que a pressão oncótica (PO) na extremidade arterial do capilar, criando uma pressão efetiva que tende a levar água do plasma em direção aos tecidos. Por outro lado, na extremidade venosa do capilar, a PO supera a PH, tendendo a reabsorver os líquidos dos tecidos em direção ao capilar. Isso ocorre porque a PH diminui ao longo do trajeto do fluxo capilar, enquanto a PO aumenta. Mas, por que isso ocorre? Ao longo do trajeto do fluxo do capilar, a PH diminui, uma vez que há saída de água do capilar em direção ao tecido. Por esse mesmo motivo, o plasma no interior do capilar fica mais concentrado, e a PO aumenta (Figura 2.13).

Porém, é muito importante ressaltar que, apesar de essas pressões poderem determinar o movimento de água entre os capilares e os tecidos, elas não são importantes para a troca de solutos (O_2 , CO_2 e glicose), uma vez que essa troca ocorre por difusão, obedecendo, portanto, a um gradiente de concentração. O fenômeno que ocorre nos capilares e que é decisivo para a difusão dos solutos é o fato de que, nos capilares, a velocidade do fluxo é muito baixa (conforme já foi discutido na seção anterior). Assim, como o fluxo é lento, existe tempo disponível para que a difusão ocorra. Quanto mais lento é o fluxo, mais eficiente é o processo de difusão. A pressão é decisiva para o deslocamento de solventes, enquanto a velocidade é decisiva para a difusão de solutos, conforme Mourão Jr. e Abramov (2017).

Figura 2.13 | Dinâmica das pressões que atuam nas trocas capilares



Fonte: Mourão Jr. e Abramov (2017, p. 94).

Sem medo de errar

No intuito de aplicar os conceitos aprendidos, vamos, novamente, retomar a situação na qual você palestrou, em uma instituição de ensino, sobre “Aspectos biofísicos do sistema circulatório humano”. A essa altura os participantes estão completamente imersos no tema da palestra e muito admirados com seu conhecimento, afinal, a biofísica do corpo humano é um universo mágico, e você sabe que por trás de toda essa magia existem as explicações físicas. Antes de encerrar, você permite o esclarecimento de mais uma dúvida. Então, outro participante que ficou atento à palestra do início ao fim pergunta: “O sangue é uma solução ou uma suspensão? E o plasma?”

A biofísica das soluções foi o último tema tratado por você na palestra. Então, quais conceitos sobre soluções você deve usar para esclarecer a dúvida? O que difere o sangue do plasma? Existe diferença, de fato? Qual?

No decorrer dos estudos sobre a biofísica das soluções, vimos que suspensão é uma mistura heterogênea, enquanto solução é uma mistura homogênea de substâncias. A **mistura homogênea** é a aquela cujos componentes não podem ser identificados, pois não podem ser fisicamente separados, mantendo a sua integridade original. Já a **mistura heterogênea** é caracterizada por ser aquela na qual conseguimos identificar visualmente os elementos, ou seja, os componentes podem ser separados fisicamente, mantendo a sua integridade original.

O sangue é uma suspensão (mistura heterogênea) de plasma e células (hemácias, leucócitos, plaquetas etc.). Essa mistura pode ser decomposta por decantação, pela aceleração por meio de uma centrífuga, o que não altera a integridade original dos componentes.

Já o plasma sanguíneo é a parte líquida do sangue, sendo uma solução de substâncias em um meio aquoso. Por mais que centrifuguemos o plasma, não conseguiremos separar seus componentes. Para tal, precisamos utilizar um processo físico que corrompa a integridade original dos componentes da solução, como, por exemplo, a liofilização.

Portanto, em resumo, o sangue é uma suspensão, e o plasma, uma solução.

Parabéns! Você respondeu a todas as dúvidas com êxito e demonstrou muito conhecimento e domínio sobre a biofísica dos fluidos e soluções. Não deixe de se dedicar ao autoestudo desta disciplina, para continuar a entender os fenômenos que ocorrem em nosso corpo. Você já é capaz de explicar muitos fenômenos biológicos por meio de conceitos físico-químicos, e isso é sensacional, não é mesmo? Então, vá em frente!

Avançando na prática

Ajuda dos universitários

Descrição da situação-problema

Seu colega está em um programa de televisão de perguntas e respostas, concorrendo a um prêmio milionário. Ele está evoluindo muito bem e está prestes a conquistar o prêmio final. A última questão é a seguinte: Uma célula, com membrana permeável, possui em seu interior 80% de um soluto X. O meio externo está com 20% deste soluto. Com o passar do tempo, em termos qualitativos e quantitativos, o que vai acontecer com o soluto?

Felizmente, seu colega ainda possui uma ajuda para utilizar. Ele pode ligar para uma pessoa de confiança que possa ajudá-lo a responder a essa questão. Você, por estudar Biofísica com muita dedicação, é o escolhido para auxiliar seu colega nesse desafio. E agora? Será que você consegue ajudar seu colega a ganhar o prêmio milionário? Como você responderia a essa questão?

Resolução da situação-problema

A membrana permeável possibilita a passagem do soluto entre os meios. Assim, com o passar do tempo, ocorrerá o processo conhecido por difusão, que é a tendência de um soluto se espalhar homogeneamente pelo solvente. É um transporte passivo, lento, no qual as moléculas do soluto passam do local de maior para o de menor concentração, até atingir o equilíbrio.

Logo, considerando a situação da questão, o soluto vai passar do interior da célula para o meio externo, até o equilíbrio, ou seja, até que os dois meios tenham 50% de soluto. Em termos quantitativos, significa que 30% de soluto deve passar do interior da célula para o meio externo e, assim, os dois meios ficarão com 50% do soluto.

Faça valer a pena

1. Considere as afirmações a seguir:

- I. A água é um solvente universal.
- II. Solvente é a substância que promove a dissolução, ou seja, que determina ativamente a existência da solução.
- III. A geometria da molécula de água (H_2O) permite a configuração de um poderoso dipolo elétrico.

São verdadeiras as afirmações:

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas III.
- d) Apenas I e II.
- e) I, II e III.

2. Considere a frase a seguir:

A presença de energia (calor) é determinante para as soluções _____, enquanto a afinidade química é determinante para as soluções _____. Portanto, uma solução de cloreto de sódio (sal de cozinha) é uma solução _____.

Assinale a alternativa que completa corretamente a frase dada.

- a) difusivas; interativas; interativa.
- b) interativas; difusivas; difusiva.
- c) difusivas; interativas; difusiva.
- d) homogêneas; heterogêneas; homogênea.
- e) heterogêneas; homogêneas; heterogênea.

3. Considere as opções a seguir:

A - Transporte passivo, lento, no qual as moléculas do soluto passam do local de maior para o de menor concentração, até atingir o equilíbrio.

B - Processo no qual a água vai até onde está o soluto, na tentativa de atingir o equilíbrio, ou seja, ocorre a passagem de água do meio menos concentrado (hipotônico) para o meio mais concentrado (hipertônico), até que o equilíbrio seja atingido (solução isotônica).

C - Essas soluções atenuam a variação dos valores de pH, mantendo-os aproximadamente constantes, mesmo com a adição de pequenas quantidades de ácidos ou bases.

I. Osmose.

II. Difusão.

III. Solução-tampão.

Marque a alternativa que correlaciona corretamente as opções apresentadas.

a) I-A; II-B; III-C.

d) I-A; II-C; III-B.

b) I-B; II-A; III-C.

e) I-B; II-C; III-A.

c) I-C; II-B; III-A.

Referências

ANATOMIA DO CORPO HUMANO. Rins – Estrutura, onde fica, funções e funcionamento – Anatomia. (s.d.). Disponível em: <<http://www.anatomiadocorpo.com/sistema-urinario/rins/>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA J. M. **Mecânica dos fluidos**: fundamentos e aplicações. 3. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2015.

COMPRI-NARDY, M. B.; STELLA, M. B.; OLIVEIRA, C. **Práticas de laboratório de Bioquímica e Biofísica** – Uma visão integrada. São Paulo: Guanabara Koogan, 2009.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física 2**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 2003. v. 2.

KNIGHT, R. D. **Física**: uma abordagem estratégica. 2. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora, 2009. v. 2.

MOURÃO JR., C. A.; ABRAMOV, D. M. **Biofísica essencial**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.

Biofísica dos sistemas

Convite ao estudo

Você já deve ter percebido que o corpo humano é uma máquina extraordinária e sua complexidade é impressionante. Para facilitar os estudos e aprofundar nosso conhecimento, podemos dividir o organismo em partes: os sistemas biológicos. Cada sistema é composto de órgãos, células peculiares e especializadas em desempenhar determinadas atividades que deverão garantir o bom funcionamento do corpo como um todo. Nas seções anteriores, já estudamos os sistemas circulatório e renal. Nesta unidade, vamos desvendar os mistérios da respiração, visão e audição, estudando a biofísica envolvida nesses sistemas.

Compreender algumas peculiaridades das células e membranas também será importante. Você sabia que os seres humanos são verdadeiras usinas elétricas? A maioria dos fenômenos biológicos que ocorrem em nosso corpo utiliza eletricidade. Como ocorre a geração da bioeletricidade em nosso organismo e qual é sua importância? Quais são os principais íons responsáveis pela existência da eletricidade em nossas células? Como a Física explica os fenômenos envolvidos na respiração, visão e audição?

As leis que regem a Física são completamente aplicáveis ao estudo dos seres vivos no que diz respeito à compreensão do funcionamento dos sistemas biológicos. No decorrer da nossa jornada, estamos vendo, claramente, que os fenômenos biológicos ocorrem em concordância com os preceitos físicos. Como exemplo, podemos pensar que é fundamental entender o comportamento físico do gás ao estudar o processo de respiração, afinal, o gás oxigênio,

essencial para a nossa existência, se comporta, sob a ação das leis universais, seja na atmosfera, seja no interior dos nossos pulmões. Nesta unidade de estudos, vamos adentrar nesses temas e desvendar uma nova área.

Será apresentada uma situação-problema para colocar em prática o aprendizado. Você tem se destacado por apresentar um desempenho exemplar nas aulas de Física e Biofísica. Seus colegas o admiram pela sua dedicação nos estudos e, ainda, você gosta de resumir aquilo que aprende por meio de diagramas. Os diagramas são ferramentas didáticas ótimas para estabelecer sequências lógicas.

Dessa forma, você foi desafiado a elaborar diagramas (esquemas) que sejam didáticos, de fácil entendimento, e que serão disponibilizados para seus colegas, no intuito de auxiliá-los no estudo da Biofísica. O desafio será dividido em etapas e em cada uma você será convidado a esquematizar processos relacionados a potenciais artificiais e biológicos, biofísica da respiração, biofísica da visão e audição.

A partir de agora, convido você, aluno, a mergulhar no universo da Biofísica dos Sistemas e, no decorrer dos estudos, você certamente aprenderá novas e enriquecedoras informações que levará para toda a sua vida profissional. Ao final, você certamente terá todo o conhecimento necessário para enfrentar o desafio exposto. Então, mãos à obra? Será um desafio e tanto. Boa sorte!

Seção 3.1

Potenciais artificiais e biológicos

Diálogo aberto

Todas as células funcionam como pilhas elétricas. Essa comparação é possível porque existe uma tensão elétrica entre os meios intra e extracelulares, devido à diferença na concentração de íons dentro e fora das células. A membrana celular possui um papel fundamental no controle desses íons e os fenômenos utilizados são essenciais para funções como contração muscular, processamento de informações pelos neurônios, transporte de substâncias nos túbulos renais e na mucosa do trato digestório.

Dessa forma, nesta seção vamos iniciar o entendimento da bioeletricidade, explicando como uma célula é capaz de manifestar fenômenos de natureza elétrica. Em nosso estudo, abordaremos os princípios relacionados aos potenciais artificiais e estenderemos nossa discussão para que possamos, de maneira análoga, compreender os potenciais biológicos.

Para testar os conhecimentos adquiridos, vamos retomar a situação na qual você foi desafiado a elaborar diagramas (esquemas) que sejam didáticos, de fácil entendimento e que serão disponibilizados para seus colegas, no intuito de auxiliá-los no estudo da Biofísica. Após estudar sobre potenciais artificiais e biológicos, você adquiriu conhecimento sobre o fenômeno da bioeletricidade, entendeu como a célula é capaz de produzir fenômenos elétricos e compreendeu o balanço entre força de difusão e força elétrica.

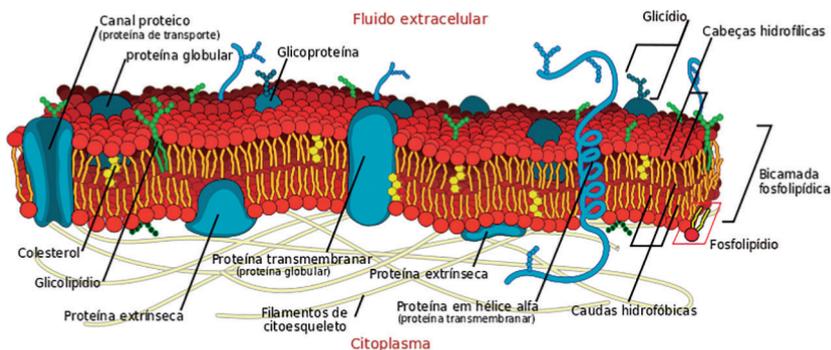
Para firmar seu aprendizado e, ao mesmo tempo, auxiliar seus colegas a compreenderem alguns dos assuntos abordados, você foi desafiado a elaborar um diagrama que demonstre a força de difusão e a força elétrica do potássio, em uma membrana em repouso, e a sistematizar os eventos que causam o potencial de repouso. O que você deve levar em consideração na elaboração desse diagrama? Quais informações são realmente importantes? Isso é bastante desafiador! Então, mãos à obra!

Não pode faltar

Caro estudante, você se lembra de como funciona uma pilha? Em uma pilha convencional, ocorre a passagem de elétrons entre os polos através de materiais condutores (metais). Em um meio metálico condutor, os elétrons se movimentam livremente, saltando entre os átomos do metal. Nossas células podem ser comparadas às pilhas, pois existe uma diferença de potencial elétrico (DDP) – uma tensão elétrica – devido à diferença na concentração de íons dentro e fora das células.

Isso ocorre porque a membrana plasmática limita o meio interno celular (Figura 3.1) e exerce a sua principal função por meio da característica conhecida como **permeabilidade seletiva**, ou seja, a membrana é responsável por determinar quais substâncias devem entrar na célula e sair dela.

Figura 3.1 | Membrana celular



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cell_membrane_detailed_diagram_pt.svg>. Acesso em: 2 fev. 2018.

Porém, como explicado por Mourão Júnior e Abramov (2017), entre as superfícies interna e externa da membrana celular não existem metais como nas pilhas, mas uma solução eletrolítica, composta de água (solvente) e íons (soluto). Assim, nas células, a corrente elétrica flui por meio dos íons dessa solução. Lembre-se de que existem íons em que sobram elétrons, chamados de **ânions** ou **íons negativos**, e há íons em que faltam elétrons (e sobram prótons positivos), chamados de **cátions** ou **íons positivos**. Devido às características da membrana, o interior de praticamente todas as células é negativo por conta do excesso de cátions de sódio (Na^+) no meio externo.

As substâncias podem ser transportadas para dentro ou fora da célula por meio de dois tipos de transporte: ativo e passivo. Como já vimos, a **difusão** é um tipo de **transporte passivo** (sem gasto de energia), pois ocorre obedecendo ao gradiente de concentração. Existem também os transportes que ocorrem contra o gradiente de concentração, ou seja, do menos concentrado para o mais concentrado. Nesse caso, o transporte é chamado de **ativo**, pois ocorre com gasto de energia, sendo realizado por bombas.

Em geral, substâncias apolares, como os hormônios esteroides, o oxigênio e o colesterol, se difundem livremente pela membrana plasmática. Já as substâncias polares (glicose) e os íons (sódio e potássio, por exemplo) dependem de canais proteicos presentes na membrana (Figura 3.1) para se moverem entre os meios intra e extracelulares.

Os canais da membrana podem se abrir quando ocorre um estímulo, uma corrente elétrica entre os meios intra e extracelulares e, assim, pode haver a passagem de cátions do polo positivo para o negativo, ocasionando a redução da DDP entre os meios. A esse processo chamamos de **despolarização**, ou seja, a DDP entre os polos da célula diminui. Isso acontece porque há uma corrente elétrica que transfere cargas elétricas entre os meios da célula, conforme Mourão Júnior e Abramov (2017).

Voltando à nossa analogia, ainda segundo os autores supracitados, em uma pilha elétrica comum, a DDP nunca aumenta espontaneamente, pois, pelas leis da Termodinâmica, é impossível os elétrons deixarem o polo positivo, onde estão em falta, e fluírem para o polo negativo, que está cheio de elétrons. Contudo, em uma célula, isso pode acontecer, isto é, elétrons (ânions) podem sair do meio menos concentrado (polo positivo) e se deslocar para o meio mais concentrado (polo negativo), ou, então, cargas positivas podem deixar o meio negativo e passar para o meio positivo. O fluxo de corrente elétrica contra a diferença de potencial é chamado de **hiperpolarização**.



Assimile

Nas células, as correntes elétricas regulam-se por meio das soluções iônicas e dos canais proteicos presentes na membrana celular. A abertura desses canais permite a passagem de determinados íons

através da membrana, ocasionando a alteração da DDP entre os meios intra e extracelulares. A diminuição da DDP caracteriza a despolarização e, do contrário, se a DDP aumenta, ocorre a hiperpolarização celular.

Muitas vezes, não há nenhum fluxo de íons, não há corrente elétrica; em outras palavras, não há alteração do potencial da membrana, apesar de haver uma DDP entre as faces interna e externa da membrana celular.

Como explicado por Mourão Júnior e Abramov (2017), quando não ocorre alteração da DDP da célula, seja porque forças estão em equilíbrio para determinados íons, seja porque não há condições para o estabelecimento de correntes iônicas (canais fechados), dizemos que essa célula está em um **estado de repouso elétrico** e, nesse estado, vigora o **potencial de repouso** da membrana celular. O valor do potencial de repouso da membrana celular varia de célula para célula, sendo determinado pela diferença de concentrações de cargas elétricas entre os meios intra e extracelulares. É sempre levemente negativo, pois há um excesso de cargas negativas na superfície interna da membrana em relação à sua superfície externa. O motivo da existência dessa DDP nas células é que ela possibilita o fluxo de corrente elétrica entre as células. Sem essa DDP, os músculos esqueléticos não poderiam se contrair, o coração não poderia bombear sangue, nem os nervos poderiam transmitir impulsos.



Refleta

O fator mais importante para a determinação do potencial de repouso é o fato de que o interior da célula está repleto de potássio (K^+), que é um íon positivo bombeado ativamente (com gasto de energia) para o meio intracelular. Há cerca de 30 vezes mais potássio dentro da célula do que no meio exterior. Qual é a razão para que 98% do potássio de nosso corpo esteja dentro das células?

É muito importante compreender que, no estado de repouso elétrico, o interior da célula não está em equilíbrio iônico com o meio extracelular, ou seja, o potencial de repouso não é nulo, pois existe diferença de concentrações de íons dentro e fora das células, ou seja, existe DDP.

Proteínas (ou enzimas) denominadas bombas ATPase são responsáveis por manter a diferença de concentração iônica. Ao utilizar energia, ou seja, ATP (sigla que representa a molécula de adenosina trifosfato, a principal fonte de energia química das células), essas bombas são capazes de movimentar os íons através da membrana celular, contra o gradiente de concentração.

Como já citado, existe predominância de íons de potássio dentro das células e, fora delas, a predominância é dos íons de sódio, pois existe uma bomba responsável por isso (bomba de sódio e potássio).



Pesquise mais

Para aprofundar seus conhecimentos sobre a bomba de sódio e potássio, assista ao vídeo indicado a seguir:

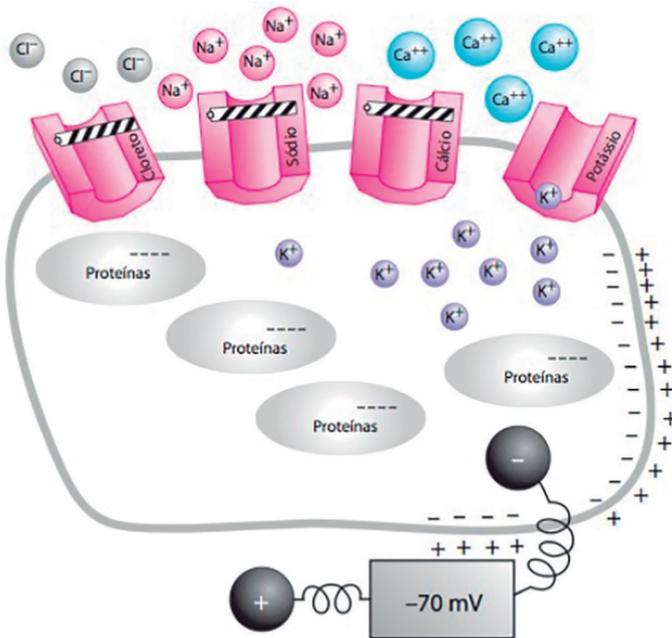
FURG. **REUNI Biofísica 2010** - Bomba de sódio e potássio. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=puJaDiiPCQQ>>. Acesso em: 2 fev. 2018 (vídeo do YouTube).

Assim, considerando o princípio de difusão, existe uma tendência de o sódio entrar e de o potássio sair da célula. Porém, de acordo com Mourão Júnior e Abramov (2017), a membrana em repouso é 100 vezes mais permeável ao potássio do que ao sódio. Com isso, começa a sair potássio por meio da força de difusão e pelo fato de existirem canais de potássio abertos. Entretanto, assim que o potássio começa a sair, o sódio que está fora da célula começa a exercer uma força elétrica de repulsão. Além disso, as proteínas intracelulares também exercem uma força elétrica de atração pelo potássio. Quando essas forças elétricas se equilibram com a força de difusão, o potássio para de sair e não volta para o meio intracelular. Dizemos, então, que a membrana está em repouso. Quando isso ocorre, se medirmos o potencial elétrico no interior da célula, encontraremos o valor de aproximadamente -70 mV . Mas a pequena quantidade de potássio que sai já é suficiente para deixar a superfície interna da membrana ligeiramente mais negativa que a superfície externa. Logo, a principal causa do potencial de repouso é a alta permeabilidade da membrana ao potássio durante o repouso. Veja a Figura 3.2.



Uma DDP em repouso, da ordem de -70 mV é mantida por todas as células do nosso corpo e o interior da célula é negativo em relação ao exterior, o que explica o sinal negativo da DDP de repouso. A diferença de concentração de íons de sódio (Na^+) e de potássio (K^+) nos meios intra e extracelulares é o que explica a existência desse potencial. Um mecanismo de bombeamento ativo (com gasto de energia – consome ATP) denominado de bomba de sódio e potássio força os íons de sódio a sair da célula e os íons de potássio a entrar, sendo responsável por manter o potencial de repouso celular.

Figura 3.2 | A pilha celular



Fonte: Mourão Júnior e Abramov (2017, p. 157).

O modelo conhecido como **equilíbrio de Donnan** (ou Gibbs-Donnan) considera a membrana uma barreira porosa, através da qual alguns íons podem se mover. O movimento dos íons corresponde a uma corrente elétrica. Em equilíbrio, o campo elétrico através da membrana mantém-se inalterado, pois as concentrações de íons dentro e fora da célula permanecem constantes.

Continuando nossa analogia, se, de fato, a célula como um todo é como uma pilha elétrica, podemos dizer que as bombas de sódio e potássio são geradores elétricos, pois, apesar de requerer energia (ATP) para realizar o transporte ativo bombeando 3 cátions de sódio para fora e 2 cátions de potássio para dentro da célula, a bomba capta glicose, que, após metabolizada, conseguirá fornecer mais de 30 ATPs.

Algumas situações fisiológicas determinam alterações no potencial elétrico da membrana em repouso. Essas alterações no potencial elétrico (geralmente, a despolarização) são determinadas pela passagem de íons através da membrana, mobilizados pelas forças de difusão e pela força elétrica. A passagem de íons está condicionada à abertura de canais de membrana que, no repouso, estão fechados. A abertura desses canais se dá quando ocorre uma alteração na sua configuração espacial. Como esses canais são proteínas, sua configuração espacial pode se alterar em virtude de diversas condições físicas e químicas do meio, como alteração do campo elétrico (relativo à própria DDP da membrana), alteração de pH, tensão mecânica sobre a membrana, alteração da temperatura, ação de substâncias químicas diversas (neurotransmissores, hormônios e medicamentos) etc., segundo Mourão Júnior e Abramov (2017).

Apesar de os canais poderem ser abertos por um estímulo (impulso nervoso) e ocasionar a despolarização, essa ocorrência pode ser local, ou seja, pode não se espalhar por toda a célula. Para que a despolarização se propague, é necessário ultrapassar um limiar (conhecido como regra do tudo ou nada) capaz de abrir os canais sequencialmente. Denominamos esse limiar de **potencial de ação**, responsável por um repentino aumento da permeabilidade da membrana aos íons de sódio e cálcio, possibilitando, por exemplo, as contrações musculares. Após a passagem do estímulo, ocorre a repolarização e, nessa situação, a membrana recupera seu estado de repouso e está apta a receber novos impulsos nervosos.



Exemplificando

O que acontecerá com o potencial elétrico (DDP) da célula se, por algum motivo, um canal para sódio se abrir na membrana celular?
O que poderá acontecer com o fluxo desse íon?

De acordo com Mourão Júnior e Abramov (2017), primeiramente, podemos pensar que se a entrada de sódio for lenta o suficiente, ocorrerá a saída de potássio na mesma proporção e, portanto, o potencial não se alterará. Lembre-se de que à medida que entra sódio na célula, que é um cátion, a força elétrica que segura o potássio diminui. Então, à custa da força de difusão, o potássio começa a sair da célula, buscando um novo ponto de equilíbrio. Essa saída leva a força elétrica a retornar aos valores anteriores. Assim, a DDP não se altera. Em seguida, podemos imaginar que a DDP provavelmente vai diminuir (despolarização), pois, se a entrada de sódio for rápida (o mais provável), ocorrerá maior influxo de cátions do que efluxo de potássio pelos canais de vazamento, fazendo com que a DDP se aproxime de zero. Dependendo da velocidade desse influxo de cargas positivas, a DDP pode vir a se tornar positiva (o que acontece no potencial de ação), pois a força de difusão para o sódio é maior que a força elétrica. Todavia, nesses casos, é comum acontecer a abertura de canais de potássio, acelerando o efluxo (saída) desse íon, o que promove rapidamente a recuperação da polaridade negativa na face interna da membrana celular.

Sobre o fluxo do íon, tendemos a imaginar que, com o canal aberto, o sódio entrará indefinidamente na célula. Porém, isso não ocorre. O íon para de entrar espontaneamente quando o potencial de membrana atinge cerca de **+30 mV**, pois, nesse momento, a força de difusão e a força elétrica se tornam iguais e opostas, anulando-se mutuamente e, portanto, a resultante é igual a zero.

Concluimos, sem dificuldades, que todos os fenômenos descritos até então são regidos por leis físicas da Termodinâmica: o fluxo de íons, mesmo que seletivo, acontece porque o sistema busca o equilíbrio – tanto de concentrações quanto de cargas elétricas. O equilíbrio ideal seria a total homogeneidade entre os meios intra e extracelulares, em que as concentrações de íons seriam nominalmente as mesmas e a DDP seria zero. Se todos os canais da membrana se abrissem simultaneamente e não mais fechassem, um estado próximo ao equilíbrio naturalmente seria estabelecido. Mas isso não deve acontecer, porque, como já dissemos, é a diferença de íons, dentro e fora da célula, que permite que se estabeleçam os potenciais de membrana. Então, no chamado estado de “repouso”, a célula não está em equilíbrio com o meio, apesar de o “repouso” ser um estado estável do sistema celular. Esse estado

estável de não equilíbrio chamado de "repouso" é, na verdade, um estado artificialmente mantido pelo maquinário celular dedicado ao transporte ativo de íons e moléculas, tanto para dentro quanto para fora da célula, encontrado na sua membrana: as bombas ATPase. Essas bombas, como já dissemos, são proteínas de membrana que transportam íons contra a sua força de difusão e, muitas vezes, contra a força elétrica, à custa da energia depositada nas ligações entre os fosfatos das moléculas de ATP. As bombas ATPase afastam a célula do equilíbrio com o meio, porém estabelecem um estado estável, uma vez que estão funcionando sempre e conforme a demanda. Trata-se de uma estabilidade longe do equilíbrio. Continuamente, a célula consome energia de ATP para manter o seu repouso, e essa energia fica armazenada nas diferenças de concentração de íons e cargas elétricas entre os lados da membrana. Quando um canal se abre, a pilha celular se descarrega e parte da energia se dissipa pela cinética das partículas iônicas, de acordo com Mourão Júnior e Abramov (2017).

Quantitativamente, em uma situação de equilíbrio, podemos estudar o transporte de íons pela membrana celular considerando as definições estabelecidas pela **equação de Nernst**. O potencial de membrana em equilíbrio (V_m^{eq}) é definido como a diferença entre o potencial do interior (V_0) e o potencial do exterior da célula (V_d). No equilíbrio, o potencial da membrana deve ser igual ao potencial de Nernst para um íon n qualquer. Assim, o potencial de Nernst do íon n (E_n) é também chamado de potencial de equilíbrio e determina o valor do potencial de membrana para o qual o fluxo dos íons n através da membrana é nulo. Matematicamente, temos:

$$V_m^{eq} = V_0 - V_d \Rightarrow \text{no equilíbrio: } E_n = V_m^{eq}.$$



Pesquise mais

Entenda mais sobre a difusão e o campo elétrico na membrana celular pela aplicação de modelos didáticos. Leia o artigo indicado a seguir:

SARTORI, P. H. S.; LORETO, E. L. S. **Rev. Bras. Ens. Bioq. e Biol. Mol.**, n. 1, art., A, 9 abr. 2010. Disponível em: <<http://bioquimica.org.br/revista/ojs/index.php/REB/article/viewFile/38/37>>. Acesso em: 2 fev. 2018.

Sem medo de errar

Para testar os conhecimentos adquiridos nesta seção, vamos retomar à situação na qual você foi desafiado a elaborar diagramas (esquemas) didáticos, de fácil entendimento e que serão disponibilizados para seus colegas, no intuito de auxiliá-los no estudo da Biofísica. Após estudar sobre potenciais artificiais e biológicos, você adquiriu conhecimento sobre o fenômeno da bioeletricidade, entendeu como a célula é capaz de produzir fenômenos elétricos e compreendeu o balanço entre força de difusão e força elétrica. Na intenção de firmar seu aprendizado e, ao mesmo tempo, auxiliar seus colegas a compreenderem alguns dos assuntos abordados, você foi desafiado a elaborar um diagrama que demonstre a força de difusão e a força elétrica para o potássio, em uma membrana em repouso, e a sistematizar os eventos que causam o potencial de repouso. O que você deve levar em consideração na elaboração desse diagrama? Quais informações são realmente importantes?

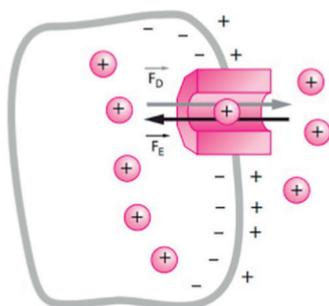
Vimos que, devido às bombas de sódio e potássio, existe predominância de íons de potássio dentro das células e, fora delas, a predominância é dos íons de sódio. Essas bombas utilizam ATP para movimentar os íons através da membrana celular contra o gradiente de concentração.

Porém, considerando o princípio de difusão, existe uma tendência de o sódio entrar e de o potássio sair da célula. Visto que a membrana em repouso é 100 vezes mais permeável ao potássio do que ao sódio, começa a sair potássio por meio da força de difusão (representaremos por FD no diagrama) e pelo fato de existirem canais de potássio abertos. Entretanto, assim que o potássio começa a sair, o sódio que está fora da célula começa a exercer uma força elétrica de repulsão (representaremos por FE no diagrama). Além disso, as proteínas intracelulares também exercem uma força elétrica de atração (FE) pelo potássio. Quando essas forças elétricas se equilibram com a força de difusão (FD), o potássio para de sair e não volta para o meio intracelular. Dizemos, então, que a membrana está em repouso.

Em resumo, se as forças (FD e FE) têm o mesmo valor e são contrárias, o sistema está em equilíbrio e não acontece corrente

iônica, ou seja, a célula está em repouso. Assim, podemos construir o seguinte diagrama:

Diagrama 3.1 | Força de difusão e força elétrica em uma membrana em repouso.



Fonte: Mourão Júnior e Abramov (2017, p. 158).

Quais eventos causam o potencial de repouso?

1. A bomba de sódio e potássio, movida por ATP (energia), faz a maioria do potássio ficar dentro da célula, enquanto a maioria do sódio fica fora.
2. A membrana em repouso é altamente permeável ao potássio; assim, uma pequena quantidade de potássio sai da célula, até que a força de difusão (F_D) se equilibre com a força elétrica (F_E).
3. Os ânions intracelulares (proteínas etc.) permanecem dentro da célula, pois, em razão do tamanho de suas moléculas, não têm como sair.
4. Dessa maneira, estabelece-se uma negatividade na superfície interna da membrana.
5. Se nesse momento medirmos o potencial elétrico da célula, encontraremos um valor próximo de -70 mV (Mourão Júnior e Abramov, 2017).

Excelente trabalho! Desafio resolvido com sucesso. Você resumiu brilhantemente os principais conceitos envolvidos no potencial de repouso da membrana celular e ajudou seus colegas a perceberem como as leis que regem a natureza, em especial a bioeletricidade, se fazem presentes no funcionamento do nosso corpo. Continue a se dedicar nos estudos. Siga em frente!

Avançando na prática

Potencial de repouso e potencial de ação

Descrição da situação-problema

Após a aula sobre potencial biológico, o professor solicitou que cada estudante buscasse uma questão desafiadora sobre o assunto

abordado, que fosse capaz de testar os conhecimentos aprendidos em aula. Cada aluno, além de expor a questão, deve também apresentar a resposta para auxiliar os demais colegas a compreender tal situação. Nessa busca, você encontrou uma interessante questão que envolve os conceitos aprendidos sobre o potencial de repouso e o potencial de ação da membrana celular.

Sua questão envolve quatro afirmações, que precisam ser analisadas como verdadeiras ou falsas e cada resposta precisa ser justificada. Como você analisaria cada afirmação a seguir?

- I. Quando um neurônio está em repouso, sua membrana externa apresenta carga elétrica positiva e a interna apresenta carga negativa.
- II. Quando um neurônio é estimulado, ocorre a despolarização.
- III. Despolarização consiste na inversão das cargas elétricas da membrana.
- IV. Após o impulso, a membrana volta ao estado de repouso, com carga positiva na membrana externa e na interna.

Não se esqueça de ser objetivo e didático nas suas explicações, afinal você deve ajudar seus colegas a compreender tal situação. Então, como você faria?

Resolução da situação-problema

Levando em consideração o aprendizado obtido nesta seção de estudos, vamos analisar cada afirmação.

A primeira afirmação é correta, pois sabemos que no estado de repouso elétrico vigora o potencial de repouso da membrana celular que é sempre levemente negativo, pois há um excesso de cargas negativas na superfície interna da membrana em relação à sua superfície externa. Vale lembrar que essa situação é devida à bomba de sódio e potássio.

A segunda afirmação também é verdadeira, pois quando ocorre um estímulo, ocorre um fluxo de corrente elétrica entre os meios intra e extracelulares e, assim, pode haver a passagem de cátions do

polo positivo para o negativo, ocasionando a redução da DDP entre os meios. A esse processo chamamos de despolarização.

A terceira afirmação é correta, pois, como explicado, na despolarização ocorre a passagem de cátions do polo positivo para o negativo, ocasionando a inversão das cargas elétricas na membrana, ou seja, nessa situação, o interior fica positivo e o exterior fica negativo.

A última afirmação é falsa. Sabemos que, após o impulso, a membrana volta ao estado de repouso. Porém, nesse estado, a carga na membrana externa é positiva e, na membrana interna, é negativa, como explicado durante a análise da primeira afirmação.

Faça valer a pena

1. Considere as opções a seguir:

- I. Situação na qual não ocorre alteração da DDP da célula, seja porque forças estão em equilíbrio para determinados íons, seja porque não há condições para estabelecimento de correntes iônicas (canais fechados).
- II. Os canais da membrana podem se abrir quando ocorre um estímulo, uma corrente elétrica entre os meios intra e extracelulares e, assim, pode haver a passagem de cátions do polo positivo para o negativo, ocasionando a redução da DDP entre os meios.
- III. Em uma célula, elétrons (ânions) podem sair do meio menos concentrado (polo positivo) e se deslocar para o meio mais concentrado (polo negativo), ou, então, cargas positivas podem deixar o meio negativo e passar para o meio positivo, ou seja, o fluxo de corrente elétrica pode ocorrer contra a diferença de potencial, fazendo aumentar a DDP.

A – Despolarização.

B – Hiperpolarização.

C – Estado de repouso elétrico.

Marque a alternativa que correlaciona corretamente as opções dadas:

- a) I-A; II-B; III-C.
- b) I-B; II-C; III-A.
- c) I-C; II-A; III-B.
- d) I-A; II-C; III-B.
- e) I-C; II-B; III-A.

2. Analise as afirmações a seguir como verdadeiras (V) ou falsas (F):

- I. A força de difusão e a força elétrica são essenciais na definição do transporte de substâncias através dos meios intra e extracelulares. Quando essas forças se equilibram, dizemos que a membrana está em repouso.
- II. Todas as células do corpo mantêm uma DDP em repouso. A existência do potencial de repouso deve-se principalmente à diferença de concentração de íons de sódio e de potássio dentro e fora da célula, que é mantida por meio de um mecanismo de transporte ativo conhecido como bomba de sódio e potássio.
- III. À situação de despolarização, que ultrapassa um limiar e se propaga ao longo do neurônio, denominamos potencial de ação ou impulso nervoso. Podemos dizer que o potencial de ação surge quando, por meio de um estímulo, ocorre um súbito aumento da permeabilidade da membrana ao sódio e ao cálcio. Esse mecanismo é responsável, por exemplo, pelas contrações musculares.

Assinale a alternativa correta:

- a) I-V; II-V; III-V.
- b) I-V; II-F; III-V.
- c) I-V; II-F; III-F.
- d) I-F; II-V; III-V.
- e) I-F; II-V; III-F.

3. Considere a frase a seguir: O modelo conhecido como equilíbrio de _____ considera a membrana uma barreira porosa, através da qual alguns íons podem se mover. Em equilíbrio, as concentrações iônicas interna e externa permanecem _____ e o campo elétrico através da membrana não se altera. Quantitativamente, podemos estudar transporte iônico através de uma membrana celular numa situação de equilíbrio, considerando as definições estabelecidas pela equação de _____. Em resumo, por meio dessa equação, conseguimos determinar o valor do potencial de membrana para o qual o fluxo de determinados íons através da membrana é _____.

Escolha a alternativa que completa corretamente o texto dado:

- a) Nernst; constantes; Donnan; nulo.
- b) Donnan; constantes; Nernst; nulo.
- c) Nernst; variáveis; Donnan; intenso.
- d) Donnan; variáveis; Nernst; intenso.
- e) Donnan; constantes; Donnan; nulo.

Seção 3.2

Biofísica da respiração

Diálogo aberto

Prezado estudante, você deve imaginar que a respiração é um processo fundamental para manter o bom funcionamento do nosso corpo e, acima de tudo, para nos manter vivos. A mecânica respiratória é responsável pela troca de gases com o ar atmosférico e visa garantir a concentração adequada do oxigênio no sangue, o que é essencial para a ocorrência das reações metabólicas do organismo. Eliminar gases residuais ajudar a regular a temperatura corpórea, o pH do sangue e a liberar água, sendo um dos objetivos funcionais dos ciclos respiratórios.

Você imagina como o ar entra no nosso pulmão e sai dele? Como ocorrem as trocas gasosas em nível celular? Como funciona nosso olfato? Por que os peixes conseguem respirar embaixo da água?

Para compreender a dinâmica da ventilação pulmonar, vamos, mais uma vez, recorrer aos princípios físicos que regem a natureza. No decorrer dos estudos desta seção, você perceberá que, assimilando a lei dos gases, seremos capazes de entender como o gás se comporta em uma variedade de condições e, dessa forma, estaremos aptos a estender os conceitos para estudar a biofísica da respiração.

Para que você possa colocar em prática o aprendizado, retomaremos a situação em que você foi desafiado a elaborar diagramas (esquemas) didáticos, de fácil entendimento e que serão disponibilizados para seus colegas, no intuito de auxiliá-los no estudo da Biofísica. Seu primeiro digrama, elaborado na seção anterior, foi um sucesso. Seus colegas o utilizaram demasiadamente durante os estudos e o consideraram fundamental para elucidar os conceitos abordados. Você agora é o “diagramador” oficial da turma e vem mais um desafio pela frente.

Na última aula de Física e Biofísica, vocês discutiram sobre a biofísica da respiração e viram a importância de conhecer as leis físicas dos gases para poderem compreender o mecanismo de funcionamento do sistema respiratório.

Ao final da aula, seus colegas lhe propuseram o desafio de elaborar um esquema que demonstre fisicamente como ocorre o processo de ventilação pulmonar. E agora? O que você precisa saber? Como você montará esse diagrama? Quais informações você considerará? Mais uma excelente oportunidade de aprendizado para você e seus colegas, não é mesmo? Vá em frente!

Aproveite e dedique-se aos estudos dessa seção para vencer mais essa situação desafiadora. Pronto para começar?

Não pode faltar

Nos gases, as forças de repulsão moleculares são mais fortes que as de atração. Isso explica o fato de as moléculas gasosas terem a tendência de se espalharem indefinidamente, se não forem contidas em determinado volume, ou seja, em determinado recipiente. Como explicamos anteriormente, o choque das moléculas do gás com a parede do recipiente é o que chamamos de pressão. A pressão e o volume do gás podem variar de acordo com a temperatura. Assim, para definir um gás, é necessário explicitar essas três variáveis: volume, pressão e temperatura.

A lei de Boyle-Mariotte define que o volume de um gás ideal é inversamente proporcional à pressão, quando a temperatura é mantida constante, o que matematicamente é representado pela equação:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

em que p é pressão e V , o volume do gás.

Como exemplo, podemos aplicar essa lei para compreender as mudanças de pressão que o ar sofre ao sair dos pulmões e entrar neles.

A lei de Gay-Lussac-Charles nos diz que o volume de um gás ideal é diretamente proporcional à temperatura absoluta, quando a pressão é mantida constante. Matematicamente, representamos por:

$$V_1 \cdot T_2 = V_2 \cdot T_1$$

Em que V é o volume e T , a temperatura absoluta do gás.

Essa lei permite, por exemplo, calcular a variação de volume que um gás sofre ao entrar no pulmão e sair dele.



Meio litro de ar a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ é aspirado pelo pulmão que está na temperatura corporal de $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pensando que esse processo ocorre sem variação de pressão, o que acontece com o volume de ar aspirado? Aumenta ou diminui?

Primeiro, vamos transformar as temperaturas para a unidade do SI, kelvin. Assim, temos:

$$T_1 = 273 + 20 = 293\text{ K};$$

$$T_2 = 273 + 37 = 310\text{ K}.$$

Agora, aplicando a lei de Gay-Lussac, temos:

$$V_1 \cdot T_2 = V_2 \cdot T_1 \Rightarrow 0,5 \cdot 310 = V_2 \cdot 293.$$

Portanto:

$$V_2 = \frac{0,5 \cdot 310}{293} \approx 0,53\text{ L}.$$

Ou seja, o volume do gás, ao ser aspirado pelo pulmão, onde a temperatura é maior, aumentou 0,03 litro.

A lei geral dos gases é uma combinação das leis citadas anteriormente (aplicáveis aos gases ideais) e é representada pela equação de Clapeyron:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T;$$

onde p = pressão; V = volume; n = número de mol do gás; R = constante universal dos gases perfeitos ($R = 8,31\text{ J/mol} \cdot \text{K} \approx 2,0\text{ cal/mol} \cdot \text{K}$) e T = temperatura absoluta (kelvin).

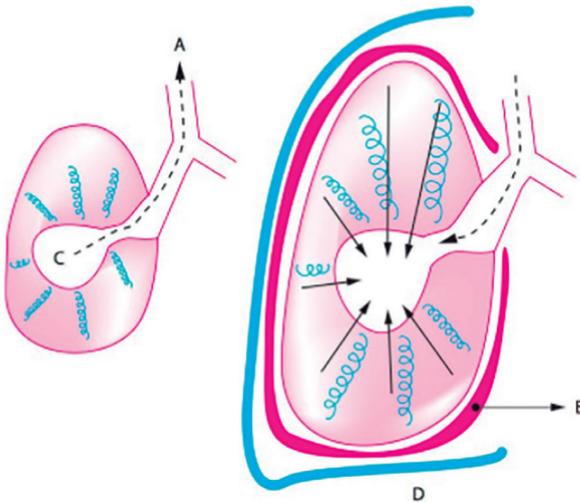


Volume, pressão e temperatura são os parâmetros que definem o estado de um gás. Conhecendo dois desses parâmetros, podemos calcular o terceiro. A lei geral dos gases estabelece a relação entre essas variáveis de estado por meio da equação de Clapeyron:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T.$$

Agora, vamos discutir o comportamento do gás nos pulmões e sua importância na respiração. A entrada do ar atmosférico nos alvéolos pulmonares é chamada de **ventilação pulmonar**. O oxigênio contido no ar, ao chegar aos alvéolos pulmonares, se difunde para os capilares, vai ao coração e é bombeado para os tecidos, a fim de satisfazer as necessidades metabólicas. Para compreender a biofísica envolvida no processo de ventilação pulmonar, vejamos a Figura 3.3.

Figura 3.3 | Ventilação pulmonar



Fonte: Mourão Júnior e Abramov (2017, p. 55).

Legendas: (A) atmosfera; (B) cavidade pleural; (C) alvéolos pulmonares; (D) músculo do diafragma.

Na Figura 3.3, à esquerda, está o pulmão em repouso, quando suas fibras (pequenas molas) não sofrem tensão. À direita, está o pulmão distendido (molas esticadas) preenchendo a caixa torácica. A pressão intra-alveolar é igual à pressão atmosférica, já que os alvéolos mantêm comunicação direta com o meio ambiente, conforme Mourão Júnior e Abramov (2017).

Antes de tudo, vamos entender o que é a cavidade pleural (região B na Figura 3.3). Como explicado por Mourão Júnior e Abramov (2017), a **cavidade pleural** é um espaço único delimitado em toda a sua extensão por uma membrana chamada **pleura**. A parte

da pleura que fica aderida à parede torácica se denomina **pleura parietal**, enquanto a porção do folheto pleural que fica aderida ao parênquima pulmonar (alvéolos) é chamada de **pleura visceral**. O pulmão é um órgão elástico cuja malha de fibras (pequenas molas) converge para o hilo pulmonar, que é a região do pulmão por onde chegam e saem os vasos sanguíneos, nervos, vasos linfáticos e brônquios. Um bom modelo para o pulmão seria o de uma bola de soprar (bexiga), cuja abertura corresponderia ao hilo pulmonar. Uma vez que o ar no interior do pulmão mantém continuidade com o ar atmosférico, o pulmão se encontra distendido (Figura 3.3). O pulmão está contido dentro de uma caixa rígida, a caixa torácica, reforçada por um gradil costal. A caixa torácica tem um volume bem maior do que o do pulmão vazio.

Contudo, o pulmão preenche completamente o interior da caixa torácica. Isso significa que é submetido a determinada tensão que o estira a ponto de preencher toda a cavidade. Na Figura 3.3, o interior do alvéolo mantém contato contínuo com o meio atmosférico, assim, mesmo quando o pulmão está estirado dentro da caixa torácica (sob tensão), a sua pressão interna (pressão intra-alveolar) é igual à pressão atmosférica, de acordo com Mourão Júnior e Abramov (2017).

O que produz o estiramento do pulmão? Os autores supracitados explicam que, de fato, não é uma pressão interna positiva que “empurra” as paredes do pulmão, promovendo a distensão do órgão (afinal, como já dissemos, a pressão interna é igual à pressão atmosférica), mas, sim, a “pressão negativa” que rodeia o exterior do pulmão é que o puxa para fora, estirando-o. O que produz essa pressão negativa é a própria caixa torácica, inextensível, que, na verdade, cria um vácuo dentro da cavidade pleural. Isso se deve às características de elasticidade da caixa torácica e dos pulmões. Se realizarmos um experimento retirando os pulmões da caixa torácica, observaremos que a elasticidade dos músculos da parede torácica tende a tracioná-la para fora, ou seja, sem os pulmões, a tendência do tórax é de se expandir mais ainda. Por outro lado, os pulmões isolados da caixa torácica tendem a se colapsar (se retrain) em função das fibras elásticas que existem em torno dos alvéolos.

Como a parede torácica tende a se expandir (trazendo consigo a pleura parietal) e os pulmões tendem a colapsar (levando consigo a pleura visceral), ocorre um afastamento dos dois folhetos pleurais, aumentando o volume da cavidade pleural e criando aí uma pressão de sucção (pressão negativa). É como tapar o orifício de uma seringa e puxar seu êmbolo, criando um vácuo em seu interior. Além disso, a cavidade pleural é preenchida por um líquido que sofre sucção contínua do sistema linfático, contribuindo ainda mais para que a pressão intrapleural torne-se negativa. Apesar de ter um volume relativamente fixo, a caixa torácica não é imóvel. Pode aumentar de volume pela contração de músculos, como o diafragma e os músculos intercostais. Por conseguinte, ao se expandir a caixa torácica, a pressão da cavidade pleural torna-se ainda mais negativa. A pressão intrapleural mais negativa “aspira” o pulmão em direção à parede torácica; daí o pulmão se distende mais, causando aumento do volume dos alvéolos e, com isso, sua pressão diminui. Então, a pressão intra-alveolar, que era igual à pressão atmosférica, passa a apresentar valores negativos (subatmosféricos), causando a entrada de ar nos pulmões. Eis a inspiração. Durante a expiração, basta os músculos intercostais e o diafragma relaxarem e a própria elasticidade do pulmão cuida de “tracionar” as pleuras e a caixa torácica até a posição original, criando uma pressão intra-alveolar positiva, que faz o ar sair dos pulmões, conforme Mourão Júnior e Abramov (2017).



Refleta

A diferença de pressão entre a atmosfera e os alvéolos é fundamental para a respiração pulmonar. Nesse sentido, você consegue imaginar o que aconteceria com um astronauta se ele retirasse o capacete e tentasse respirar naturalmente na Lua, onde a pressão atmosférica é quase nula?

A inspiração e a expiração constituem o ciclo respiratório. Assim, a inspiração se dá por uma sequência de sucções, ou seja, a caixa torácica expande-se, tracionando a cavidade pleural. Essa, por sua vez, expande-se, tracionando o parênquima pulmonar e os alvéolos, criando uma pressão intra-alveolar subatmosférica (negativa), a qual

permite a entrada de ar. Na expiração, ocorre exatamente o oposto, ou seja, as estruturas se retraem até criarem uma pressão intra-alveolar positiva, a qual expulsa o ar dos pulmões.



Assimile

No mecanismo respiratório conhecido como ventilação pulmonar, a entrada de ar nos pulmões (inspiração) ocorre devido à pressão negativa intra-alveolar, o que é consequência da dilatação do tórax pelo abaixamento do diafragma e elevação da caixa óssea das costelas. Na expiração, o diafragma e o tórax relaxam, diminuindo o volume torácico interno. Como consequência, a pressão nos alvéolos se torna positiva, expulsando o ar dos pulmões.

No ciclo respiratório, as trocas gasosas ocorrem nos alvéolos pulmonares, os quais são recobertos por inúmeros capilares, o que favorece a difusão dos gases entre o sangue e o ar presente no interior dessas estruturas. Dessa forma, o gás carbônico (CO_2) que existe em alta concentração no sangue dos capilares passa para o ar de dentro dos alvéolos por difusão. Em contrapartida, o gás oxigênio (O_2) existente no ar alveolar difunde-se para o interior dos capilares. Esse processo é denominado de **hematose**.

O O_2 que entra no sangue penetra nas hemácias e é transportado às células graças à combinação com a hemoglobina, formando a oxiemoglobina. Nos tecidos, o oxigênio se desprende da oxiemoglobina e é utilizado na respiração celular. Nesse processo, grande parte do O_2 é transformado em CO_2 e, por difusão, passa das células para os capilares. O gás carbônico, por sua vez, é transportado pelo sangue até os alvéolos pulmonares, onde ocorre a difusão. Vale ressaltar que a maioria do gás carbônico é transportada pelo plasma na forma de íons de bicarbonato. Apenas uma parte do CO_2 é transportada pela hemoglobina (carboemoglobina).

Essas trocas gasosas (hematose) ocorrem constantemente no nosso organismo, garantindo a respiração celular e a oxigenação de todos os tecidos presentes em nosso organismo.

Para facilitar o entendimento e a avaliação da mecânica respiratória, os pneumologistas costumam descrever oito

parâmetros, divididos em volumes, e as capacidades pulmonares, como mostrado no Quadro 3.1.

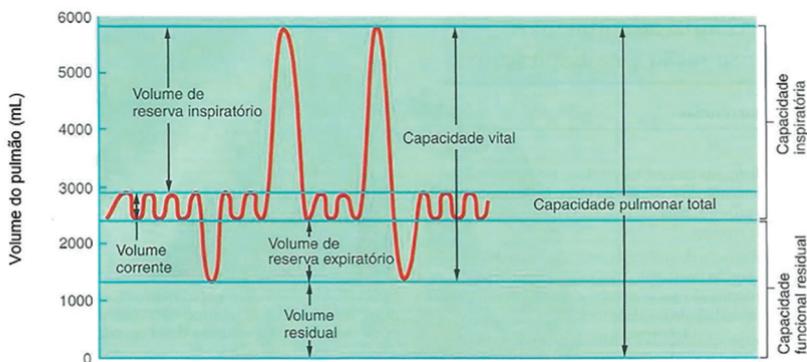
Quadro 3.1 | Volumes e capacidades pulmonares

Volumes pulmonares	Capacidades pulmonares
<p>1 – Volume corrente (VC): volume de ar trocado a cada movimento respiratório. Varia conforme a atividade física, indo de 0,5 L (repouso) a 3,2 L (esforço). Esse volume reflete a exigência de oxigênio no organismo.</p>	<p>5 – Capacidade vital (CV): é o volume máximo de ar capaz de ser trocado: $CV = VC + VRI + VRE$.</p> <p>É a soma dos três volumes funcionais (VC, VRI e VRE) e pode ser inspiratório ou expiratório.</p>
<p>2 – Volume de reserva inspiratório (VRI): é o volume de ar que ainda falta inspirar depois da inspiração do VC. Está relacionado com o equilíbrio entre a elasticidade pulmonar e a <i>performance</i> muscular do tórax.</p>	<p>6 – Capacidade inspiratória (CI): é o máximo de ar que pode ser inspirado, a começar da inspiração de repouso: $CI = VC + VRI$.</p>
<p>3 – Volume de reserva expiratório (VRE): é o volume de ar que falta expirar depois da expiração do VC. Está relacionado com a força de compressão dos músculos torácicos, em especial o diafragma, e tem relação com a fonação.</p>	<p>7 – Capacidade residual funcional (CRF): compreende o ar que pode ser expirado, ao fim da expiração em repouso, mais o volume residual: $CRF = VRE + VR$. Tem grande importância fisiológica, pois o sangue fica em contato com esse volume para realizar as trocas gasosas. Logo, a CRF é importante para a eliminação de gás carbônico. Uma CRF pequena pode produzir trocas insuficientes e uma CRF grande favorece trocas mais completas de gases entre o sangue e os alvéolos.</p>
<p>4 – Volume residual (VR): é o volume de ar que resta após a expiração máxima. Possui relação com a capacidade espacial do tórax e seu conteúdo (coração, traqueia e vasos sanguíneos).</p>	<p>8 – Capacidade pulmonar total (CT): é o volume total de ar que pode ser contido no pulmão, isto é, ao fim da inspiração máxima, ou seja, é a soma dos quatro volumes: $CT = VC + VRI + VRE + VR$.</p>

Fonte: adaptado de Heneine (2008, p. 272).

Os volumes e as capacidades pulmonares podem ser representados graficamente, como mostra a Figura 3.4.

Figura 3.4 | Relações entre os volumes e capacidades pulmonares



Fonte: adaptada de <<http://www.portalosteopatia.com.br/efeito-de-duas-tecnicas-osteopaticas-na-capacidade-vital-e-na-configuracao-toraco-abdominal-um-estudo-duplo-cego-randomizado>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

A respiração dos mamíferos e, portanto, a nossa é pulmonar como você já deve ter percebido, ou seja, as trocas dos gases ocorrem nos pulmões. Assim também ocorre nas aves. Mas existem outros tipos de respiração. Alguns animais, como os anfíbios, respiram através da pele, o que é denominado de **respiração cutânea**. As trocas ocorrem por difusão na superfície do corpo e, por isso, esses animais possuem uma pele bastante vascularizada. Existe também a **respiração branquial**, desenvolvida pelos animais aquáticos como os peixes. Nesse caso, a respiração é caracterizada pela entrada da água pela boca e a saída pelas fendas branquiais, onde ocorrem as trocas e, dessa forma, os peixes conseguem respirar embaixo d'água. Existem, ainda, a **respiração traqueal** e a **filotraqueal**, encontradas, respectivamente, em insetos e alguns aracnídeos.



Pesquise mais

A inspiração desperta um dos nossos cinco sentidos: o olfato. Para saber mais sobre esse sentido, leia os artigos indicados a seguir:

OLIVEIRA, L. H. Olfato: O sentido da vida. **Superinteressante**, 31 dez. 1987. Disponível: <<https://super.abril.com.br/comportamento/olfato-o-sentido-da-vida/>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

NOGUEIRA, M. Olfato: O sentido marginal. **Superinteressante**, 30 abr. 2004. Disponível: <<https://super.abril.com.br/cultura/olfato-o-sentido-marginal/>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

Sem medo de errar

Que tal agora colocar em prática o aprendizado obtido nessa seção? Vamos então retomar a situação em que você foi desafiado a elaborar diagramas (esquemas) didáticos, de fácil entendimento e que serão disponibilizados para seus colegas, no intuito de auxiliá-los no estudo da Biofísica. Seu primeiro diagrama, elaborado na seção anterior, foi um sucesso. Seus colegas o utilizaram demasiadamente durante os estudos e o consideraram fundamental para elucidar os conceitos abordados. Você agora é o “diagramador” oficial da turma e vem mais um desafio pela frente.

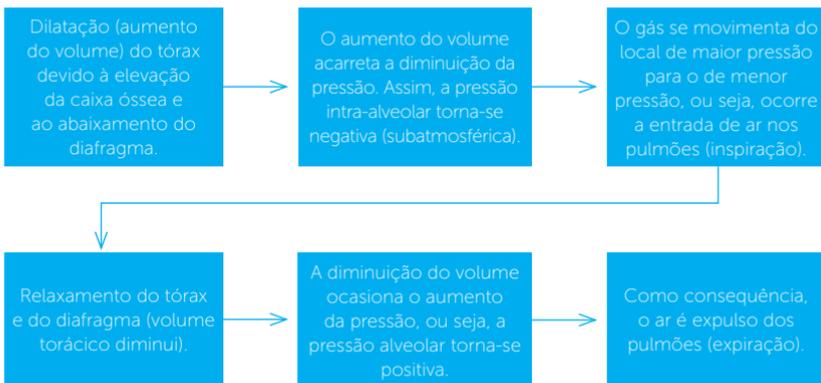
Na última aula de Física e Biofísica, vocês discutiram sobre a biofísica da respiração e viram a importância de conhecer as leis físicas dos gases para poderem compreender o mecanismo de funcionamento do sistema respiratório.

Ao final da aula, seus colegas lhe propuseram o desafio de elaborar um esquema que demonstre fisicamente como ocorre o processo de ventilação pulmonar. E agora? O que você precisa saber? Como você montará esse diagrama? Quais informações você considerará? Mais uma excelente oportunidade de aprendizado para você e seus colegas, não é mesmo? Vá em frente!

Aprendemos que, no mecanismo respiratório conhecido como ventilação pulmonar, a entrada de ar nos pulmões (inspiração) ocorre devido à pressão negativa intra-alveolar, o que é consequência da dilatação do tórax pela elevação da caixa óssea das costelas e pelo abaixamento do diafragma. Na expiração, o diafragma e o tórax relaxam, diminuindo o volume torácico interno. Como consequência, a pressão alveolar se torna positiva e o ar é expulso dos pulmões.

Vamos então colocar essas informações no diagrama como mostrado a seguir.

Diagrama 3.2 | Ventilação pulmonar



Fonte: elaborado pela autora.

Sensacional! Você venceu mais esse desafio com muito sucesso. Excelente diagrama. Você e seus colegas compreenderam os fenômenos físico-biológicos que ocorrem no organismo durante o processo respiratório. Essa é a magia da biofísica, não é mesmo? Mergulhar cada vez mais nesse universo está sendo muito prazeroso e enriquecedor para a sua profissão. Não deixe de aplicar os conhecimentos adquiridos.

Avançando na prática

Pneumotórax

Descrição da situação-problema

O acúmulo anormal de ar entre o pulmão e a pleura é conhecido como **pneumotórax**. Pode ser considerado um quadro de emergência médica ou “provocado terapêuticamente”, pois nessa situação a pressão do espaço interpleural é a mesma da pressão atmosférica. De posse dessas informações e pensando na biofísica da ventilação pulmonar, você é desafiado a responder aos seguintes questionamentos: o que pode acontecer com um paciente diagnosticado com pneumotórax? Qual é a finalidade de provocar o pneumotórax terapêuticamente? Qual seria uma possível solução para o problema?

É hora de mostrar, mais uma vez, que você possui amplo conhecimento sobre a biofísica da ventilação pulmonar. Então, como você responderia a essas perguntas?

Resolução da situação-problema

Sabemos que a diferença de pressão entre a atmosfera e o espaço interpleural é fundamental para que a respiração pulmonar ocorra de maneira passiva e involuntária. No quadro de pneumotórax, como a pressão interpleural é igual à pressão atmosférica, o tórax se dilata, porém o pulmão não o acompanha, pois não ocorre a entrada de ar. Assim, podemos imaginar que um paciente diagnosticado com pneumotórax possui dificuldade para respirar – todos os volumes e capacidades pulmonares são afetados – e, ao longo do tempo, o pulmão pode se retrair por não funcionar.

Dessa forma, podemos pensar também que, quando se deseja “descansar o pulmão”, o pneumotórax pode ser provocado terapêuticamente, injetando ar estéril no espaço interpleural por determinado tempo.

Por fim, uma possível solução para o problema é a recomposição da pressão subatmosférica (negativa) interpleural, o que pode ser feito por meio da drenagem do ar presente no local.

Faça valer a pena

1. Considere a frase a seguir:

Volume, pressão e _____ são os parâmetros que definem o estado de um gás. Conhecendo dois desses parâmetros, podemos calcular o terceiro. A lei geral dos gases estabelece a relação entre essas variáveis de estado por meio da equação de _____. Nessa equação, a temperatura deve estar na unidade _____.

Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:

- a) temperatura; Clapeyron; kelvin.
- b) viscosidade; Clapeyron; graus Celsius.
- c) temperatura; Gay-Lussac; kelvin.
- d) força; Gay-Lussac; graus Celsius.
- e) temperatura; Clapeyron; graus Celsius.

2. Considere as opções a seguir:

A - Volume de ar trocado a cada movimento respiratório.

B - Volume mobilizado quando você enche o peito de ar numa inspiração forçada e profunda.

C - Volume total de ar nos pulmões, após uma inspiração máxima, sendo a soma dos quatro volumes.

D - Volume de ar que permanece nos pulmões ao final de uma expiração normal. O sangue fica em contato com esse volume para realizar as trocas gasosas.

I. Capacidade residual funcional (CRF).

II. Volume de reserva inspiratório (VRI).

III. Capacidade pulmonar total (CT).

IV. Volume corrente (VC).

Marque a alternativa que correlaciona corretamente as opções anteriores:

a) A-I; B-II; C-III; D-IV.

b) A-II; B-III; C-IV; D-I.

c) A-III; B-I; C-IV; D-II.

d) A-IV; B-I; C-II; D-III.

e) A-IV; B-II; C-III; D-I.

3. Analise as afirmações a seguir como verdadeiras (V) ou falsas (F):

I. O que causa a entrada de ar nos pulmões (inspiração) é a pressão intra-alveolar subatmosférica (negativa).

II. O O_2 é transportado às células graças à combinação com a hemoglobina, formando a oxiemoglobina.

III. As aves e os mamíferos possuem respiração pulmonar. Já os peixes possuem respiração cutânea.

IV. A hematose ocorre nos alvéolos pulmonares e, nesse processo, o CO_2 passa do sangue para dentro dos alvéolos, por difusão. Em contrapartida, o O_2 difunde-se para o interior dos capilares.

Marque a opção correta:

a) I-V; II-V; III-V; IV-F.

b) I-V; II-F; III-F; IV-V.

c) I-V; II-V; III-F; IV-V.

d) I-F; II-V; III-F; IV-V.

e) I-F; II-F; III-V; IV-F.

Seção 3.3

Biofísica da visão e audição

Diálogo aberto

Estudante, você já deve ter percebido que a Biofísica nos permite estudar a matéria, o tempo, o espaço e a energia nos sistemas biológicos. Nossos órgãos sensoriais captam as informações do ambiente externo e as transmitem ao cérebro.

Nesta seção, daremos continuidade ao estudo dos sistemas biológicos e, por meio dos conceitos físicos, vamos continuar a desvendar os mistérios do corpo humano. Preparado para aprender ainda mais? Agora, você aprenderá sobre a biofísica da visão e da audição. Você sabia que nossos ouvidos não são responsáveis apenas pela audição? São responsáveis também pelo equilíbrio do nosso corpo e pela percepção de movimento à nossa volta. Interessante, não é mesmo? Nossos olhos são um dos principais meios que nos permitem interagir com o mundo. Dessa forma, podemos imaginar que a estrutura do sistema ocular é bastante complexa, afinal, pelos olhos podemos, por exemplo, enxergar cores, focalizar um objeto, produzir imagens com nitidez controlando a quantidade de luz que entra nos olhos e muito mais! Não é surpreendente?

Para aprimorar e colocar em prática os conhecimentos dessa seção, retomaremos a situação em que você foi desafiado a elaborar diagramas (esquemas) didáticos, de fácil entendimento e que serão disponibilizados para seus colegas, no intuito de auxiliá-los no estudo da Biofísica. Até aqui, você tem superado os desafios com êxito. Seus diagramas ficaram excelentes e foram extremamente aproveitados por você e seus colegas nos estudos. Resumir o aprendizado em diagramas não é uma tarefa fácil, requer muita dedicação e atenção e, por isso, é uma extraordinária maneira de colocar os estudos em prática. Você e seus colegas criaram gosto pela ferramenta, que é agora indispensável.

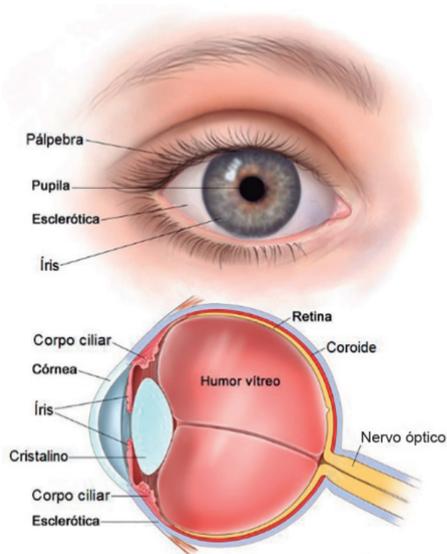
O último assunto abordado pelo professor foi a biofísica da audição. Entendendo os conceitos físicos das ondas sonoras, você agora compreende o mecanismo da audição humana. A fim de registrar os conhecimentos adquiridos, você resolve elaborar um diagrama

que demonstra de que maneira o ouvido humano percebe as ondas sonoras. Seus colegas já estão ansiosos para ver e desfrutar do seu diagrama. Quais informações são fundamentais? Como relacionar a física e biofísica da audição? Faça uma boa reflexão e boa sorte!

Não pode faltar

O mecanismo da visão apresenta aspectos biofísicos característicos, desafiadores, e faz parte de um sistema que desempenha, entre outras, a função sensorial. O olho, mais especificamente o globo ocular, é uma parte do nosso corpo responsável pela formação de imagem, sendo extremamente complexa. Pode ser comparado a uma câmera fotográfica que forma imagens, transforma em energia (pulsos) que são levados ao cérebro. A Figura 3.5 mostra a estrutura do globo ocular.

Figura 3.5 | Estrutura do globo ocular



Fonte: <<http://www.cemtn.com.br/ciencianavida/?p=711>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

A parte da frente do olho é recoberta por uma membrana transparente denominada **córnea**. Atrás da córnea há um líquido transparente ocupando uma pequena região na parte da frente do olho que é denominado de **humor vítreo** (ou **aquoso**). Ainda na frente se situa a íris, que funciona como o diafragma de uma máquina fotográfica, pois tem diâmetro variável, permitindo controlar

a quantidade de luz que entra. As **pálpebras** permitem também controlar a entrada de luz. No centro da íris está a **pupila** do olho. O **cristalino** é a lente (biconvexa) do olho e a lente do cristalino é uma estrutura elástica e transparente. O humor vítreo é um meio transparente que ocupa a maior parte do olho e é constituído de um material gelatinoso e claro. A córnea, o humor vítreo e o cristalino são os meios transparentes do globo ocular. Quando a luz incide sobre o olho humano, experimenta a refração primeiramente na córnea. A íris controla a quantidade de luz que entra no olho dilatando a pupila (quando quer aumentar a quantidade de luz) ou a contraindo (para reduzir a quantidade de luz) e é a porção colorida do olho (olhos azuis, castanhos etc.). A pupila é a região associada ao pequeno círculo do olho e tem uma cor diferente da íris. Depois de passar pelos meios transparentes, a luz atinge uma película extremamente sensível à luz, a retina, que é análoga ao filme de uma máquina fotográfica (onde se forma a imagem). A retina consiste em milhões de células, chamadas de **bastonetes** e **cones**, que são responsáveis por reconhecer a luminosidade e as cores, respectivamente. Essas células se decompõem quando expostas à luz e, uma vez estimuladas, enviam impulsos para o cérebro (através do nervo óptico), onde a imagem é percebida. Existem três tipos de cones diferentes denominados de L, S e M. Na retina, a interação desses sistemas de cones é responsável pela percepção das cores, e cada tipo de cone é sensível basicamente a uma parte do espectro visível. Um tipo de cone (S) é sensível ao azul e violeta, o outro (M), ao verde, e o terceiro (L), ao vermelho. Uma das teorias para explicar a sensação das cores no ser humano sustenta que qualquer cor é determinada pela frequência relativa dos impulsos que chegam ao cérebro, provenientes de cada um desses três sistemas de cones, ou seja, a luz é percebida no cérebro num processo de adição de cores. Quando um grupo de cones receptivos a uma dada cor está em falta na retina (usualmente por deficiência genética), o indivíduo é incapaz de distinguir algumas cores, de acordo com Marques e Ueta (2007).



Reflita

Você já ouviu falar sobre daltonismo? Você imagina qual é o fator causador dessa deficiência na visão e como enxergam os daltônicos?

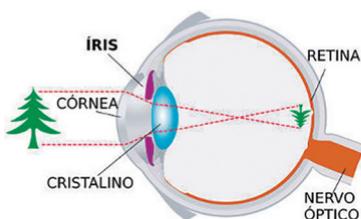
Como explicado por Nobre (2008), as diversas estruturas do olho humano servem para: manter a forma e movimentar o globo ocular; conduzir a luz até os fotossensores; focalizar a imagem

dos objetos sobre os fotorreceptores; nutrir, lubrificar e proteger o olho; reduzir o ofuscamento; adaptar o olho a diferentes condições de luminosidade; conduzir as informações visuais para o sistema nervoso central; processar as informações visuais.

O mecanismo de formação de imagem é por refração da luz. Chamamos de refração o fenômeno em que a luz é transmitida de um meio para outro diferente. Nessa mudança de meios ocorre um desvio da direção original da onda luminosa. Por causa da grande diferença de índice de refração, a área de interação entre o ar e a córnea é o principal meio refrativo do sistema ocular.

No olho, a luz atravessa a córnea, o humor aquoso e o cristalino, dirigindo-se para a retina, que funciona igual a um filme fotográfico em posição invertida, como mostra a Figura 3.6. Assim, a imagem formada na retina é invertida e menor que o objeto. O nervo óptico transmite o impulso nervoso provocado pelos raios luminosos ao cérebro, que o interpreta e nos permite ver os objetos nas posições em que realmente se encontram. Nosso cérebro reúne em uma só imagem os impulsos nervosos provenientes dos dois olhos. A capacidade do aparelho visual humano para perceber os relevos deve-se ao fato de as imagens que cada olho envia ao cérebro serem diferentes. Com somente um dos olhos, temos noção de apenas duas dimensões dos objetos: largura e altura. Com os dois olhos, passamos a ter noção da terceira dimensão, a profundidade. As células receptoras do estímulo para a visão estão despolarizadas no escuro e, quando houver incidência de luz, ocorrerá uma hiperpolarização, que regulará a quantidade de neurotransmissor e será responsável pela formação da imagem em nível cerebral, segundo Nobre (2008).

Figura 3.6 | Mecanismo de formação de imagem no olho humano



Fonte: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/olho-humano-um-instrumento-optico.htm>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

Como explicado por Nobre (2008), o olho normal está numa condição de **emetroopia**, ou seja, a imagem é formada exatamente sobre a retina, pois existe um desvio adequado da córnea e do

cristalino. O olho é considerado **emetrópico** quando, para o músculo ciliar completamente relaxado, os raios paralelos vindos dos objetos distantes estão focalizados (nítidos) na retina. Com o músculo ciliar relaxado, o olho emetrópico vê objetos longínquos com clareza. Objetos próximos requerem acomodação do cristalino por meio da contração do músculo ciliar. Porém, os olhos podem apresentar disfunções, como hipermetropia, miopia, presbiopia e astigmatismo.

Ainda de acordo com Nobre (2008), a **hipermetropia** ocorre quando a imagem de um objeto a grande distância é formada depois da retina. O olho hipermetrope requer acomodação mesmo para objetos no infinito. Como consequência, a distância mínima para visão distinta acaba se tornando maior, pois o esforço de acomodação já começa numa situação na qual normalmente isso não seria exigido. Na **miopia**, a imagem de um ponto no infinito é formada antes da retina. Não atinge a retina. Perde-se, portanto, a visão distinta. Torna-se inútil um esforço de acomodação, pois a distância focal já é a máxima possível. Os míopes têm facilidade para ver de perto. Na miopia, fica reduzida a distância mínima de visão distinta.

Nobre (2008) coloca que a **presbiopia** é causada pela alteração da amplitude de acomodação. Ocorre naturalmente com a idade. À medida que os indivíduos envelhecem, o cristalino perde a elasticidade, perdendo a capacidade de acomodação. A habilidade de assumir uma forma esférica é perdida paulatinamente. O poder de acomodação se reduz de 14 dioptrias, quando se é criança, para duas dioptrias, acima dos 50 anos. **Dioptria**, popularmente conhecida como grau, é uma unidade de medida que mensura a capacidade de um meio transparente modificar o trajeto da luz (poder de refração). Um indivíduo que possui astigmatismo associa a um objeto puntiforme uma linha imagem (em vez de outro ponto). Essa condição decorre do fato de que, nesse caso, a córnea ou o cristalino (mais raramente) não são perfeitamente simétricos. O raio de curvatura muda de acordo com a direção considerada. Não se apresenta, portanto, como uma calota esférica perfeita.



Assimile

A hipermetropia caracteriza-se pela formação da imagem atrás da retina. Na miopia, a imagem do objeto é formada antes da retina. A presbiopia ocorre devido ao enrijecimento do cristalino. O astigmatismo resulta de uma curvatura desigual da córnea ou do cristalino.



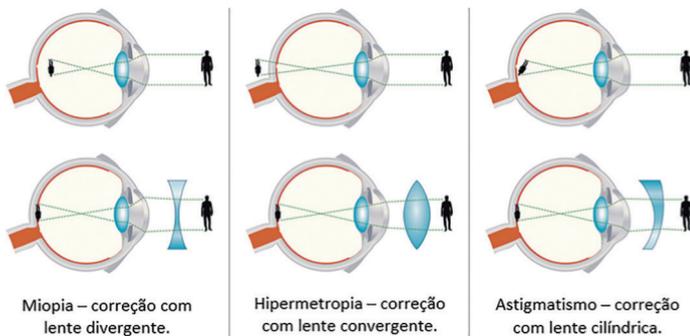
Como corrigir a hipermetropia, a miopia e o astigmatismo?

Para a correção da hipermetropia, é preciso usar lentes capazes de trazer a imagem "mais para frente", para que fique localizada na retina. Assim, as lentes convergentes são capazes de corrigir a hipermetropia.

A correção da miopia é o contrário, ou seja, é preciso usar lentes capazes de jogar a imagem mais para trás. Logo, para a correção da miopia, utilizam-se lentes divergentes.

Já para a correção do astigmatismo, situação na qual a visão é distorcida (borrada), utilizam-se lentes cilíndricas, para direcionar os raios de luz e ajudar a focar a imagem. A Figura 3.7 ilustra essas informações.

Figura 3.7 | Defeitos da visão e lentes de correção



Fonte: <<http://www.maitlandvisioncenter.com/hyperopia-farsighted.html>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

Grande parte das informações que o ser humano recebe é transmitida por ondas sonoras. Normalmente, provêm do ambiente que nos cerca e são originadas em diversas fontes sonoras. O sistema auditivo dos animais permite a captação dessas ondas e o reconhecimento do conteúdo de informação que possuem. Além de participar da audição, o aparelho auditivo humano também está relacionado com a fala e o equilíbrio do corpo. O **som** é a propagação de energia mecânica em meio material, sob forma de movimento ondulatório, com pulso longitudinal. Os seres vivos captam e emitem sons. De insetos a humanos, o som é um precioso agente de informação e comunicação. O ouvido humano é especialmente diferenciado para receber sons. Além da capacidade puramente mediadora, a audição permite ainda, sem uso do sentido semântico

das palavras, a transmissão de mensagens emocionais. O aparelho auditivo transforma as diferenças de pressão do som em pulso elétrico, que são enviadas ao cérebro, onde causam a sensação psicofísica da audição. O ouvido é capaz de perceber dois sons de frequência diferentes, como tais, mesmo quando emitidos simultaneamente. Ainda, pelo timbre, é capaz de diferenciar uma nota dó de um violino da mesma nota de um violoncelo ou outro instrumento. O som não tem persistência e nos permite a arte da música, pela sequência de sons percebidos separadamente, segundo Nobre (2008).

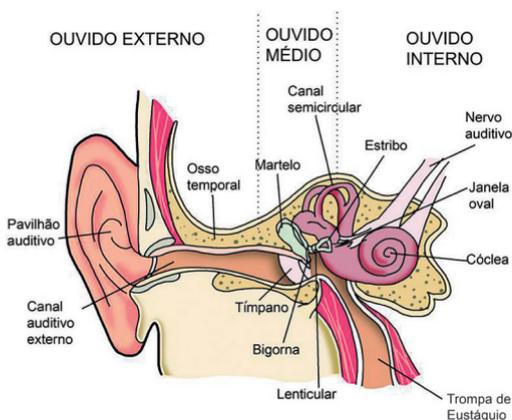


Assimile

O sistema auditivo, além da função da audição, desempenha funções relacionadas com a fala e o equilíbrio do corpo.

Para Nobre (2008), a função do ouvido é converter uma fraca onda mecânica no ar em estímulos nervosos. O ouvido é constituído de três partes: o ouvido externo com a orelha e o canal auditivo, o ouvido médio com um sistema de três ossículos, que são martelo, bigorna e estribo, e o ouvido interno, com a cóclea contendo fluidos, onde ocorre a conversão do som em pulso elétrico. A Figura 3.8 mostra as principais partes do ouvido.

Figura 3.8 | Ouvido humano



Fonte: <<http://www.ead.ufrpe.br/acervo-digital-eadtec/node/541>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

A **orelha** é a parte menos importante da audição e auxilia as ondas sonoras a convergirem para o canal auditivo. Esse canal, de cerca de 2,5 cm de comprimento, pode ser comparado a um tubo de

órgão aberto numa extremidade e fechado na outra pela membrana timpânica, que separa o ouvido externo do médio, ambos contendo ar (NOBRE, 2008).

O ouvido humano funciona da seguinte forma:

- O som do ambiente é captado e rebatido nas dobras internas do ouvido externo, sendo possível identificar, com precisão, a origem do som. Os lóbulos têm a função de manter a orelha aquecida.

- O som se propaga pelo ouvido, seguindo pelo canal auditivo. Esse canal é um tubo envolto por um tecido ósseo que leva o som (onda sonora) até o ouvido interno. A título de curiosidade, a "cera" presente na parede do canal tem função antibacteriana e, portanto, é benéfica.

- No ouvido interno, o som vibra o tímpano (membrana que recobre um tambor). O tímpano é responsável por repassar as vibrações para três ossos: o martelo, a bigorna e o estribo. Assim, a onda sonora é amplificada em até 22 vezes.

- Se for necessário abafar o som para proteger o tímpano, os músculos próximos ao estribo e ao martelo podem se contrair.

- Em seguida, o som se propaga na cóclea. Nela, a onda sonora é convertida em sinais elétricos através de células receptoras. Esses sinais são enviados ao cérebro pelo nervo auditivo e, assim, o som é finalmente decodificado.

Alguns animais, como morcegos, golfinhos e baleias, possuem uma sofisticada capacidade de detectar a localização de objetos por meio do eco dos sons (ondas ultrassônicas) emitidos por eles. Essa capacidade possui o nome de **ecolocalização** ou **biossonar** e é extremamente importante em situações em que a visão é insuficiente.



Pesquise mais

Leia mais sobre ecolocalização no artigo indicado a seguir:

SANTORO, A. Que animais enxergam por meio de sons e como eles conseguem fazer isso? **Superinteressante**, 30 abr. 2002. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ciencia/que-animais-enxergam-por-meio-de-sons-e-como-eles-conseguem-fazer-isso/>>. Acesso em: 2 fev. 2018.

Outro ponto interessante do nosso sistema biológico é a maneira como produzimos sons. A fonação é o resultado de um conjunto de processos que envolvem diversas partes do organismo.



Pesquise mais

Aprofunde seus conhecimentos sobre a biofísica da fonação e entenda como somos capazes de produzir sons com a leitura do artigo indicado a seguir:

FARIA, S. B. **Biofísica da fonação**. São José dos Campos: Univap, 2011. Disponível em: <https://www1.univap.br/spilling/BIOF/BIOF_Semin_Fonacao_SuzanaBFaria.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2018.

Sem medo de errar

Vamos agora retomar a situação em que você foi desafiado a elaborar diagramas (esquemas) didáticos, de fácil entendimento e que serão disponibilizados para seus colegas, no intuito de auxiliá-los no estudo da Biofísica. Até aqui, você tem superado os desafios com êxito. Seus diagramas ficaram excelentes e foram extremamente aproveitados por você e seus colegas nos estudos. Resumir o aprendizado em diagramas não é uma tarefa fácil, requer muita dedicação e atenção e, por isso, é uma extraordinária maneira de colocar os estudos em prática. Você e seus colegas criaram gosto pela ferramenta, que é agora indispensável.

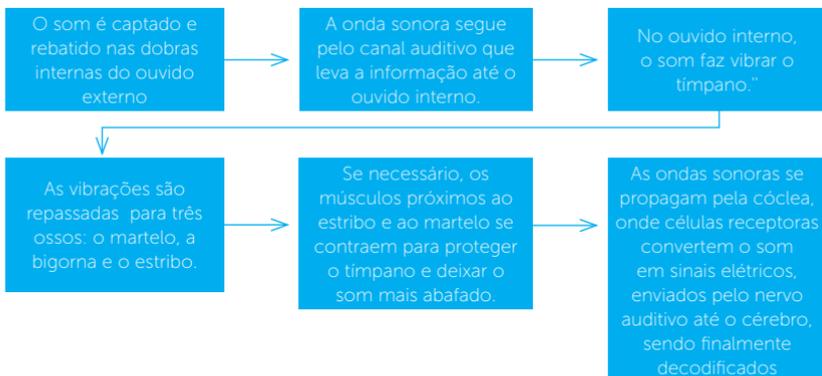
O último assunto abordado pelo professor foi a biofísica da audição. Ao entender os conceitos físicos das ondas sonoras, você agora compreende o mecanismo da audição humana. A fim de registrar os conhecimentos adquiridos, você resolve elaborar um diagrama que demonstra de que maneira o ouvido humano percebe as ondas sonoras. Seus colegas já estão ansiosos para ver seu diagrama e desfrutar dele. Quais informações são fundamentais? Como relacionar a física e biofísica da audição? Faça uma boa reflexão.

Durante o estudo desta seção, vimos que o mecanismo da audição funciona por meio da captação do som, que, após captado, é rebatido nas dobras internas do ouvido externo. O som se propaga pelo ouvido, seguindo pelo canal auditivo. Esse canal é um tubo envolto por um tecido ósseo que leva a informação (onda sonora) até o ouvido interno. No ouvido interno, o som vibra o tímpano (membrana que recobre um tambor). O tímpano é responsável por repassar as vibrações para três ossos: o martelo, a bigorna e o estribo. Assim, a onda sonora é amplificada em até 22 vezes. Se for necessário abafar o som para proteger o tímpano, os músculos próximos ao estribo e ao martelo se contraem. Em seguida, a onda sonora se

propaga na cóclea. Nela, o som é convertido em sinais elétricos por meio de células receptoras. Esses sinais são enviados ao cérebro pelo nervo auditivo e, assim, o som é finalmente decodificado.

Agora, vamos colocar essas informações em um diagrama, como mostrado a seguir, para facilitar e ilustrar o entendimento:

Diagrama 3.3 | Como as ondas sonoras são percebidas no ouvido humano



Fonte: elaborado pela autora.

Muito bem! Desafio cumprido com sucesso! Você demonstrou ser um excelente aluno e auxiliou seus colegas a compreender o mecanismo da audição humana. Mais uma vez, a Biofísica nos ajudou a desvendar a magia envolvida no funcionamento perfeito do nosso corpo humano. Foi empolgante, não é mesmo? Então, não deixe de aplicar os conhecimentos adquiridos. Siga em frente!

Avançando na prática

O sorteado foi você!

Descrição da situação-problema

Ao final de cada aula de Biofísica, nos cinco minutos finais, o professor sempre sorteia, aleatoriamente, um estudante para fazer uma apresentação que deve resumir um assunto abordado durante as discussões em aula. Como o tempo é curto, o resumo deve ser breve e objetivo. Hoje, o sorteado foi você! Seu desafio será fazer um breve resumo sobre o funcionamento do olho humano. Então, preparado para fazer sua apresentação? Uma boa ideia é apresentar o mecanismo da visão humana em tópicos e fazer uma ilustração. Vamos lá?

Resolução da situação-problema

Em resumo, podemos dizer que o olho humano funciona da seguinte forma:

- A luz refletida no objeto incide no olho. A entrada da luminosidade no olho é regulada pela pupila, que funciona como o diafragma de uma câmera. A pupila se fecha em locais com muita luminosidade e se dilata no escuro. A íris é responsável por contrair ou dilatar a pupila.

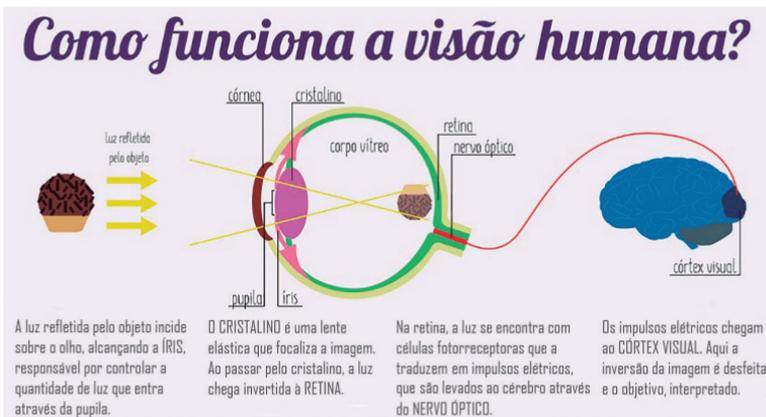
- Os raios de luz que entram no olho sofrem refração, são enviados e convergidos para a retina. Isso é possível porque a córnea e o cristalino funcionam como um conjunto de lentes que refrata a luz (biconvexa), formando uma imagem invertida.

- Milhões de fotorreceptores estão localizados na retina. São responsáveis por converter a luz em impulsos elétricos. Os cones são fotorreceptores que detectam cores. Os bastonetes nos ajudam a enxergar quando há pouca luz.

- Os impulsos elétricos com as informações da imagem, como luminosidade, cor e forma do objeto observado, transitam até o cérebro por meio do nervo óptico. O córtex traduz esses impulsos, percebe os movimentos e cria uma imagem na nossa mente.

- Na conexão do nervo óptico com a retina, há uma "falha" chamada de "ponto cego". Essa falha é compensada pelo cérebro com a imagem captada pelo outro olho. Com os dois olhos, somos capazes de enxergar em três dimensões. A Figura 3.9 ilustra os passos descritos.

Figura 3.9 | Como funciona a visão humana



Fonte: <<https://www.behance.net/gallery/31897681/Como-funciona-a-visao-humana>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

Faça valer a pena

1. O mecanismo da visão apresenta aspectos biofísicos característicos, desafiadores, e faz parte de um sistema que desempenha, entre outras, também a função sensorial. O olho, mais especificamente o globo ocular, é uma parte do nosso corpo responsável pela formação de imagem, sendo extremamente complexa. Pode ser comparado a uma câmera fotográfica. A parte que controla a quantidade de luz que entra no olho, dilatando ou contraindo a pupila, é:

- a) íris.
- b) humor vítreo.
- c) córnea.
- d) cristalino.
- e) retina.

2. Considere a frase a seguir:

Na(o) _____, a imagem do objeto é formada após a retina. Na(o) _____, a imagem forma-se na frente da retina. A _____ ocorre devido ao enrijecimento do cristalino. O(A) _____ resulta de uma curvatura desigual da córnea ou do cristalino.

Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:

- a) miopia, hipermetropia, presbiopia, astigmatismo.
- b) presbiopia, astigmatismo, hipermetropia, miopia.
- c) hipermetropia, miopia, presbiopia, astigmatismo.
- d) astigmatismo, hipermetropia, miopia, presbiopia.
- e) hipermetropia, astigmatismo, miopia, presbiopia.

3. No ouvido interno, o som vibra o tímpano (membrana que recobre um tambor). É responsável por repassar as vibrações para três ossos e, assim, amplificar a onda sonora em até 22 vezes.

Esses três ossos que cabem na ponta dos dedos e permanecem do mesmo tamanho durante toda a vida são:

- a) osso temporal, tímpano e cóclea.
- b) o ouvido interno, o ouvido médio e o ouvido externo.
- c) o martelo, a bigorna e o carpo.
- d) o martelo, a falange e o metacarpo.
- e) o martelo, a bigorna e o estribo.

Referências

- ACERVO Digital/PPGETEG. **Anatomia do ouvido humano**. Disponível em: <<http://www.ead.ufrpe.br/acervo-digital-eadtec/node/541>>. Acesso em: 3 fev. 2018.
- BÊHANCE. **Como funciona a visão humana?** Disponível em: <<https://www.behance.net/gallery/31897681/Como-funciona-a-visao-humana>>. Acesso em: 3 fev. 2018.
- CIÊNCIA na vida. **O globo ocular**. Disponível em: <<http://www.cemtrn.com.br/ciencia-navida/?p=711>>. Acesso em: 3 fev. 2018.
- DURAN, J. E. R. **Biofísica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2011.
- GARCIA, E. A. C. **Biofísica**. 2. ed. São Paulo: Savier, 2015.
- HENEINE, I. F. **Biofísica básica**. São Paulo: Atheneu, 2008.
- JÚNIOR Julhilson et al. **Fundamentos de Física e Biofísica**. Alagoinhas: Somesb/FTC-EaD, 2007. Disponível em: <<http://facige.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2013/05/04-FundamentosdeFisicaeBiofísica.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2017.
- MARQUES, G. C.; UETA, N. **Ótica (Básico)**. Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada, 2007. Disponível em: <<http://efisica.if.usp.br/optica/basico/>>. Acesso em: 15 nov. 2017.
- MUNDO Educação. **Olho humano: um instrumento óptico**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/olho-humano-um-instrumento-optico.htm>>. Acesso em: 3 fev. 2018.
- NOBRE, S. S. **Biofísica dos sistemas do corpo humano**. 9 jun. 2008. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/biofisica/6804>>. Acesso em: 3 fev. 2018.
- MOURÃO JÚNIOR, C. A.; ABRAMOV, D. M. **Biofísica essencial**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.
- SOUZA, L. Lima. Efeito de duas técnicas osteopáticas na capacidade vital e na configuração tóraco-abdominal – Um estudo duplo-cego randomizado. **Portal da Osteopatia**. Disponível em: <<http://www.portalosteopatia.com.br/efeito-de-duas-tecnicas-osteopaticas-na-capacidade-vital-e-na-configuracao-toracoabdominal-Um-estudo-duplo-cego-randomizado>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

Métodos biofísicos de análises

Convite ao estudo

Caro estudante, chegamos à nossa última unidade de estudos. Até aqui, você já desvendou muitos mistérios do corpo humano e foi maravilhoso, não é mesmo? Agora, vamos adentrar em mais um assunto de extrema importância para a sua carreira profissional.

Você deve imaginar que a maioria das substâncias encontradas na natureza não são puras, ou seja, são misturas constituídas de duas ou mais substâncias diferentes. Assim, para conhecer os componentes da mistura, é necessário submetê-la a um processo de separação.

A separação, análise ou fracionamento das soluções é importante para vários aspectos do nosso cotidiano, como para separar as impurezas da água e torná-la própria para consumo, na produção de metais e de componentes utilizados, na produção de fármacos, medicamentos, alimentos, bebidas, produtos de higiene e limpeza, na obtenção do sal de cozinha, na análise dos componentes do sangue nos laboratórios, para identificar doenças, até mesmo para separar os componentes do lixo e destiná-los ao tratamento correto ou para reciclagem, e assim por diante.

No entanto, para realizar a separação de misturas, é necessário aplicar técnicas ou métodos distintos para cada caso, pois as composições variam. As técnicas podem ser físicas, químicas ou físico-químicas e o princípio fundamental é usar as propriedades dos componentes das misturas para separá-las. Essas propriedades podem ser ponto de fusão, ponto de ebulição, solubilidade, densidade, afinidade molecular, entre outras.

Nesta unidade, você vai aprender três métodos: cromatografia, eletroforese e espectrofotometria. Esses são

métodos biofísicos de análises que utilizam técnicas físico-químicas para a separação e identificação dos componentes de soluções biológicas. Cada método possui sua particularidade e vantagem de aplicação. Parece bastante interessante, não é mesmo?

Para praticar os conhecimentos adquiridos, você será desafiado mais uma vez a resolver uma situação-problema. Para obter informações sobre sistemas biológicos no nível atômico ou molecular, são utilizadas as técnicas biofísicas de análises. Atualmente, existem diversas técnicas empregadas nas mais diversas áreas, para diferentes finalidades. Existem também muitos laboratórios que oferecem serviços de análises biofísicas.

Você foi recrutado para trabalhar como supervisor em um laboratório que utiliza métodos biofísicos, como cromatografia, eletroforese e espectrofotometria para análises de soluções biológicas. Ao iniciar suas atividades, você percebe que sua equipe de trabalho, apesar de realizar corretamente as atividades, não compreende a finalidade de cada um dos métodos. Assim sendo, você resolve elaborar descritivos sucintos para auxiliar a equipe a compreender melhor cada técnica, explicando o princípio físico, quando e em quais situações cada um dos métodos é indicado. Como explicar cada uma das técnicas? Para que serve cada uma delas? Quais informações colocar nos descritivos?

Compreender e saber colocar em prática cada uma das técnicas biofísicas de análise é de grande valia para a sua formação profissional. Por isso, dedique-se aos estudos e às atividades práticas. Ao final, você certamente estará preparado para solucionar as situações propostas neste desafio. Tenha um excelente estudo!

Seção 4.1

Cromatografia

Diálogo aberto

As soluções biológicas são compostas de uma quantidade enorme de substâncias, como íons, moléculas, glicose, ureia, creatinina, colesterol, lipídeos, proteínas, entre outras, além da água, que, como você deve recordar, é o solvente universal.

Em muitas situações, é extremamente importante estudarmos a composição quali-quantitativa dessas substâncias nos sistemas biológicos. Você já parou para pensar, por exemplo, como é possível purificar produtos farmacêuticos? Ou como os laboratórios conseguem identificar e quantificar as substâncias presentes em uma solução? Como podemos determinar a composição de um produto ou, ainda, quantificar suas impurezas? Para isso, podemos usar métodos biofísicos que permitem separar, identificar e quantificar esses componentes. A cromatografia é um dos possíveis métodos que podemos utilizar para essa finalidade, sendo extremamente preciso e rápido. No decorrer dos estudos, você certamente entenderá a teoria e a finalidade de aplicação dessa técnica.

Que tal colocar em prática o aprendizado desta seção resolvendo mais um desafio? Agora, você é o supervisor de um laboratório de análises biofísicas. Você domina o conceito e a aplicação prática da cromatografia, mas sua equipe de trabalho não possui a mesma *expertise* que você. Será sua responsabilidade desenvolver sua equipe e compartilhar seus conhecimentos. Para isso, você decide elaborar um descritivo sobre a técnica de cromatografia. Em que consiste essa técnica? Quando a utilizar e para quê? Qual é o princípio envolvido nessa tecnologia? Quais informações você colocaria no descritivo?

Elaborar um bom descritivo é desafiador e será fundamental para o sucesso da sua equipe. Não deixe de se dedicar aos estudos. Aproveite a oportunidade!

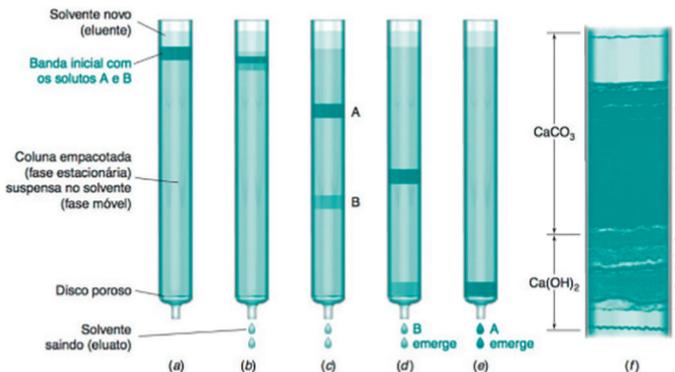
Não pode faltar

A **cromatografia** é uma técnica de separação caracterizada pela distribuição dos componentes de uma mistura entre um fluido (fase móvel) e um adsorvente (fase estacionária, sendo uma superfície sólida insolúvel, geralmente porosa e com alta área de superfície, capaz de efetuar, em sua superfície, a adesão de moléculas insolúveis, dispersas em um meio líquido ou gasoso).

O nome da técnica é de origem grega e remete à formação de bandas de cores diferentes (pigmentos coloridos) no processo de separação. A cromatografia ganhou importância em 1903, com o botânico italiano Mikhail Semenovich Tswett.

A separação dos componentes de uma solução por cromatografia consiste no fato de que uma das fases é mantida fixa, enquanto a outra fase se desloca. A Figura 4.1 mostra uma solução contendo os solutos A e B, colocados no topo de uma coluna repleta com partículas sólidas e preenchida com solvente. Quando a saída é aberta, os solutos A e B fluem para baixo através da coluna. Mais solvente é, então, adicionado no topo da coluna e a mistura escoá pela coluna devido ao fluxo contínuo de solvente. Se o soluto A é mais fortemente adsorvido pelas partículas sólidas do que o soluto B, então o soluto A passa menos tempo livre na solução. Consequentemente, o soluto A se movimenta para baixo, através da coluna, mais lentamente do que o soluto B, e emerge no fundo da coluna após o soluto B. É assim que se separa uma mistura em seus componentes por cromatografia, como explica Harris (2012).

Figura 4.1 | Cromatografia



Fonte: Harris (2012, p. 582).

Em cromatografia, como explicado por Harris (2012), a fase móvel (o solvente que se move através da coluna) pode ser um líquido ou um gás. A fase estacionária (aquela que fica fixa dentro da coluna) é normalmente um líquido viscoso quimicamente ligado ao interior de um tubo capilar ou sobre a superfície de partículas sólidas empacotadas dentro da coluna. Alternativamente, como na Figura 4.1, as próprias partículas sólidas podem ser a fase estacionária. Em qualquer caso, é a distribuição dos solutos entre as fases móvel e estacionária que provoca a separação.

O fluido que entra na coluna é chamado de **eluente**. O fluido que emerge ao final da coluna é chamado de **eluato** e o processo de passagem de um líquido ou de um gás por uma coluna cromatográfica é chamado de **eluição**. As colunas podem ser empacotadas ou capilares. Uma coluna empacotada é preenchida com partículas da fase estacionária, como mostrado na Figura 4.1. Uma coluna capilar é um capilar oco estreito, com a fase estacionária cobrindo as paredes internas, segundo Harris (2012).

Como procedimento de separação, a cromatografia tem diversas aplicações. Segundo Compri-Nardy et al. (2009), na atualidade, utiliza-se geralmente o termo cromatografia para descrever qualquer método de separação que envolva a percolação de uma mistura de substâncias dissolvidas por um meio de suporte sólido e poroso, independentemente das forças que levam à separação da mistura. Devido à variedade de métodos cromatográficos atualmente utilizados, é interessante considerar os princípios básicos de cada técnica.

Em resumo, para separar componentes voláteis, utiliza-se a cromatografia gasosa. Já a cromatografia líquida é aplicada para purificar fármacos, aminoácidos, proteínas, vitaminas, esteroides e ácidos nucleicos.



Refleta

Você consegue imaginar as aplicações práticas e as vantagens da cromatografia?

Uma das maneiras de classificar a técnica de cromatografia é pelo modo de separação, levando em consideração os princípios físicos e químicos envolvidos na separação dos solutos entre as duas fases.

Na **cromatografia de adsorção**, as separações se dão por interações eletrostáticas, por meio de forças atrativas e repulsivas. Os componentes da amostra a ser analisada são separados entre a fase estacionária (sólido) e a fase móvel (líquido ou gás).

Na **cromatografia de afinidade** existe, entre o soluto e o ligante da fase estacionária, uma ligação peculiar e reversível entre as moléculas, o que faz com que essa técnica seja bastante utilizada para separar produtos biológicos, como ligações entre enzimas e substratos, anticorpos e antígenos etc. Esse método pode ser utilizado, por exemplo, para a purificação de qualquer proteína que se ligue com considerável especificidade a outra substância.

A **cromatografia de partição** é caracterizada pelas diferenças de solubilidade das substâncias na fase estacionária (líquido) e na fase móvel (líquido). A fase estacionária de dois solventes não miscíveis é imobilizada em um suporte sólido e inerte, em uma coluna cilíndrica, e a fase móvel, em equilíbrio com a fase estacionária, passa através da coluna, sendo possível separar uma mistura de substâncias dissolvidas nos solventes à medida que a fase móvel flui através da coluna. Quando a separação é obtida por interações iônicas entre os solutos e a matriz carregada, temos a chamada **cromatografia de permuta (troca) iônica**. A migração de um soluto iônico pela coluna depende da natureza da matriz iônica, das propriedades iônicas do soluto e do solvente.

A **cromatografia de exclusão molecular**, também conhecida como **filtração em gel**, separa os componentes mediante o tamanho das moléculas, ou seja, as moléculas grandes, por não penetrarem no interior do suporte, se movem mais rapidamente ao longo da coluna de onde emergem primeiro. Já as moléculas pequenas, por penetrarem no gel, têm a velocidade de deslocamento retardada e, desta forma, emergem da coluna por último.

A cromatografia também pode ser classificada pela natureza da fase móvel: gás ou líquido. A **cromatografia gasosa** possibilita a separação de substâncias voláteis que são arrastadas por um gás pela fase estacionária. A **fase estacionária** pode ser um sólido ou um líquido que permite a distribuição dos componentes da solução entre as duas fases, por meio de processos físicos e químicos. Um gás (também chamado de **gás de arraste**) é utilizado como fase móvel e é responsável por transportar a amostra através da coluna

cromatográfica até o detector onde as substâncias que compõem a mistura são identificadas. Os gases mais utilizados são hidrogênio, nitrogênio, argônio e hélio. A cromatografia gasosa é utilizada normalmente para fins analíticos.

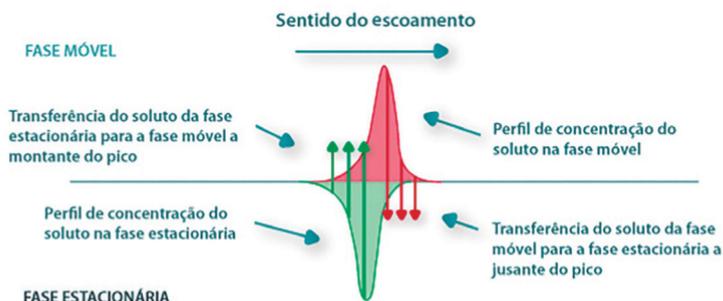
Para realizar a separação dos componentes de soluções líquidas, aplica-se a **cromatografia líquida**, que é adequada tanto para fins analíticos quanto para fins preparativos. Na cromatografia analítica, a amostra é injetada na coluna, usando-se uma pequena seringa. Em sistemas preparativos, a amostra é injetada na coluna através de uma válvula de injeção e é homoganeamente distribuída no topo da coluna. Na situação em que ocorre a percolação da fase móvel pela coluna, por meio da ação de uma força externa (como a gravidade, por exemplo), temos a chamada **cromatografia de baixa pressão**. Se essa força de percolação for mais intensa, como a gerada por uma bomba, de modo a superar a resistência da coluna ao escoamento da fase móvel, temos a **cromatografia de alta pressão**, também denominada **cromatografia de alta precisão** (HPLC). Os componentes da mistura se deslocam com velocidades distintas durante o processo de percolação e, na saída da coluna, são identificados em um detector que fornece um registro contínuo da composição da amostra analisada, formando o **cromatograma**. Os detectores mais comuns são os fotométricos de fluorescência, que são sensíveis a espécies fluorescentes e aos índices de refração.

Na cromatografia de alta precisão, a coluna cromatográfica pode suportar pressões acima de 350 bar, por ser constituída de partículas porosas esféricas. Quando a fase estacionária possui maior polaridade que a fase móvel, a cromatografia líquida é denominada de **cromatografia de fase normal**, sendo a alumina e a sílica os adsorventes mais utilizados nessa técnica. Na situação contrária, o processo recebe o nome de **cromatografia de fase reversa** e, neste caso, são empregadas substâncias polares quimicamente ligadas como adsorventes. Os eluentes mais utilizados são água, acetonitrilo e metanol.

Quanto ao modo de operação, a **cromatografia de eluição** é a técnica de uso mais comum. A amostra a ser analisada é injetada rapidamente no eluente, na entrada da coluna, e o eluente flui continuamente através da coluna. Os constituintes da amostra são progressivamente separados na saída da coluna, pois deslocam-se gradualmente em velocidades distintas, de acordo com os respectivos

graus de afinidade com o adsorvente, como mostra a Figura 4.2; são identificados como uma sucessão de “picos” em um cromatograma.

Figura 4.2 | Perfil de concentração do soluto na análise por eluição



Fonte: Portal Laboratórios Virtuais de Processos Químicos. Disponível em: <http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?Itemid=451&id=103&option=com_content&task=view>. Acesso em: 19 fev. 2018.

Na **análise frontal**, a mistura analisada é colocada continuamente no eluente e, à medida que a fase móvel percorre a coluna, os constituintes se distribuem entre as duas fases, emergindo da coluna em tempos distintos, de acordo com a saturação do adsorvente. Na **análise por deslocamento**, a amostra é colocada no topo da coluna e é arrastada pela fase móvel. Isso ocorre devido à substância com grande afinidade pela fase estacionária, que é mais fortemente adsorvida que qualquer um dos constituintes da amostra. Dessa forma, os componentes da mistura são sucessivamente deslocados, formando zonas de concentração constante e, como consequência, o perfil de concentração na saída da coluna possui o formato de um degrau.



Exemplificando

Como são classificados os diversos tipos de cromatografia?

As diferentes formas de cromatografia são classificadas de acordo com diversos critérios como mostrado a seguir:

Critério 1 - Tipo de suporte: Coluna; Planar (papel).

Critério 2 – Modo de separação: Adsorção; Partição; Permuta iônica; Exclusão molecular; Afinidade.

Critério 3 – Natureza da fase móvel: Gasosa (GC); Líquida (LC); Supercrítica (SFC).

Critério 4 – Objetivo da separação: Analítica; Preparativa (purificação).

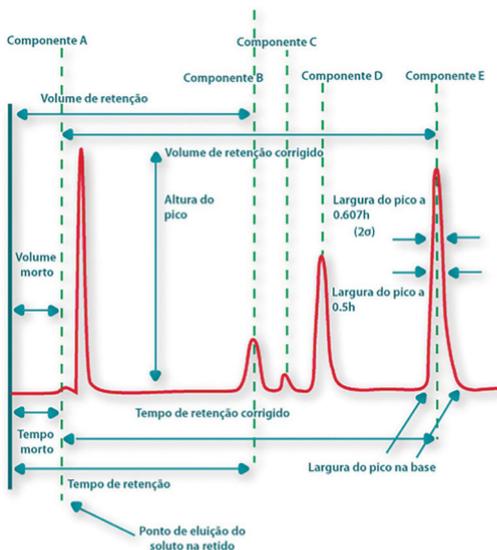
Critério 5 – Composição da fase móvel: Isocrática (constante); Gradiente (variável).

Critério 6 – Modo de operação: Análise frontal; Análise por deslocamento; Eluição.

Lembre-se de que na situação em que ocorre a percolação da fase móvel pela coluna, por meio da ação de uma força externa (como a gravidade, por exemplo), temos a chamada **cromatografia de baixa pressão**. Se essa força de percolação for mais intensa, como a gerada por uma bomba, de modo a superar a resistência da coluna ao escoamento da fase móvel, temos a **cromatografia de alta pressão**, também denominada **cromatografia de alta precisão (HPLC)**.

Em resumo, o objetivo da cromatografia é separar, identificar e quantificar os componentes de uma mistura. A Figura 4.3 exemplifica um cromatograma no qual se identifica uma sucessão de “picos” correspondentes aos componentes separados, bem como algumas grandezas características de uma análise cromatográfica. Essas grandezas são utilizadas para a quantificação dos componentes.

Figura 4.3 | Representação do cromatograma



Fonte: Portal Laboratórios Virtuais de Processos Químicos. Disponível em: <http://labvirtual.eq.uq.pt/siteJoomla/index.php?Itemid=451&id=103&option=com_content&task=view>. Acesso em: 19 fev. 2018.



Assimile

O **cromatograma** é um gráfico que representa os resultados da análise por cromatografia. Por meio dele, é possível identificar e quantificar os componentes da solução.

Atualmente, a cromatografia é um procedimento bastante disseminado em diferentes áreas e, por gerar resultados rápidos, precisos, por ser um método eficiente e de grande sensibilidade, é bastante utilizado no controle de qualidade em diversos segmentos de mercado.

Como exemplo, na indústria farmacêutica, é imprescindível ter cromatógrafos nos laboratórios de pesquisas, análises e desenvolvimento, pois são essenciais na determinação dos componentes da formulação de um medicamento, na verificação da concentração do princípio ativo, na quantificação das impurezas, na análise do estudo de estabilidade e identificação de substâncias orgânicas.



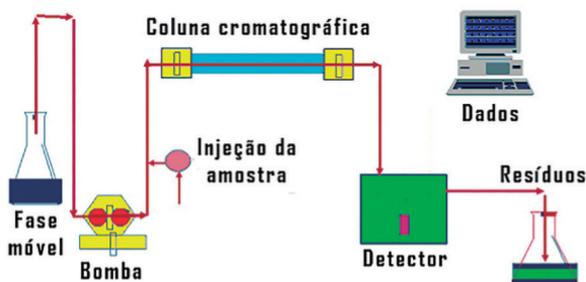
Assimile

A **cromatografia** é uma metodologia rápida, prática e precisa de análise de soluções, além de ser facilmente adaptável a diversas moléculas. Existem diversas técnicas cromatográficas e o método envolve uma série de processos físico-químicos de separação de misturas em função de suas características moleculares e destaca-se pela facilidade em efetuar não apenas a separação, mas também a identificação e quantificação das substâncias que compõem a mistura. Possui ainda uma faixa de aplicação ilimitada, podendo ser aplicada sozinha ou em conjunto com outras técnicas. É utilizada para a separação de moléculas menores até as maiores, como proteínas.

A tecnologia envolvida na cromatografia tem se aprimorado bastante desde a invenção da técnica, principalmente com a fabricação de equipamentos específicos para obter resultados mais precisos e confiáveis. Contudo, tanto para cromatografia líquida

quanto gasosa, a sequência do processo é praticamente a mesma, como mostra a Figura 4.4.

Figura 4.4 | Esquema da cromatografia líquida de alta eficiência



Fonte: Biomedicina Brasil. Disponível em: <<http://www.biomedicinabrasil.com/2012/10/metodos-cromatograficos.html>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

Atualmente, a cromatografia atingiu a alta *performance* na cromatografia líquida (CLAE, ou HPLC, em inglês) e na gasosa (CGAR), o que só foi possível devido à invenção e à utilização dos cromatógrafos (Figura 4.5).

Figura 4.5 | Cromatógrafo em fase líquida de alta *performance*



Fonte: MedicalExpo. Disponível em: <<http://www.medicalexpo.com/pt/prod/labomatic-instruments-ag/product-112703-815299.html>>. Acesso em: 24 fev. 2018.

A cromatografia líquida de ultraperformance (UHPLC, em inglês) surgiu mais recentemente. Para aumentar a sensibilidade do método de análise, os equipamentos de cromatografia podem ser conectados a equipamentos de outras tecnologias, como o espectrofotômetro. Ainda, a evolução na sensibilidade de captação dos detectores caracterizou uma grande evolução na cromatografia.

Por meio de um cromatograma como o da Figura 4.3, as análises dos resultados da cromatografia são registradas em um gráfico à medida que as substâncias são captadas pelos detectores. Dessa forma, é possível quantificar a concentração de cada uma das substâncias da solução. Normalmente, esse cálculo é feito por meio de uma análise geométrica que considera a relação entre a linha de base e a altura dos triângulos dos picos formados no gráfico.

É interessante ressaltar que, além da qualidade do conjunto do cromatógrafo, é importante também selecionar cuidadosa e adequadamente os tipos e as propriedades das colunas cromatográficas (fase estacionária) e dos solventes (fase móvel). Além disso, principalmente na cromatografia líquida, devido à alta sensibilidade dos sistemas, é muito importante estar alerta à pureza do que é injetado, para não danificar, contaminar nem gerar interferência nos resultados.



Pesquise mais

Saiba mais sobre as técnicas de cromatografia. Veja o vídeo sugerido:

DOCTORX000. **Cromatografia**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pdExSwSZUVU>>. Acesso em: 19 fev. 2018 (vídeo do YouTube).

Sem medo de errar

Você tem uma situação para resolver e é a hora de colocar em prática os conhecimentos adquiridos até aqui. Agora você é o supervisor de um laboratório de análises biofísicas. Você domina o conceito e a aplicação prática da cromatografia, mas sua equipe de trabalho não possui a mesma *expertise* que você. Será sua responsabilidade desenvolver sua equipe e compartilhar seus conhecimentos. Para isso, você decide elaborar um descritivo sobre a técnica de cromatografia. Em que consiste essa técnica? Quando a utilizar e para quê? Qual é o princípio envolvido nessa tecnologia? Quais informações você colocaria no descritivo?

Elaborar um bom descritivo é desafiador e será fundamental para o sucesso da sua equipe. Não deixe de se dedicar aos estudos. Aproveite a oportunidade!

Considerando todo o aprendizado obtido sobre a técnica de cromatografia, temos, a seguir, uma compilação das informações em forma de um procedimento, como solicitado no desafio.

- **Em que consiste a técnica de cromatografia?**

A **cromatografia** é uma técnica de separação caracterizada pela distribuição dos componentes de uma mistura entre um fluido (fase móvel) e um adsorvente (fase estacionária), sendo este uma superfície sólida insolúvel, geralmente porosa e com alta área de superfície, capaz de efetuar em sua superfície a adesão de moléculas insolúveis dispersas em um meio líquido ou gasoso.

O nome da técnica é de origem grega e remete à formação de bandas de cores diferentes (pigmentos coloridos) no processo de separação.

- **Quando utilizar a cromatografia e com que finalidade?**

Os métodos empregados para a purificação de substâncias de origem biológica foram desenvolvidos devido à frequente inaplicabilidade dos métodos convencionais de Química Orgânica no isolamento da maioria dos componentes da matéria viva (soluções biológicas). A maioria dos compostos é pouco solúvel em solventes orgânicos e deve ser purificada em soluções aquosas. Além disso, em qualquer classe de compostos biológicos, existem geralmente numerosas espécies que possuem ligeiras diferenças. Esses aspectos exigiram o desenvolvimento de métodos, como a cromatografia, que são muito seletivos, com alto grau de resolução e capazes de serem utilizados em uma gama extensa de compostos. Muitos desses métodos são também empregados em procedimentos analíticos quantitativos e extremamente sensíveis e para estabelecer a pureza de um determinado composto, segundo Compri-Nardy et al. (2009).

- **Qual é o princípio envolvido nessa tecnologia?**

Existem diversas técnicas cromatográficas e o método envolve vários processos físico-químicos de separação de misturas por causa de suas características moleculares, destacando-se pela facilidade em fazer, além da separação, também a quantificação e a identificação das substâncias que compõem a mistura. Possui

também aplicação ilimitada, podendo ser aplicada sozinha ou em conjunto com outras técnicas, sendo utilizada tanto para separação de moléculas menores como maiores, no caso das proteínas.

A tecnologia envolvida na cromatografia tem se aprimorado bastante desde a invenção da técnica, principalmente com a fabricação de equipamentos específicos para obter resultados mais precisos. Atualmente, a cromatografia atingiu a alta *performance* na cromatografia líquida (CLAE, ou HPLC, em inglês) e na gasosa (CGAR), o que só foi possível devido à invenção e à utilização dos cromatógrafos. Mais recentemente, surgiu a cromatografia líquida de ultraperformance (da sigla em inglês, UHPLC). Para aumentar a sensibilidade do método de análise, os equipamentos de cromatografia podem ser acoplados com outras tecnologias, como a espectrofotometria. Hoje, os detectores são muito mais sensíveis na captação de substâncias, o que configura uma grande evolução na cromatografia.

Ainda, por meio de um gráfico chamado de **cromatograma**, as análises dos resultados da cromatografia são registradas à medida que as substâncias atingem os detectores. Dessa forma, é possível quantificar a concentração de cada uma das substâncias da solução. Normalmente, esse cálculo é feito por meio de uma análise geométrica que considera a relação entre a linha de base e a altura dos triângulos dos picos formados no gráfico.

- **Quais as vantagens da cromatografia?**

A cromatografia é uma metodologia prática, precisa e rápida, de análise de soluções, além de ser facilmente adaptável a diversas moléculas.

Avançando na prática

Cromatografia gasosa

Descrição da situação-problema

O professor de Biofísica deseja colocar no mural do laboratório multidisciplinar da universidade um breve descritivo sobre algumas técnicas biofísicas de análises de soluções biológicas. Para isso,

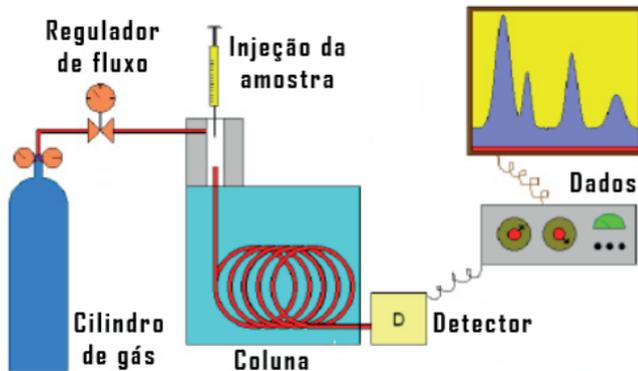
ele dividiu a turma em grupos e cada grupo ficou responsável por elaborar o descritivo de determinada técnica. Seu grupo ficou responsável por elaborar o descritivo da cromatografia gasosa. Nesse descritivo, além de falar sobre a técnica, vocês também devem comentar sobre as possíveis aplicações. Vamos lá? Como você faria?

Resolução da situação-problema

A cromatografia gasosa, como mostra a Figura 4.6, é uma forma de análise, separação e quantificação de misturas de substâncias voláteis com ponto de fusão de até 300°C e termoestáveis, por meio da introdução do material na fase estacionária, que pode ser sólida ou líquida. O método da cromatografia gasosa é dividido basicamente em três tipos:

- Cromatografia gás-sólido ou de partição.
- Cromatografia gás-líquido ou de adsorção.
- Cromatografia gasosa de alta resolução.

Figura 4.6 | Esquema da cromatografia gasosa.



Biomedicina Brasil. Disponível em: <<http://www.biomedicinabrasil.com/2012/10/metodos-cromatograficos.html>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

A cromatografia gasosa é utilizada em diversas áreas, como alimentícia, farmacêutica, ambiental, petroquímica, entre outras, por ser bastante versátil e poder separar e quantificar diversas substâncias, sendo também capaz de identificar algumas delas, se associada a um espectrômetro de massas.

Faça valer a pena

1. Considere a frase a seguir:

A _____ ganhou importância em 1903, com o botânico italiano Mikhail Semenovich Tswett. Essa técnica é utilizada até os dias de hoje para _____ os componentes de uma solução e consiste no fato de que uma das fases é mantida _____, enquanto a outra fase se desloca.

Escolha a alternativa que completa corretamente a frase:

- a) cromatografia; separar; fixa.
- b) cromatografia; aglomerar; fixa.
- c) espectrofotometria; separar; móvel.
- d) cromatografia; aglomerar; móvel.
- e) espectrofotometria: separar; fixa.

2. Considere as afirmações a seguir:

- I. A cromatografia se destaca pela facilidade em efetuar, além da separação, a identificação e quantificação dos componentes da mistura.
- II. O cromatograma é um gráfico que representa os resultados da análise por cromatografia e, aplicando cálculos geométricos nos picos obtidos pelo gráfico, é possível identificar e quantificar os componentes da solução.
- III. Atualmente, a cromatografia atingiu a alta *performance* na cromatografia líquida e na gasosa, o que só foi possível devido à invenção e utilização dos cromatógrafos.

Analisando as afirmações como verdadeiras (V) ou falsas (F), assinale a alternativa correta:

- a) I-F; II-F; III-F.
- b) I-F; II-V; III-V.
- c) I-V; II-F; III-F.
- d) I-V; II-F; III-V.
- e) I-V; II-V; III-V.

3. Considere as opções a seguir:

A – As separações se dão por interações eletrostáticas, por meio de forças atrativas e repulsivas entre a fase estacionária e os componentes a se separar da fase móvel.

B – É fundamentada nas diferenças de solubilidade dos componentes na fase estacionária e na fase móvel.

C – Existe, entre o soluto e o ligante na fase estacionária, uma ligação peculiar e reversível entre as moléculas, o que faz com que essa técnica seja bastante utilizada para separar produtos biológicos.

I. Cromatografia de partição.

II. Cromatografia de adsorção.

III. Cromatografia de afinidade.

A alternativa que correlaciona corretamente as opções dadas é:

a) I-A; II-B; III-C.

b) I-A; II-C; III-B.

c) I-B; II-A; III-C.

d) I-B; II-C; III-A.

e) I-C; II-B; III-A.

Seção 4.2

Eletroforese

Diálogo aberto

Caro aluno, como já discutimos na seção anterior, as soluções biológicas possuem, além do solvente universal (água), uma enorme variedade de componentes. Você já sabe que o estudo da composição qualitativa e quantitativa dessas soluções pode ser feito por meio de métodos biofísicos que possibilitem separar e identificar esses componentes. Nesta seção, estudaremos uma nova técnica de análise de soluções biológicas conhecida como eletroforese. É um método biofísico de estudo das soluções e consiste na separação dos componentes de um sistema pela aplicação de um campo elétrico. A eletroforese é um dos métodos mais usados nos laboratórios, tanto na forma fundamental como nas variações. Você já deve estar curioso, pensando em como aplicar a técnica de eletroforese? Como é possível separar os componentes de uma solução com um campo elétrico? Quais são os fundamentos e a teoria envolvidos nessa técnica? Não se preocupe, ao final desta seção de estudos você certamente entenderá a teoria, os princípios, a finalidade de aplicação da eletroforese, o que será de grande valia para a sua atuação profissional.

No intuito de colocar em prática o aprendizado obtido, vamos retomar a situação na qual você é supervisor de um laboratório que utiliza métodos biofísicos para análises de soluções biológicas e, para auxiliar a equipe a compreender melhor cada técnica, você resolve elaborar descritivos sucintos. Você obteve excelentes resultados no tocante ao desenvolvimento da sua equipe com o primeiro descritivo. Você percebeu que quando as pessoas compreendem de fato o que fazem, as tarefas são mais bem executadas e as chances de erros diminuem drasticamente. Além disso, as pessoas se envolvem com o processo e, inclusive, são capazes de sugerir melhorias. Sensacional, não é? Então, como supervisor, você está satisfeito com os resultados obtidos até aqui, mas sabe que ainda existe muito trabalho, afinal, outras técnicas são utilizadas no laboratório e você quer que sua equipe seja devidamente capacitada em todas elas.

Agora, você decide elaborar o descritivo sobre a eletroforese. Novamente, você precisa se preparar e pensar, por exemplo, em que consiste essa técnica? Quando a utilizar e para quê? Qual é o princípio envolvido? Quais informações considerar?

Você é um grande e admirável supervisor. Não lhe falta competência para enfrentar mais esse desafio com excelência. Confie em você!

Não pode faltar

Uma das técnicas analíticas mais importantes disponíveis para a investigação de DNA, análise de proteínas e enzimas é a chamada **eletroforese**. Sua aplicação é extensiva a diversas áreas, como análises clínicas, pesquisas, entre outras, e, devido à constante melhoria de sua qualidade analítica e à simplificação de seu uso, a eletroforese tem permitido resultados precisos, com excelentes graus de reprodutibilidade e sensibilidade, sendo cada vez mais expandida nos laboratórios prestadores de serviços médicos.

Como explicado por Naoum (2012), historicamente a eletroforese foi introduzida como meio de auxílio ao diagnóstico clínico em 1937, pelo bioquímico sueco Arne Tiselius. De modo geral, os métodos eletroforéticos disponíveis até o presente têm pelo menos duas aplicações bem definidas:

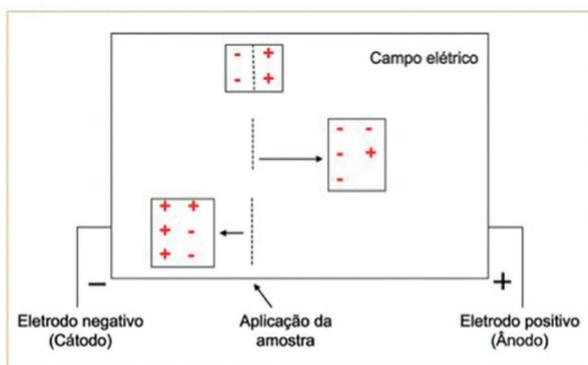
1) O fracionamento de proteínas, enzimas e hemoglobinas que permitem estabelecer relações entre concentrações alteradas e/ou posicionamentos anormais de frações com patologias específicas.

2) O fracionamento de segmentos de DNA, previamente submetidos a métodos de biologia molecular que permitem estabelecer genótipos e haplótipos de interesse clínico e antropológico, para resolução de casos de paternidade questionada e em Medicina Forense.

Em resumo, apesar de ter sido descrita há décadas, a eletroforese se mantém como técnica viva e atual, com mecanismos cada vez mais sofisticados para o uso laboratorial na rotina e na pesquisa científica. A técnica consiste na separação dos componentes de um sistema pela aplicação de um campo elétrico, sendo mais um método biofísico de análise de soluções.

A explicação físico-química da eletroforese é relativamente simples e está ilustrada na Figura 4.7. Emprega-se uma corrente contínua para separar os componentes do sangue, urina, liquor e outras soluções, aplicando-se uma corrente elétrica a eles. Quanto maior a corrente, maior será a velocidade com que se moverá uma substância em relação a outra que tiver em sua composição maior número de cargas elétricas positivas ou negativas nos aminoácidos que compõem as moléculas de proteínas ou de enzimas. Dessa forma, os componentes com cargas elétricas equilibradas permanecerão parados e os outros componentes mais carregados eletricamente se moverão em direção ao eletrodo de carga elétrica oposta, conforme descrito por Naoum (2012).

Figura 4.7 | Explicação físico-química da eletroforese



Fonte: Naoum (2012, p. 7).



Assimile

Quando uma solução é submetida a um campo elétrico, os cátions migram para o cátodo (polo negativo) e os ânions, para o ânodo (polo positivo). A técnica de eletroforese permite a separação analítica ou preparação dos componentes de uma mistura de várias espécies iônicas com cargas diferentes. Além da separação qualitativa de partículas carregadas, a eletroforese permite separar partículas com a mesma carga, porém com quantidades de cargas diferentes, segundo Compri-Nardy et al. (2009).

De acordo com Naoum (2012), os princípios da eletroforese têm por base os conhecimentos da química de proteínas e dos fatores físicos, que determinam a movimentação de moléculas em

um campo elétrico. Denomina-se campo elétrico o conjunto de sistemas que permite a movimentação de substâncias eletricamente carregadas. Resumidamente, o conjunto de sistemas é composto de:

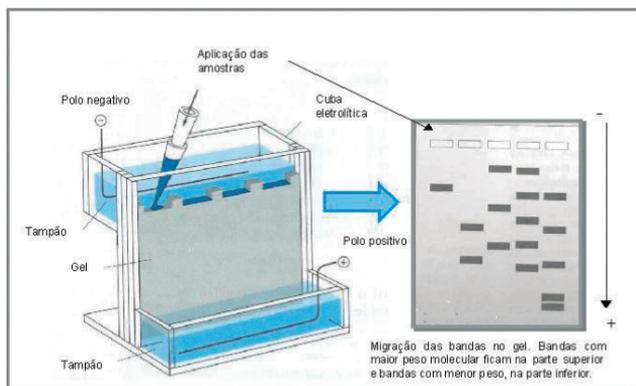
1 - Suporte de fracionamento (gel): acetato de celulose, gel de agarose, gel de poliacrilamida, tubos capilares etc.

2 - Cuba de eletroforese (cuba eletrolítica): equipamento composto de dois compartimentos, um com polaridade negativa (cátodo) e outro com polaridade positiva (ânodo), preenchidos com solução-tampão.

3 - Fonte de voltagem: equipamento que transforma a corrente alternada em contínua e permite regular a intensidade da corrente, geralmente controlada por meio da voltagem ou da amperagem. Esse equipamento determina a polaridade (- ou +) dos compartimentos eletrolíticos da cuba de eletroforese.

4 - Solução-tampão: composto de água, sal básico e sal ácido. Quando o sal básico é forte e o sal ácido é fraco, o tampão se torna alcalino, com pH geralmente entre 8,0 e 9,5. Quando o sal ácido é forte e a base é fraca, o tampão se torna ácido, com valores de pH situados entre 5,0 e 6,0. A solução-tampão tem concentração específica para cada tipo de eletroforese e é dada pelo grau de sua molaridade (M). Essa concentração molar também é conhecida como "força iônica" do tampão. A Figura 4.8 é uma representação da técnica de eletroforese.

Figura 4.8 | Eletroforese



Fonte: Biowiki. Disponível em: <<http://www.biowiki.com.br/doku.php?id=eletroforese>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

O fracionamento de substâncias enzimáticas ou proteicas no sistema eletroforético se torna possível em razão de os aminoácidos que as compõem serem carregados eletricamente. As proteínas são formações de polímeros constituídos de aminoácidos. Os polímeros de aminoácidos podem ser hidrolisados quimicamente em pedaços de diferentes tamanhos, denominados **peptídeos**. Por esse motivo, os grupos amino (NH^{+3}) e carboxil (COO^{-}) são denominados grupos polares, em razão de sua capacidade de expor as cargas elétricas.

A maioria dos aminoácidos possui pI (ponto isoelétrico) próximo do neutro (entre cinco e sete), contudo, quando se juntam aos polímeros proteicos ou enzimáticos, tornam as moléculas carregadas negativamente. Por isso, o sistema eletroforético alcalino é o tipo usado para a maioria das análises dessas substâncias. **Ponto isoelétrico** (pI) é a denominação que se dá quando as cargas negativas e positivas do aminoácido estão em equilíbrio.

Os aminoácidos em solução tamponada comportam-se como eletrólitos. Eles carregam uma carga positiva (+) ou negativa (-), de acordo com o pH da solução-tampão utilizada.

Em um meio alcalino ($pH > 7,0$), os aminoácidos ficam carregados negativamente, pois doam seu íon H^{+} ao excesso de OH^{-} da solução, formando água e comportando-se como um ácido.

Em uma solução ácida ($pH < 7,0$), os aminoácidos ficam carregados positivamente, agindo como uma base, ao aceitarem íon H^{+} da solução. Em solução neutra, os aminoácidos apresentam um estado de equilíbrio, formando um íon dipolar (carregam cargas positivas e negativas, simultaneamente).

Perceba que um resultado de pI significa que o aminoácido ou a proteína tem mais cargas negativas. Por esse motivo, a escolha do pH do tampão tem relação com o pI da proteína analisada.

Visto que as proteínas são estruturas com diferentes graus de complexidade, a separação por meio da técnica de eletroforese não pode ser a mesma para todas. Por esse motivo, existem tampões com sais e molaridades específicos para cada tipo de proteína ou de enzima que se pretenda fracionar.



Na eletroforese, como a molaridade da solução-tampão influencia a migração das partículas?

Naoum (2012) explica que esse conjunto de influências pode ser exemplificado com as hemoglobinas A e C em eletroforese alcalina. Nesse exemplo, será usada uma corrente elétrica constante em volts (p. ex.: 300 volts), com variação da carga efetiva da Hb A e da Hb C, que são diferentes (a Hb C tem menos carga negativa que a Hb A). Também será mostrado, nas Figuras 4.9 e 4.10, o que ocorre com as variações na molaridade do tampão usando o mesmo suporte – o acetato de celulose.

1 – Situação padrão (molaridade: 0,4 M)

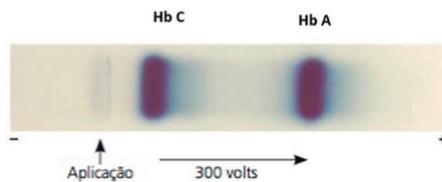
Especificações:

Tampão: TEB, pH 9,0/0,04 M

Suporte: Acetato de celulose

Tempo: 20 minutos

Figura 4.9 | Primeira situação



Fonte: Naoum (2012, p. 11).

2 – Situação com variação da molaridade (molaridade: 0,2 M)

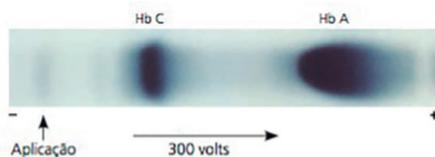
Especificações:

Tampão: TEB, pH 9,0/0,02 M

Suporte: Acetato de celulose

Tempo: 20 minutos

Figura 4.10 | Segunda situação



Fonte: Naoum (2012, p. 12).

Perceba que na situação 1 foi usado o procedimento padrão e a separação entre as frações de Hb A e Hb C foi de 3 cm. Na situação 2, o tampão TEB foi diluído com diminuição de sua molaridade (0,04 M para 0,02 M). Esse fato permitiu que as frações de Hb A e Hb C se deslocassem com maior velocidade e aumentassem o tamanho da separação entre elas para 3,5 cm, ficando ambas mais espalhadas com a perda de qualidade analítica.

Assim, de acordo com Naoum (2012), o termo eletroforese é usado para descrever a migração de uma partícula carregada sob influência de um campo elétrico. Sob condições de corrente elétrica constante, a força de deslocamento de uma partícula é o produto de sua carga efetiva, do potencial de gradiente (molaridade do tampão) e da resistência do meio usado como suporte (ágar, acetato, gel, capilar). Fisicamente, a mobilidade eletroforética m é definida como a distância d percorrida em um tempo t por uma partícula sob influência de um potencial de gradiente E , conforme a seguinte fórmula:

$$m = \frac{d}{t \cdot E}.$$



Refleta

Na maioria das vezes, citamos e exemplificamos a aplicabilidade da eletroforese para a separação de proteínas. Mas será que somente as proteínas podem ser fracionadas por eletroforese ou o método também é aplicável a outras moléculas?

A eletroforese é uma técnica que produz o movimento de íons através de um suporte (gel), como citado anteriormente e ilustrado na Figura 4.8. Existem diferentes suportes, o que caracteriza os diversos tipos de eletroforese, que são: acetato de celulose, gel de ágar ou agarose, gel de poliacrilamida e eletroforese capilar. O movimento elétrico de baixa intensidade ocorre em direção oposta ao sentido da eletroforese, devido à troca iônica entre as partículas analisadas e os grupos eletricamente carregados que compõem o suporte, o que é conhecido por **eletroendosse**.

No tocante à eletroforese por acetato de celulose, Naoum (2012) explica que é interessante saber que esse suporte possui diversas

vantagens para uso em eletroforese, como absorção uniforme das proteínas; mínimas quantidades de material para serem aplicadas; características físico-químicas bem definidas e proporcionadas pela homogeneidade dos microporos; material com relativa pureza e neutralidade química; possibilidade de transparentar para leitura densitométrica e arquivamento por longo período de tempo. Assim, o acetato de celulose passou a ser destinado às análises de proteínas, lipoproteínas, isoenzimas e hemoglobinas. Além disso, substâncias com baixo peso molecular, como os aminoácidos, peptídeos, nucleotídeos, entre outras, também podem ser fracionadas por eletroforese de acetato de celulose, o que tornou a técnica bastante difundida em laboratórios clínicos.

Ágar é outro suporte heterogêneo de dois polissacarídeos (agarose e agarpectina), que forma um gel. O grau de pureza do ágar, utilizado como meio de fracionamento eletroforético de substâncias enzimáticas e proteicas, também influencia o resultado. Independentemente da origem (produção industrial ou própria), o resultado do fracionamento eletroforético em gel de agarose é considerado muito eficiente. Essa técnica pode ser utilizada para análises de rotina laboratorial no fracionamento de enzimas, proteínas, lipoproteínas e hemoglobinas, como também em pesquisas científicas e em biologia molecular, como na separação de fragmentos de DNA.

Na eletroforese em gel de poli(acrilamida), a proteína ou enzima é separada por meio de seu tamanho (ou peso molecular) e pela sua carga elétrica (ou ponto isoelétrico). Assim, a preparação do gel de poli(acrilamida) pode ser realizada com diferentes faixas de peso molecular, de acordo com as substâncias a serem submetidas a esse processo.



Pesquise mais

Saiba mais sobre a eletroforese em gel e veja a aplicação dessa técnica para a separação de fragmentos de DNA. Entenda como é possível calcular o tamanho de um fragmento com base na sua razão de migração. Assista ao vídeo indicado a seguir: KHAN Academy em Português. Eletroforese em gel | Biotecnologia | Biologia | Khan Academy. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=B2KLuzD_suQ>. Acesso em: 19 fev. 2018.

Outro tipo é a eletroforese de focalização isoelétrica (EFI) e, como explicado por Naoum (2012), é um método idealizado especificamente para o fracionamento de espécies moleculares (proteínas, enzimas, DNA, peptídeos etc.), somente por suas cargas elétricas. Esse método permite que cada proteína migre para sua posição correspondente, de acordo com o seu ponto isoelétrico (pI), concentrando-se em zonas ou faixas à medida que a espécie molecular analisada alcança a posição do pH estabelecido. A qualidade da separação de frações é superior a qualquer outro tipo de eletroforese, porém tem alto custo. A necessidade de pessoal especializado para executá-la e interpretá-la torna seu uso restrito a pesquisas científicas. No Brasil, a EFI tem importante uso no rastreamento de hemoglobinopatias em sangue de recém-nascidos, ou seja, o “teste do pezinho”.

Com o desenvolvimento tecnológico, outro método conhecido como eletroforese capilar tornou-se possível graças à criação de tubos capilares que garantem a pureza dos materiais. Por meio dessa técnica, é possível empregar diversos modos de separação, com mecanismo e seletividade característicos: eletroforese capilar de zona, focalização isoelétrica capilar, isotacoforese capilar, eletroforese capilar em gel e eletrocromatografia capilar. Dentre todos esses tipos, destaca-se a eletroforese capilar de zona, por ser a mais utilizada no fracionamento de hemoglobinas e proteínas em série, em razão da simplicidade e da capacidade de otimização do método. Neste tipo de eletroforese, a migração de espécies moleculares ocorre em razão da combinação dos efeitos dos fluxos eletroforético e eletroendosmótico gerados pela aplicação de um campo elétrico.



Assimile

O fato mais importante pelo qual a eletroforese se distingue de todas as outras técnicas de separação de misturas é que todas as partículas da mesma espécie que possuem a mesma carga se repelem mutuamente, evitando conglomerações, formação de complexos e reações entre elas.

Cada partícula migra independentemente, mantendo sua estrutura e suas propriedades, o que torna a eletroforese aplicável a todos os íons, desde inorgânicos até moléculas mais complexas (proteínas), incluindo também partículas macroscópicas portadoras de carga elétrica, segundo Compri-Nardy et al. (2009).

Sem medo de errar

Vamos praticar o que aprendemos até aqui? Lembre-se de que, na situação-problema, você é supervisor de um laboratório que utiliza métodos biofísicos para análises de soluções biológicas e, para auxiliar a equipe a compreender melhor cada técnica, você resolve elaborar descritivos sucintos. Você já obteve excelentes resultados no tocante ao desenvolvimento da sua equipe com o primeiro descritivo. Você percebeu que quando as pessoas compreendem de fato o que fazem, as tarefas são mais bem executadas e as chances de erros diminuem drasticamente. Além disso, as pessoas se envolvem com o processo e, inclusive, são capazes de sugerir melhorias. Sensacional, não é? Então, como supervisor, você está satisfeito com os resultados obtidos até aqui, mas sabe que ainda existe muito trabalho, afinal, outras técnicas são utilizadas no laboratório e você quer que sua equipe seja devidamente capacitada em todas elas.

Agora, você decide elaborar o descritivo sobre a eletroforese. Novamente, você precisa se preparar e pensar, por exemplo, em que consiste essa técnica? Quando a utilizar e para quê? Qual é o princípio envolvido? Quais informações considerar?

Você é um grande e admirável supervisor. Não lhe falta competência para enfrentar mais esse desafio com excelência. Confie em você!

Considerando todo o aprendizado obtido sobre a técnica de cromatografia, temos, a seguir, uma compilação das informações em forma de um procedimento, como solicitado no desafio.

- **Em que consiste a técnica de eletroforese?**

A eletroforese consiste na separação dos componentes de um sistema pela aplicação de um campo elétrico, sendo um método biofísico de análise de soluções usada para separar moléculas com tamanhos e cargas diferentes. Basicamente, a técnica consiste em aplicar um gel (suporte) que servirá para separar as diferentes moléculas por meio do seu peso molecular, com a aplicação de um campo elétrico. A mistura de moléculas (DNA, proteínas, enzimas etc.) é colocada em pontos diferentes do gel e, em seguida, inserida

em placas de vidros com soluções-tampão e, por fim, submetida à corrente elétrica. Dessa forma, as moléculas de menor peso molecular migrarão para o polo oposto com maior velocidade em relação às moléculas maiores. No final, mediante a exposição do gel à luz ultravioleta, é possível visualizar a separação das moléculas, o que é apresentado em fragmentos dispostos em bandas, de acordo com os tamanhos das moléculas analisadas. Ainda, é possível calcular o tamanho de cada fragmento com base na sua razão de migração. Vale ressaltar que quanto maior a corrente elétrica, maior será a velocidade com que a substância se moverá em relação a outra que tiver em sua composição maior número de cargas elétricas positivas ou negativas. Dessa forma, os componentes com cargas elétricas equilibradas permanecerão parados e os outros componentes mais carregados eletricamente se moverão em direção ao eletrodo de carga elétrica oposta. Lembre-se de que existem diversos tipos de eletroforese caracterizados pelos tipos de suporte (gel) utilizado (acetato de celulose, gel de ágar ou agarose, gel de poliácridamida e eletroforese capilar) e cada suporte possui qualidades e vantagens particulares em relação às substâncias a serem analisadas.

- **Quando utilizar a eletroforese e com que finalidade?**

A eletroforese é uma das técnicas analíticas mais importantes para a investigação de DNA, análise de proteínas e enzimas. É bastante útil quando queremos analisar o tamanho das moléculas ou verificar o resultado de uma amplificação de DNA. No Brasil, a eletroforese tem importante uso, por exemplo, no rastreamento de hemoglobinopatias em sangue de recém-nascidos, ou seja, o "teste do pezinho".

Em resumo, a eletroforese é aplicável ao fracionamento de proteínas, enzimas e hemoglobinas que permitem estabelecer relações entre concentrações alteradas e/ou posicionamentos anormais de frações com patologias específicas, ao fracionamento de segmentos de DNA, previamente submetidos a métodos de biologia molecular que permitem estabelecer genótipos e haplótipos de interesse clínico e antropológico, à resolução de casos de paternidade questionada e em Medicina Forense.

- **Qual é o princípio envolvido nessa tecnologia?**

Os princípios da eletroforese têm por base os conhecimentos da química de proteínas e dos fatores físicos, que determinam a movimentação de moléculas em um campo elétrico. Resumidamente, o conjunto de sistemas é composto de suporte de fracionamento (acetato de celulose, gel de agarose, gel de poliacrilamida, tubos capilares etc.); cuba de eletroforese; fonte de voltagem; solução-tampão.

O fracionamento de substâncias enzimáticas ou proteicas no sistema eletroforético se torna possível em razão de os aminoácidos que as compõem serem carregados eletricamente. O termo eletroforese é usado para descrever a migração de uma partícula carregada sob influência de um campo elétrico. Quando uma solução é submetida a um campo elétrico, os cátions migram para o cátodo (polo negativo) e os ânions, para o ânodo (polo positivo). A técnica de eletroforese permite a separação analítica ou preparação dos componentes de uma mistura de várias espécies iônicas com cargas diferentes. Além da separação qualitativa de partículas carregadas, a eletroforese permite separar partículas com a mesma carga, porém com quantidades de cargas diferentes.

- **Quais as vantagens da eletroforese?**

O fato mais importante pelo qual a eletroforese se distingue de todas as outras técnicas de separação de misturas é que todas as partículas da mesma espécie que possuem a mesma carga se repelem mutuamente, evitando conglomerações, formação de complexos e reações entre si. Cada partícula migra independentemente, mantendo sua estrutura e suas propriedades. O que torna a eletroforese aplicável a todos os íons, desde inorgânicos até moléculas mais complexas (proteínas), incluindo também partículas macroscópicas portadoras de carga elétrica, é o fato de suas características não sofrerem alterações. De modo geral, a eletroforese se processa com rapidez, eficiência e apresenta alto grau de definição analítica das frações separadas. É necessária pequena quantidade de amostra para a realização da técnica, além de ser de fácil manuseio e de baixo custo operacional.

Teste do pezinho

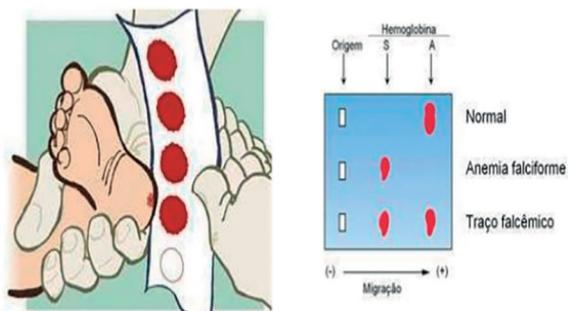
Descrição da situação-problema

A eletroforese de hemoglobina é um exame realizado para medir e identificar os diferentes tipos de hemoglobina que podem ser encontrados no sangue. A hemoglobina é uma proteína dos glóbulos vermelhos responsável por transportar oxigênio para todo o corpo. No entanto, algumas pessoas possuem uma mutação genética que leva à produção de hemoglobinas anormais, o que pode causar diversas doenças, entre elas a anemia falciforme. Indivíduos com essa doença possuem as hemoglobinas mais rígidas e em formato de foice; apresentam isquemia, dor, necrose, disfunções, bem como danos permanentes aos tecidos e órgãos. A fim de diagnosticar e tratar precocemente a doença, os recém-nascidos são submetidos ao chamado “teste do pezinho”, que retira amostra de sangue do pé do bebê e, mediante a análise por eletroforese, é possível identificar a presença da hemoglobina anormal. Será que você consegue explicar como é possível obter essa informação por meio da eletroforese?

Resolução da situação-problema

Na eletroforese, a amostra é submetida a uma corrente elétrica e a separação das hemoglobinas é baseada nas taxas de migração das moléculas, que se dividem em bandas diferentes de acordo com seu peso molecular. O resultado obtido deve ser comparado a um padrão normal, saudável, verificando-se a presença de hemoglobinas anormais, como mostra a Figura 4.11.

Figura 4.11 | Teste do pezinho – Eletroforese de hemoglobina.



Fonte: Pereira (2018). Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/sonaraso1/anemia-falciforme-apresentao>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

Faça valer a pena

1. A eletroforese é uma técnica que produz o movimento de íons através de um suporte (gel). Existem diferentes suportes, o que caracteriza os diversos tipos de eletroforese existentes atualmente.

Assinale a alternativa que contém os tipos de eletroforese:

- a) acetato de celulose, agarose, gel de poliacrilamida e eletroforese capilar.
- b) proteínas, DNA, RNA e enzimas.
- c) polissacarídeos, acetato de celulose, gel de ágar e proteínas.
- d) tubo capilar, gel de poliacrilamida, molecular e hemoglobina.
- e) polissacarídeos, EFL, acetato de celulose e agarose.

2. Considere a frase a seguir:

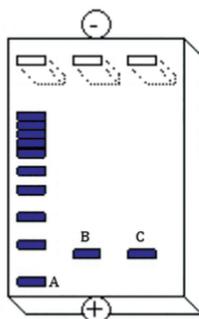
O fracionamento de substâncias no sistema eletroforético se torna possível em razão de os _____ que as compõem serem carregados(as) eletricamente. O termo _____ é usado para descrever a migração de uma partícula carregada sob influência de um(a) _____.

Marque a opção que completa corretamente a frase:

- a) enzimas; eletroforese; computador.
- b) aminoácidos; cromatografia; gel.
- c) aminoácidos; eletroforese; campo elétrico.
- d) proteínas; cromatografia; campo elétrico.
- e) íons; espectrofotometria; solução.

3. Considere a Figura 4.12, que representa amostras sendo submetidas ao processo biofísico de análise e fracionamento por eletroforese.

Figura 4.12 | Amostras no processo de eletroforese



Fonte: Biowiki. Disponível em: <http://www.biowiki.com.br/img/Biotecnologia/Biotecnologia_eletroforese1.jpg>. Acesso em: 19 fev. 2018.

Sendo A, B e C moléculas, podemos afirmar que a relação entres seus pesos moleculares é:

- a) $A > B > C$.
- b) $A = B = C$.
- c) $A < B < C$.
- d) $A > B = C$.
- e) $A < B = C$.

Seção 4.3

Espectrofotometria

Diálogo aberto

Prezado estudante, para finalizar nossos estudos, nesta seção veremos mais um método biofísico de análise de solução. Trata-se da espectrofotometria, uma técnica analítica amplamente difundida que, por meio do estudo da interação da luz com a matéria, possibilita análises diversificadas.

Você já deve imaginar que cada substância reflete, transmite ou absorve luz ao longo de determinado intervalo de comprimento de onda. Utilizando esse princípio, ou seja, a partir da medição da absorção e da transmissão de luz que passa através da amostra de uma solução, a espectrofotometria pode ser utilizada para comprovar a identidade e mensurar a quantidade de substâncias químicas presentes na solução. O conhecimento da absorção de luz pela matéria é a forma mais usual de determinar a concentração de compostos presentes em uma solução. Mas, como isso é possível? Quais são os fundamentos e a teoria envolvidos nessa técnica? Como funciona o aparelho que faz essas medições? Ao final desta seção de estudos, você certamente aprenderá as definições da técnica de espectrofotometria, entenderá como o aparelho espectrofotômetro funciona e saberá como o utilizar e, ainda, compreenderá como interpretar e analisar os resultados obtidos por meio do uso dessa metodologia na análise de soluções. Todo esse conhecimento será de extrema importância para a sua capacitação profissional. Dedique-se aos estudos!

Para praticar o aprendizado obtido, vamos retomar a situação na qual você é supervisor de um laboratório que utiliza métodos biofísicos para análises de soluções biológicas e, para auxiliar a equipe a compreender melhor cada técnica, você resolve elaborar descritivos. Sua equipe de laboratório está a todo vapor. Todos estão muito satisfeitos com as informações enriquecedoras que você está compartilhando. Você tem sido um supervisor didático e muito eficiente. Parabéns!

Seu último desafio, perante a capacitação da sua equipe, é sobre a técnica biofísica que utiliza a tecnologia da espectrofotometria.

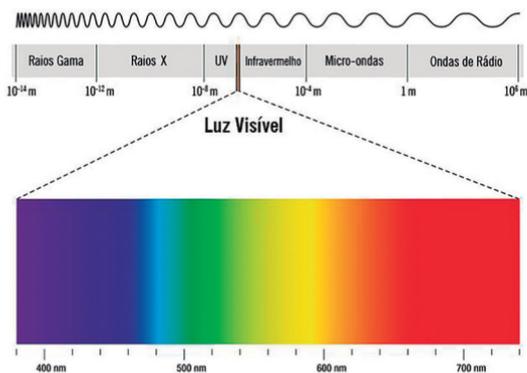
A demanda dessa técnica no laboratório é grande e, por isso, é imprescindível repassar todo o seu conhecimento e experiência para a sua equipe.

Você está na reta final e quer fechar esse ciclo de capacitação com chave de ouro. Para isso, vai elaborar mais um descritivo surpreendente, dessa vez sobre espectrofotometria. Você já está acostumado a elaborar descritivos, mas vale lembrar que é importante estudar sobre o assunto e pensar em todas as considerações relevantes, como objetivos e vantagens da técnica, princípio envolvido, entre outras. Então, como será o descritivo? Sua equipe está ansiosa e certa de que vem mais um excelente material pela frente. Bom trabalho!

Não pode faltar

A maneira mais comumente utilizada para determinar a concentração de substâncias existentes em uma solução é por meio dos fundamentos físicos envolvidos na absorção de luz pela matéria. Como explicado por Compri-Nardy et al. (2009), a maioria dos métodos utilizados envolve a determinação espectrofotométrica de compostos corados, obtidos pela reação entre o composto a ser analisado e o reagente, originando um produto colorido. Os métodos que se baseiam nesse princípio são denominados **métodos colorimétricos**, os quais geralmente são específicos e muito sensíveis. A grande vantagem em utilizar compostos coloridos deve-se ao fato de absorverem luz visível (região visível do espectro eletromagnético – Figura 4.13).

Figura 4.13 | Espectro eletromagnético

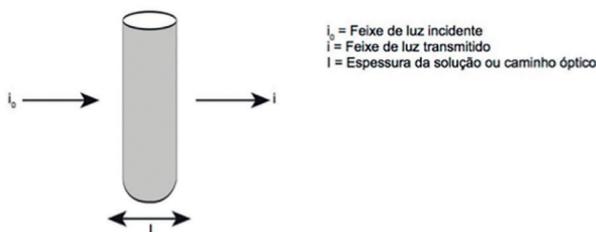


Fonte: TODA Matéria. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnético/>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

Uma das técnicas analíticas mais consideráveis e difundidas em laboratórios é a espectrofotometria, termo que reporta à medição da absorção ou à transmissão de luz. Por meio dessa técnica, componentes desconhecidos de uma solução podem ser revelados, levando em consideração seus espectros exclusivos ao ultravioleta visível ou infravermelho.

Fisicamente, quando um feixe de luz monocromática atravessa uma solução com moléculas absorventes, parte da luz é absorvida pela solução e o restante é transmitido, como mostra a Figura 4.14. A absorção de luz depende basicamente da concentração das moléculas absorventes e da espessura da solução – caminho óptico, segundo Compri-Nardy et al. (2009).

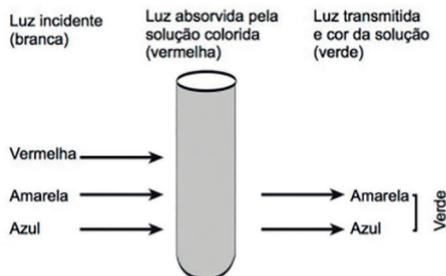
Figura 4.14 | Absorção de luz



Fonte: Compri-Nardy et al. (2009, p. 36).

É interessante observar que, como explicado por Compri-Nardy et al. (2009), a intensidade da cor de uma solução é proporcional à concentração das moléculas absorventes de luz. Quanto mais concentrada for a solução, maior será a absorção de luz. Por outro lado, a cor da solução é determinada pela cor da luz transmitida, como mostrado na Figura 4.15.

Figura 4.15 | Por que as soluções são coloridas



Fonte: Compri-Nardy et al. (2009, p. 36).

Analisando a Figura 4.15, podemos concluir que uma solução se apresenta na cor branca quando é capaz de transmitir luzes de todas as cores (não absorve nenhuma luz). Do contrário, quando todas as cores são absorvidas e, portanto, nada é transmitido, a solução é preta. Por fim, uma solução possui a cor verde, por exemplo, quando absorve luz vermelha e transmite luz verde (azul + amarelo), que é a cor observada, como mostra a Figura 4.16, de acordo com Compri-Nardy et al. (2009).

Figura 4.16 | Relação entre a cor da luz visível e o comprimento de onda

Comprimento de onda correspondente à absorção máxima (nm)	Cor absorvida	Cor observada
380-420	Violeta	Verde-amarelo
420-440	Violeta-azul	Amarelo
440-470	Azul	Laranja
470-500	Azul-verde	Vermelho
500-520	Verde	Púrpura
520-550	Amarelo-verde	Violeta
550-580	Amarelo	Violeta-azul
580-620	Laranja	Azul
620-680	Vermelho	Azul-verde
680-780	Vermelho	Verde

Fonte: Harris (2012, p. 425).



Refleta

Caro estudante, agora você já sabe que a espectrofotometria fundamenta-se na absorção da luz pela substância. Mas o que ocorre na molécula durante a absorção de luz? O que acontece com a energia absorvida?

Recordamos que a luz é uma radiação eletromagnética, possuindo características tanto de partícula (fóton) como de onda, sendo o movimento caracterizado pelo comprimento de onda (λ) medido em nanômetros (nm). A quantidade de energia da luz é inversamente proporcional ao comprimento de onda, ou seja, a luz violeta de $\lambda = 380 \text{ nm}$ possui mais energia do que a luz vermelha de $\lambda = 700 \text{ nm}$. Assim, podemos resumir que a luz é constituída de partículas energéticas (fótons) e a quantidade de energia está relacionada com o comprimento de onda.

Expor a matéria à luz resulta na incorporação da energia contida no fóton na estrutura das moléculas absorventes. Neste caso, as moléculas absorventes passam do estado fundamental para o estado excitado. Normalmente, a duração do estado excitado é curta, retornando a molécula ao estado fundamental em pequenas frações de segundos. Quando isto acontece, a energia é liberada em forma de calor.

Assim, quando um feixe de luz monocromática percorre uma amostra de solução que contém moléculas absorventes, parte das ondas eletromagnéticas é absorvida pelas moléculas presentes na solução, que ficam em estado excitado e retornam, em seguida, ao estado fundamental, liberando a energia em forma de calor.

A absorção de luz só acontece quando o conteúdo energético do fóton é equivalente à energia necessária para que a molécula passe do estado fundamental para o excitado. Do contrário, o fenômeno da absorção não ocorre.

Assim, é preciso que se utilize um feixe de luz monocromática com comprimento de onda adequado, sendo capaz de excitar as moléculas da solução. A escolha do comprimento de onda mais adequado consiste em submeter determinado composto a feixes de luzes monocromáticas com diferentes comprimentos de onda e analisar qual deles é mais absorvido pela solução (apresenta maior absorbância).

As leis de Lambert-Beer são o ponto central da espectrofotometria e determinam que a quantidade de luz absorvida ou transmitida por uma dada solução depende da concentração do soluto e da espessura da solução (l).

Matematicamente, temos:

$$A = -\log\left(\frac{i}{i_0}\right) = \varepsilon \cdot l \cdot c; \text{ (equação 1),}$$

em que:

A = absorbância;

$$\left(\frac{i}{i_0}\right) = \text{Transmitância (T);}$$

ϵ = constante para dado comprimento de onda;

l = espessura da solução ou caminho óptico (distância percorrida pelo feixe luminoso através da amostra);

c = concentração da amostra (solução absorvente).



Assimile

A lei de Lambert-Beer, ou, simplesmente, lei de Beer, expressa a essência da espectrofotometria, pois nos mostra a relação linear entre a absorvância (A) e a concentração (c) de uma solução, e quanto mais concentrada for a solução, maior será a absorção de luz. Dessa forma, componentes desconhecidos de uma solução podem ser identificados por seus espectros característicos.

A absorvância (A) é uma grandeza adimensional, mas algumas pessoas escrevem “unidades de absorvância” depois do valor da absorvância. A concentração da amostra (c) é geralmente expressa em número de moles por litro (M). O caminho óptico (l) é geralmente expresso em centímetros. A grandeza ϵ (epsilon) é conhecida também como absorvidade molar e é expressa nas unidades $M^{-1} \cdot cm^{-1}$, o que torna o produto $\epsilon \cdot l \cdot c$ adimensional. A absorvidade molar é característica de uma substância e indica qual a quantidade de luz absorvida em determinado comprimento de onda, explica Harris (2012).



Exemplificando

Encontre a absorvância (A) e a transmitância (T) de uma solução a **0,00240 M** de uma substância com coeficiente de absorvidade molar de **$313 M^{-1} \cdot cm^{-1}$** em uma célula com **2,00 cm** de caminho óptico.

Pela lei de Lambert-Beer, temos:

$$A = \epsilon \cdot l \cdot c.$$

Substituindo os valores informados, temos:

$$A = 313 \cdot 2,00 \cdot 0,00240 \Rightarrow A = 1,50.$$

Para obter a transmitância, temos que:

$$A = -\log\left(\frac{i}{i_0}\right) \Rightarrow A = -\log(T) \text{ ou } -A = \log(T),$$

ou seja, $\log(T) = -1,50$.

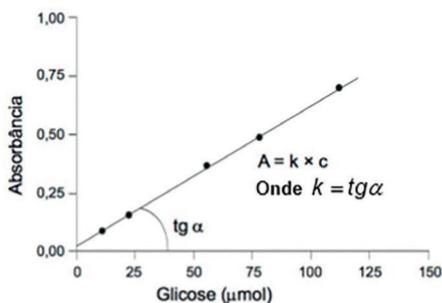
Para obter o valor da transmitância (T), basta realizarmos uma operação matemática, elevando-se 10 à potência igual a cada lado:

$$T = 10^{\log(T)} = 10^{-1,50} = 0,0316.$$

Assim, podemos concluir que apenas 3,16% da luz incidente emerge dessa solução, de acordo com Harris (2012).

A relação entre a absorvância (A) e a concentração da solução (c) é linear crescente, conforme mostra a Figura 4.17.

Figura 4.17 | Curva de absorvância *versus* concentração para glicose



Fonte: Compri-Nardy et al. (2009, p. 39).



Exemplificando

Se tivermos uma solução B de concentração de glicose desconhecida, verificando-se no espectrofotômetro sua absorvância igual a 0,40 e considerando os dados já informados na Figura 4.17, temos condições de calcular a sua concentração?

Por meio da curva de absorvância *versus* concentração da solução B, podemos obter essa informação. Para tanto, calculam-se a equação e a inclinação da reta obtida pelo gráfico. Considerando os dados da Figura 4.17, podemos obter o valor de k :

Equação geral da reta: $y = a \cdot x + b$; onde a é o coeficiente angular (inclinação da reta) e b é o coeficiente linear (ponto no qual a reta cruza o eixo y). No nosso exemplo, temos, então, a seguinte equação que descreve a reta obtida:

$$A = k \cdot c + 0,02,$$

em que $k = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}}$.

Considerando qualquer ponto da curva, temos:

$$k = \frac{0,50}{75 \text{ } \alpha\text{mol}} \approx 0,0067 \alpha\text{mol}^{-1}.$$

Portanto: $A = 0,0067 \cdot c + 0,02$. Sendo a solução B de concentração desconhecida e sua absorvância igual a 0,40, temos que:

$$0,40 = 0,0067 \cdot c + 0,02 \Rightarrow c = \frac{(0,40 - 0,02)}{0,0067} \approx 56,7 \alpha\text{mol}.$$

Como explica Harris (2012), nem todas as reações colorimétricas seguem a lei de Lambert-Beer, sendo esta válida para condições restritas, em que:

- a luz utilizada é aproximadamente monocromática;
- as soluções a serem analisadas estejam diluídas (baixas concentrações);
- não deve estar presente na mesma solução mais de uma substância absorvente de luz.



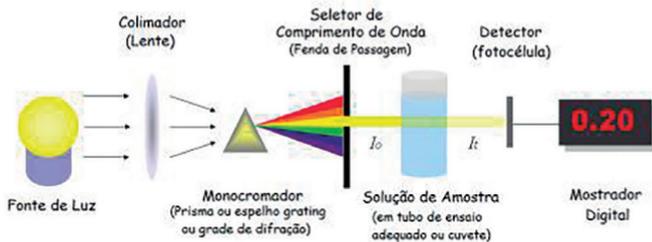
Pesquise mais

Veja mais sobre os princípios envolvidos na espectrofotometria. Assista ao vídeo indicado a seguir: KHAN Academy em Português. **Introdução à espectrofotometria**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=F5dCva8fnDg>>. Acesso em: 19 fev. 2018 (vídeo do YouTube).

De acordo com Compri-Nardy et al. (2009), o espectrofotômetro é um instrumento utilizado para determinar os valores de transmitância (luz transmitida) e absorvância (luz absorvida) de uma solução em um ou mais comprimentos de onda. Existem espectrofotômetros feixe simples e duplo feixe. Alguns componentes são comuns a todos os espectrofotômetros, como é verificado a seguir. A luz, habitualmente fornecida por uma lâmpada, é fracionada pelo prisma (monocromador) nos comprimentos de onda que a compõem (luzes monocromáticas). O comprimento de onda selecionado

é dirigido para a solução contida em um recipiente transparente (tubo ou cubeta). Parte da luz é absorvida e parte é transmitida. A redução da intensidade luminosa é medida pelo detector (célula fotelétrica), porque o sinal elétrico de saída do detector depende da intensidade da luz que incidiu sobre ele. O sinal elétrico — amplificado e visualizado no mostrador (Figura 4.18) — é lido como uma absorbância e é proporcional à concentração da substância absorvente da cubeta.

Figura 4.18 | Principais componentes do espectrofotômetro



Fonte: Ebah. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfIGEAK/espectrometros-espectrofotometros>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

Quando uma solução é submetida a leituras de absorbância em diversos comprimentos de onda eletromagnética, surgem informações sobre a capacidade dos compostos da solução em absorver luz. A representação gráfica do comprimento de onda em relação à absorbância (A) é denominada curva ou espectro de absorção (Figura 4.19).

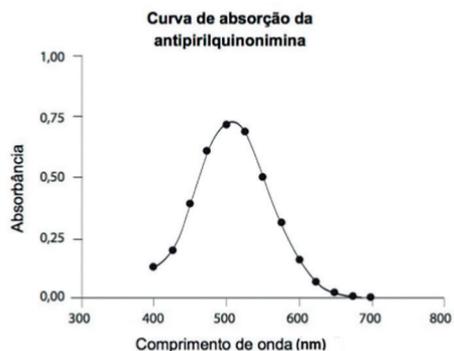
Figura 4.19 | Exemplo de espectro de absorção para a antipirilquinonimina

λ (nm)	A	T
400	0,134	74,7
425	0,197	64,7
450	0,387	42,0
475	0,609	25,2
500	0,721	19,7
525	0,676	21,8
550	0,510	31,7
575	0,320	48,9
600	0,163	69,9
625	0,068	86,7
650	0,023	96,1
675	0,007	99,8
700	0,003	100,0

λ = comprimento de onda

A = absorbância

T = transmitância



Fonte: Comprí-Nardy et al. (2009, p. 42).

O espectro de absorção é uma forma de caracterizar a solução, pois, como a interação da luz com a matéria depende da estrutura química das substâncias, pelo espectro é possível visualizar a faixa de comprimento de onda na qual o composto possui sua maior absorção, como mencionado anteriormente.

Dois ou mais compostos podem absorver luz dentro da mesma faixa de comprimento de onda, sem que isso invalide a especificidade do método. No entanto, para leituras espectrofotométricas, a escolha do melhor comprimento de onda é importante para definir a sensibilidade do método e, assim, ser capaz de detectar substâncias em baixas concentrações.

Para uma análise espectrofotométrica, como explica Harris (2012), geralmente escolhemos o comprimento de onda em que ocorre a absorbância máxima, pois:

1) A curva na região correspondente ao máximo tem sua forma um pouco achatada, ocasionando uma variação pequena na absorbância, se a largura da faixa de comprimento de onda transmitida sofrer uma ligeira alteração ou se o monocromador estiver ligeiramente deslocado;

2) A sensibilidade da análise é maior na região com absorbância máxima, pois conseguimos melhor resposta para uma concentração de analito. A lei de Beer é seguida quando a absorbância é constante dentro da faixa de comprimento de onda selecionada.

Sem medo de errar

Sua equipe de laboratório está a todo vapor. Todos estão muito satisfeitos com as informações enriquecedoras que você está compartilhando. Você tem sido um supervisor didático e muito eficiente. Parabéns!

Seu último desafio, perante a capacitação da sua equipe, é sobre a técnica biofísica que utiliza a tecnologia da espectrofotometria. A demanda dessa técnica no laboratório é grande e, por isso, é imprescindível repassar todo o seu conhecimento e experiência para a sua equipe.

Você está na reta final e quer fechar esse ciclo de capacitação com chave de ouro. Para isso, vai elaborar mais um descritivo surpreendente, dessa vez sobre espectrofotometria. Você já está acostumado a elaborar descritivos, mas vale lembrar que é importante estudar sobre o assunto e pensar em todas as considerações relevantes, como objetivos e vantagens da técnica, princípio envolvido, entre outros. Então, como será o descritivo? Sua equipe está ansiosa e certa de que vem mais um excelente material pela frente. Bom trabalho!

- **Em que consiste a técnica de espectrofotometria?**

A espectrofotometria é a maneira mais usual para determinar a concentração de substâncias presentes em uma solução por meio dos fundamentos físicos envolvidos na absorção de luz pela matéria. A técnica consiste na formação de soluções coloridas mediante a reação entre o composto a ser analisado e o reagente. Compostos coloridos absorvem luz visível, sendo esta a grande característica e vantagem do método. Fisicamente, quando um feixe de luz monocromática atravessa uma solução que possui moléculas absorventes, parte da luz é absorvida pela solução e o restante é transmitido. Em resumo, a absorção de luz depende da concentração das moléculas absorventes e da espessura da solução – caminho óptico. É interessante observar que a intensidade da cor de uma solução é proporcional à concentração das moléculas absorventes de luz. Quanto mais concentrada for a solução, maior será a absorção de luz. Por outro lado, a cor da solução é determinada pela cor da luz transmitida.

- **Quando utilizar a espectrofotometria e com que finalidade?**

Por meio dessa técnica, componentes desconhecidos de uma solução podem ser identificados por seus espectros característicos ao ultravioleta visível ou infravermelho. É preciso que se utilize um feixe de luz monocromática com comprimento de onda adequado, sendo capaz de excitar as moléculas da solução. A escolha do melhor comprimento de onda consiste em submeter determinado composto a feixes de luzes monocromáticas com diferentes comprimentos de onda e analisar qual deles é mais absorvido pela solução (apresenta maior absorbância).

A espectrofotometria permite a análise qualitativa, sendo possível determinar qual substância química está presente na amostra por meio das informações de absorvância. Contaminações ou deterioração de materiais também podem ser detectados pelo método mediante a comparação dos espectros de absorção da amostra e do seu padrão. Ainda, pela aplicação da lei de Beer, é possível fazer uma análise quantitativa da amostra submetida à espectrofotometria. Outras informações, como pH, estado de oxidação, controle da força iônica do meio, variações das temperaturas, também podem ser observadas pelo método.

- **Qual é o princípio envolvido nessa tecnologia?**

A espectrofotometria baseia-se nos fundamentos físicos envolvidos na absorção de luz. As leis de Lambert-Beer são o fundamento da espectrofotometria. São tratadas simultaneamente, processo no qual a quantidade de luz absorvida ou transmitida por determinada solução depende da concentração do soluto e da espessura da solução (l).

Matematicamente, temos:

$$A = -\log\left(\frac{i}{i_0}\right) = \varepsilon \cdot l \cdot c; \text{ (equação 1),}$$

em que:

A = absorvância

$$\left(\frac{i}{i_0}\right) = \text{Transmitância (T);}$$

ε = constante para um dado comprimento de onda

l = espessura da solução ou caminho óptico (distância percorrida pelo feixe luminoso através da amostra)

c = concentração da amostra (solução absorvente)

O espectrofotômetro é um instrumento utilizado para determinar os valores de transmitância (luz transmitida) e absorvância (luz absorvida) de uma solução em um ou vários comprimentos de onda. Alguns componentes são comuns a todos os espectrofotômetros: lâmpada, prisma (monocromador), seletor de comprimento de onda, cubeta, detector (fotocélula) e mostrador.

• Quais as vantagens da espectrofotometria?

A espectrofotometria é uma metodologia prática, rápida, de fácil manuseio, possui várias aplicações, desde as mais simples até outras bastante complexas (é usada até mesmo em Astronomia); emprega métodos matemáticos, permitindo análises quantitativas e qualitativas da amostra.

O espectrofotômetro permite a seleção de feixes de luzes monocromáticas, o que possibilita diversas determinações quantitativas determinadas pela Lei de Beer.

Avançando na prática

Concentração desconhecida de uma solução

Descrição da situação-problema

Você se candidatou a uma vaga para fazer parte da equipe de um renomado laboratório de análises. O processo seletivo envolve, além da análise curricular, uma atividade prática que exige o conhecimento sobre a técnica de espectrofotometria. Essa atividade consiste em analisar os dados da Tabela 4.1, que contém os resultados da absorbância (A), verificados no espectrofotômetro para determinado comprimento de onda, de seis tubos com soluções. Contudo, a concentração da solução do sexto tubo é desconhecida. Você teve grande êxito na análise curricular e está em primeiro lugar no processo seletivo, precisando apenas superar o desafio que consiste em descobrir a concentração da solução presente no sexto tubo para fazer parte da equipe desse grande laboratório. Então, como você faria? Você possui todo o conhecimento para superar esse desafio com sucesso e conquistar essa vaga, não é mesmo? Vá em frente e boa sorte!

Tabela 4.1 | Informações da absorbância para cada amostra

Tubos	Solução X (mg/dl)	A
1	0,1	0,15
2	0,2	0,30
3	0,3	0,46
4	0,4	0,60
5	0,5	0,75
6	?	0,27

Fonte: Compri-Nardy et al. (2009, p. 42).

Resolução da situação-problema

A relação entre a absorbância (A) e a concentração da solução (c) é linear crescente, podendo ser descrita como $A = k \cdot c$.

Calculando a inclinação da reta obtida pelos dados apresentados na tabela, podemos obter o valor de k :

$$\text{em que } k = \text{tg}\alpha = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} = \frac{A}{c}.$$

Considerando qualquer ponto da Tabela 4.1, temos:

$$k = \frac{0,46}{0,3} \approx 1,5 \text{ dL/mg}.$$

Portanto: $A = 1,5 \cdot c$. Sendo o tubo 6 de concentração desconhecida e sua absorbância igual a 0,27, temos que:

$$0,27 = 1,5 \cdot c \Rightarrow c \approx 0,18 \text{ mg/dL}.$$

Faça valer a pena

1. A maneira mais usual para determinar a concentração de substâncias presentes em uma solução é por meio dos fundamentos físicos envolvidos na absorção de luz pela matéria. A técnica consiste na formação de soluções coloridas mediante a reação entre o composto a ser analisado e o reagente. Compostos coloridos absorvem luz visível, sendo esta a grande característica e vantagem do método.

A lei que fundamenta a técnica de espectrofotometria é:

- Lei de Lambert-Beer.
- Lei de Newton.
- Lei do espectro de luz visível.
- Lei do eletromagnetismo.
- Lei da dualidade onda-partícula.

2. Considere as afirmações a seguir:

- Para uma análise espectrofotométrica, geralmente escolhemos o comprimento de onda em que ocorre absorbância mínima.
- A lei de Beer é seguida quando a absorbância é constante dentro da faixa de comprimento de onda selecionada e quando a luz é monocromática.

III. O espectrofotômetro é um instrumento utilizado para determinar apenas os valores de transmitância (luz transmitida) de uma solução em um único comprimento de onda.

Analisando as afirmações como verdadeiras (V) ou falsas (F), assinale a alternativa correta:

- a) I-V; II-V; III-V.
- b) I-V; II-F III-V.
- c) I-F; II-V; III-F.
- d) I-F; II-F; III-F.
- e) I-F; II-V; III-V.

3. Considere a frase a seguir:

A lei de _____ expressa a essência da espectrofotometria, pois nos mostra a relação _____ entre a absorbância e a concentração de uma solução, e quanto mais concentrada for a solução, _____ será a absorção de luz. Dessa forma, componentes desconhecidos de uma solução podem ser identificados por seus espectros característicos.

A alternativa que completa corretamente a frase é:

- a) Newton; linear; maior.
- b) Lambert-Beer; exponencial; maior.
- c) Lambert-Beer; exponencial; menor.
- d) Lambert-Beer; linear; maior.
- e) Lambert-Beer; linear; menor.

Referências

BIOMEDICINA Brasil. Disponível em: <<http://www.biomedicinabrasil.com/2012/10/metodos-cromatograficos.html>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

BIOWIKI. Disponível em: <<http://www.biowiki.com.br/doku.php?id=eletroforese>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

COMPRI-NARDY, M. B.; STELLA, M. B.; OLIVEIRA, C. **Práticas de laboratório de bioquímica e biofísica**: uma visão integrada. Rio de Janeiro: Grupo Gen/ Guanabara Koogan, 2009.

EBAH. **Espectrômetros e espectrofotômetros**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFiGEAK/espectrometros-espectrofotometros>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

HARRIS, D. C. **Análise química quantitativa**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

NAOUM, P. C. **Eletroforeses**: hemoglobinopatias, proteínas séricas, lipoproteínas, DNA. São Paulo: Santos, 2012.

PEREIRA, S. **Anemia falciforme**. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/sonarasol1/anemia-falciforme-apresentao>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

PORTAL Laboratórios Virtuais de Processos Químicos. Disponível em: <http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?Itemid=451&id=103&option=com_content&task=view>. Acesso em: 19 fev. 2018.

TODA Matéria. **Espectro eletromagnético**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

ISBN 978-85-522-0549-4



9 788552 205494 >