

BIOFÍSICA BÁSICA

Aplicada às Ciências Farmacêuticas

Organizadores:

Analúcia Guedes Silveira Cabral
Carlos Eduardo Miranda de Sousa
Ellison Neves de Lima



BIOFÍSICA BÁSICA

Aplicada às Ciências Farmacêuticas

Organizadores:

Analúcia Guedes Silveira Cabral
Carlos Eduardo Miranda de Sousa
Ellison Neves de Lima

BIOFÍSICA BÁSICA

Aplicada às Ciências Farmacêuticas



Rio de Janeiro
2018

Biofísica básica:
aplicada às ciências farmacêuticas

Copyright © 2018, Analúcia Guedes Silveira Cabral,
Carlos Eduardo Miranda de Sousa e
Ellison Neves de Lima
Todos os direitos são reservados no Brasil



OS AUTORES responsabilizam-se inteiramente pela originalidade e integridade do conteúdo desta OBRA, bem como isentam a EDITORA de qualquer obrigação judicial decorrente de violação de direitos autorais ou direitos de imagem contidos na OBRA, que declaram sob as penas da Lei ser de sua única e exclusiva autoria.

Impressão e Acabamento: Pod Editora
Rua Imperatriz Leopoldina, 8/1110 – Pça Tiradentes
Centro – 20060-030 – Rio de Janeiro - Tel. 21 2236-0844
atendimento@podeditora.com.br - www.podeditora.com.br

Projeto gráfico:
Pod Editora

Revisão:
Pod Editora

Foto de Capa:
www.pixabay.com

Nenhuma parte desta publicação pode ser utilizada ou reproduzida em qualquer meio ou forma, seja mecânico, fotocópia, gravação, etc. – nem apropriada ou estocada em banco de dados sem a expressa autorização dos autores.

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO-NA-FONTE
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

B512

Biofísica básica: aplicada às ciências farmacêuticas/ organização: Analúcia Guedes Silveira Cabral, Carlos Eduardo Miranda de Sousa e Ellison Neves de Lima. - 1ª ed. - Rio de Janeiro: PoD, 2018.

324p. 21cm; il.

Inclui bibliografia e índice

ISBN 978-85-8225-204-8

1. Biofísica. 2. Farmacocinética. I. Cabral, Analúcia Guedes Silveira. II. Sousa, Carlos Eduardo Miranda de. III. Lima, Ellison Neves de.

18-53162

CDD: 615.7

CDU: 615.2:577.3

11/10/2018

19/10/2018

Apresentação

O presente trabalho é uma iniciativa de um grupo de professores do curso farmácia do Centro Universitário Tabosa de Almeida (ASCES-UNITA). Já respondendo a pergunta básica dos estudantes quando se deparam com a disciplina de biofísica “O que é Biofísica?”. É um campo extremamente amplo das Ciências Biológicas, que estuda os processos físicos, bioquímicos e físico-químicos que ocorrem nos seres vivos, no plano celular, tissular ou dos organismos. Portanto, é o ramo das ciências biológicas que estuda os processos físicos que ocorrem nos organismos.

Este livro aborda, de forma simples e aplicada, as Ciências Farmacêuticas e os aspectos da Biofísica. Desta maneira, suas fundamentações e teorias, são uma ferramenta que objetiva ampliar a visão da ciência como um leque de explicações sobre o funcionamento de organismos vivos, fazem um elo com a biologia e a física, que por hora, pode parecer distante uma da outra, e que vão se entrelaçando quando lemos esse livro e colocamos em funcionamento essa perfeita máquina que é o corpo humano.

A Biofísica deve, como disciplina de formação básica, mas de fundamental importância para os graduandos em Farmácia, contribuir para a formação de profissionais que sejam capazes de reconhecer os princípios físicos por detrás da enorme variedade de mecanismos subjacentes à vida. Além disso, possa perceber o funcionamento de meios de diagnóstico que são cada vez mais sofisticados na exploração de efeitos que só a Física permite esclarecer.

Esta obra também busca abordar os conhecimentos biofísicos voltados para a formação farmacêutica. Isto com uma seleção criteriosa dos temas abordados, como também a associação destes conteúdos com aplicações na área farmacêutica, com aplicação de exercícios e vários casos práticos que, definitivamente, auxiliam no melhor entendimento e associação dos conteúdos discorridos.

Esta obra busca atender uma demanda antiga, pelos acadêmicos de farmácia, que buscam uma bibliografia voltada para suas necessidades específicas e, que atenda os conteúdos programáticos propostos nas ementas

dos cursos da graduação. Ressalta-se que a obra é dividida em doze capítulos, onde cada um aborda uma temática diferente, sempre com aplicações práticas e contextualizadas com o campo de atuação do farmacêutico.

Objetiva-se, com este livro tornar uma opção para ser adotado pelos professores como uma das suas ferramentas na construção do conhecimento. Assim como, na consolidação de conceitos e criação de aptidões para aplicações das técnicas abordadas, para os futuros farmacêuticos.

Carlos Eduardo Miranda de Sousa
Dr. Ciências Farmacêuticas

Sumário

Capítulo 1.	Águas e Suas Propriedades.....	13
1.1	Introdução	13
1.2	Estrutura molecular da água.....	14
1.2.1	Estados físicos da água.....	15
1.3	Ciclo da água	16
1.4	Propriedades macroscópicas de água.....	16
1.4.1	Densidade.....	17
1.4.2	Calor específico da água.....	18
1.4.3	Tensão Superficial	19
1.4.4	Viscosidade.....	20
1.5	Propriedades Microscópicas da Água	20
1.5.1	Substâncias iônicas.....	20
1.5.2	Substâncias moleculares	21
1.5.3	Substâncias anfífilas.....	21
1.5.4	Condutividade elétrica da água.....	21
1.5.5	Condutividade térmica.....	22
1.5.6	Dureza	22
1.6	Água como solvente.....	23
1.7	Água e entropia.....	23
1.8	Propriedades Biológicas da Água	24
1.8.1	Setores e compartimentos	25
1.8.2	Setores: intracelular e extracelular	25
1.8.3	Compartimentos: viscerais.....	25
1.8.4	Água como regulador térmico.....	26
1.8.5	Evaporação através da pele	26
1.9	Exercícios	27
1.10	Referências.....	28
Capítulo 2.	Soluções.....	29
2.1	Introdução	29
2.2	Solubilidade	30
2.3	Coefficiente de solubilidade e gráficos de solubilidade	32
2.4	Classificação das soluções.....	32
2.5	Concentração de soluções	34
2.5.1	Titulações	36
2.5.2	Cálculos para determinar a concentração do titulado.....	36
2.6	Misturas de soluções	37
2.7	Diluições.....	40
2.8	Transporte celular.....	41
2.8.1	Transporte de solvente	41
2.9	Soluções isotônicas	43
2.10	Dinâmica das Partículas nas Soluções.....	44

2.11	Pressão parcial dos gases	46
2.11.1	Lei dos gases ideais	46
2.11.2	Lei dos gases reais.....	47
2.12	Exercícios	48
2.13	Referências	49
Capítulo 3.	pH e Tampão	51
3.1	Introdução	51
3.1.1	Ácidos e bases.....	51
3.1.2	Composição da água	53
3.2	pH	56
3.2.1	Conceitual e cálculo	56
3.2.2	Escala de pH	57
3.2.3	Modificação do pH da água	57
3.2.4	Determinação do pH.....	59
3.3	Sistema tampão.....	61
3.3.1	Definição e composição.....	61
3.3.2	Capacidade do sistema tampão.....	63
3.3.3	Equação de Henderson Hasselbalch	65
3.3.4	Ponto isoelétrico (pI) ou pH isoelétrico (pHi) de um aminoácido	66
3.3.5	Proteínas e enzimas: relação com pH.....	69
3.3.6	Equilíbrio ácido-básico	71
3.3.7	Distúrbios do equilíbrio ácido-básico.....	72
3.4	pH e fármacos.....	73
3.4.1	Absorção, distribuição e eliminação	73
3.5	Exercícios	75
3.6	Referências	76
Capítulo 4.	Membrana Plasmática	79
4.1	Origem.....	79
4.2	Estrutura da membrana plasmática	79
4.2.1	Lípídeos de Membrana	80
4.2.2	Proteínas.....	80
4.3	Fluidez da Membrana.....	81
4.4	Transporte Através da Membrana	82
4.4.1	Difusão	82
4.4.2	Difusão Simples.....	83
4.4.3	Difusão Facilitada.....	84
4.5	Osmose.....	84
4.6	Bomba de Sódio e Potássio	84
4.7	Endocitose	84
4.8	Modelo Mosaico.....	85
4.9	Transporte dos Fármacos Através das Membranas	85
4.10	Efeito do pH na Absorção dos Fármacos	86
4.11	Exercícios	87
4.12	Referências	91

Capítulo 5.	Potencial de Ação.....	93
5.1	Potencial de ação	93
5.2	Neurônios	93
5.3	Membrana Citoplasmática.....	97
5.4	Transportes Transmembranares.....	97
	5.4.1 Difusão.....	98
	5.4.2 Difusão Simples	100
	5.4.3 Difusão Facilitada	101
	5.4.4 Difusão Efetiva (Osmose)	102
	5.4.5 Transporte Ativo.....	104
	5.4.6 Transporte ativo secundário	105
5.5	Potencial de ação	107
	5.5.1 Fase de Repouso.....	107
	5.5.2 Fase de Despolarização	108
	5.5.3 Fase de Repolarização	109
	5.5.4 Impulso Nervoso: Propagação do Potencial de Ação.....	112
	5.5.5 Lei do “Tudo ou Nada”	114
5.6	Continuidade e término do potencial de ação.....	115
5.7	Principais Receptores, e Respective Neurotransmissores Envolvidos no Potencial de Ação, Alvos na Terapia Farmacológica	125
	5.7.1 Sinapse Excitatória: Neurotransmissor Glutamato e seus Receptores.....	125
	5.7.2 Sinapse Inibitória: Neurotransmissor GABA e Seus Receptores.....	130
	5.7.3 Receptores GABAérgicos.....	131
5.8	Exercícios	135
5.9	Referências	138
Capítulo 6.	Radiações.....	141
6.1	Tipos de Radiações e Suas Características	141
	6.1.1 Radiação corpuscular	141
	6.1.2 Radiação alfa (α).....	142
	6.1.3 Radiação beta (β)	143
	6.1.4 Nêutrons.....	144
	6.1.5 Radiação eletromagnética.....	144
6.2	Cinética da Desintegração	146
	6.2.1 Velocidade de desintegração	146
	6.2.2 Constante radioativa	147
	6.2.3 Vida média.....	148
	6.2.4 Meia vida ou período de semidesintegração	148
	6.2.5 Famílias Radioativas	150
6.3	Fissão Nuclear	151
6.4	Fusão Nuclear	152
6.5	Aplicações da Radioatividade	152
	6.5.1 Medicina.....	152
	6.5.2 Estudos de datação	153

6.5.3	Indústria.....	154
6.5.4	Preservação de alimentos.....	155
6.6	Exercícios.....	156
6.7	Referências.....	157
Capítulo 7.	Radiobiologia.....	159
7.1	Introdução.....	159
7.2	Radiação Ionizante.....	162
7.3	Interação das radiações ionizantes no DNA.....	167
7.4	Interação das radiações ionizantes com a matéria.....	169
7.5	Medidas da radioatividade.....	174
7.6	Aplicações médicas e biológicas.....	176
7.7	Radioisótopos.....	180
7.8	Aplicação das radiações: Raio X e Raio Gama.....	181
7.9	Radiolesões.....	185
7.10	Efeitos Biológicos Gerais.....	186
7.11	Radioproteção.....	188
7.12	Exercícios.....	191
7.13	Referências.....	192
Capítulo 8.	Espectroscopia.....	195
8.1	Introdução.....	195
8.2	Espectro eletromagnético.....	196
8.3	Absorbância e Transmitância.....	200
8.4	Espectrofotometria.....	201
8.4.1	Infravermelho.....	201
8.4.2	UV-Visível.....	204
8.4.3	Fluorescência.....	206
8.5	Espectrometria.....	208
8.5.1	Espectrometria de Massas.....	208
8.5.2	Espectroscopia de massas com ionização por “Eletrospray”- (IES-EM).....	210
8.6	Exercícios.....	211
8.7	Referências.....	214
Capítulo 9.	Centrifugação.....	217
9.1	Introdução.....	217
9.1.1	Princípios.....	217
9.1.2	Fatores que influenciam na centrifugação.....	219
9.2	Tipos de Centrifugação.....	220
9.2.1	Centrífuga por gradiente.....	221
9.1.3	Centrífuga por diferencial.....	222
9.3	Equipamentos.....	223
9.3.1	Rotores.....	223
9.4	Aplicações.....	224
9.4.1	Nos laboratórios.....	224
9.4.2	Na indústria de alimentos.....	225

9.4.3	Na Indústria Farmacêutica	227
9.5	Balanceamento de rotores	228
9.6	Segurança em Centrifugação	228
9.7	Recomendações e Cuidados	229
9.8	Exercícios	230
9.2	Referências	232
Capítulo 10.	Cromatografia	235
10.1	História da cromatografia	235
10.2	Conceitos básicos	237
10.2.1	Fase móvel	237
10.3	Fase estacionária	239
10.4	Amostra/analito	240
10.5	Padrão analítico e especificidades	240
10.6	Solvente e eluente	241
10.6.1	Solvente	241
10.6.2	Eluente	242
10.7	Absorção, adsorção, dessorção e eluição	243
10.8	Cromatógrafo e cromatograma	243
10.9	Introdução à cromatografia	243
10.9.1	Princípio da cromatografia	243
10.9.2	Análise qualitativa e quantitativa em cromatografia	245
10.10	Mecanismos de separação cromatográfica	246
10.10.1	Adsorção	246
10.10.2	Partição	246
10.10.3	Exclusão molecular	247
10.10.4	Troca iônica	248
10.10.5	Bioafinidade	248
10.11	Crítérios de classificação e tipos de cromatografia	249
10.11.1	Quanto ao sistema cromatográfico	249
10.11.2	Outros critérios de classificação	267
10.12	Cromatograma	270
10.12.1	Tempo de Retenção (t _R), Tempo de Retenção Corrigido (t' _R) e Tempo Morto (T _M)	270
10.12.2	Análise baseada na altura e área dos picos	271
10.13	Otimização do desempenho de uma coluna cromatográfica	271
10.13.1	Otimização do Desempenho – Variação em N ou em H	272
10.13.2	Otimização do Desempenho – Variação no fator de seletividade (α)	273
10.14	Exercícios	274
10.15	Referências	277
Capítulo 11.	PCR	281
11.1	Introdução	281
11.2	Estrutura do DNA	283
11.2.1	Ácidos Nucléicos e Polinucleotídeos	283
11.2.2	Bases complementares e estrutura do RNA	284

11.3	Replicação do DNA	285
11.4	Características básicas da PCR.....	286
11.5	Técnica do PCR	287
9.3	Vantagens do PCR.....	288
11.6	Desvantagens	289
11.6.1	Aplicações do PCR.....	289
11.7	Exercícios	290
11.8	Referências	294
Capítulo 12.	Eletroforese	297
12.1	Introdução	297
12.2	Ponto Isoelétrico (pI)	298
12.3	Princípio da Técnica.....	300
12.4	Materiais Utilizados.....	302
12.5	Tipos de Eletroforese.....	303
12.5.1	Eletroforese Livre.....	303
12.5.2	Eletroforese de zona.....	304
12.5.3	Tipos de suporte	304
12.5.4	Eletroforese capilar (CE)	312
12.6	Aplicação em Medicamentos	316
12.7	Exercícios	317
12.8	Referências	319

Capítulo 1. **Águas e Suas Propriedades**

Carlos Eduardo Miranda de Sousa

Analúcia Guedes Silveira Cabral

Regina Guimarães de Sousa

Thainá de Oliveira Pontes

Maria Fernanda Ferreira de Lima

1.1 Introdução

A água é um dos elementos mais importantes do planeta Terra. Desde a Grécia antiga, Aristóteles a considerou como um dos elementos fundamentais, somente no século XVIII foi elucidado que a água é na verdade, uma molécula composta por dois elementos diferentes, o oxigênio e o hidrogênio. Na superfície terrestre, a água o composto mais abundante e encontrado nos três estados físicos da matéria: sólido, líquido e gasoso. Cerca de 70% do globo é coberto por água nos estados sólido e líquido e em toda a atmosfera terrestre a água encontra-se no estado gasoso.

Todas as formas biológicas dependem de água, o organismo humano é formado por água em um percentual de 60% a 75% em relação à constituição molecular. Considerando a teoria que a vida se originou da “sopa primordial”, constituída de água e outras substâncias inorgânicas, a evolução dos seres vivos aconteceu utilizando água para suas principais atividades intracelulares e extracelulares. A vida em outros lugares do universo pode acontecer a partir de outros solventes, porém aqui no planeta Terra a vida é essencialmente dependente da água como solvente fundamental.

Sua importância biológica é fundamental aos organismos unicelulares ou pluricelulares para as atividades básicas. Este líquido possui muitas características importantes, como termorregulador do corpo humano e do planeta, principal solvente, capacidade específica de relação com outras moléculas, participando de inúmeras substâncias e órgãos. Como a água tem uma imensa capacidade de dissolver compostos inorgânicos, é um excelente meio para os processos químicos dos sistemas vivos.

1.2 Estrutura molecular da água

A água é uma molécula simples, composta por um átomo de oxigênio (O) e dois átomos de hidrogênio (H). Cada um dos átomos de hidrogênio comporta-se quimicamente como doador de próton e o átomo de oxigênio como aceptor, promovendo a ligação covalente entre eles e formando a estrutura molecular da água.

O elemento oxigênio (O) ainda possui dois pares de elétrons livres, devido a sua hibridização. A molécula de água apresenta hibridização sp_3 , com configuração eletrônica $sp_3^2 sp_3^2 sp_3^1 sp_3^1$, onde podemos observar que dois orbitais partilham elétrons e os outros dois apresentam elétrons livre. Estes livres se sobrepõem aos orbitais $1s^1$ do hidrogênio, promovendo a ligação de covalência que forma a água. A configuração angular da molécula, formando uma estrutura tetraédrica é devido a densidade eletrônica dos pares de elétrons do oxigênio no centro da molécula e das valências entre o O e o H, formando um ângulo de $104,3^\circ$.

Além de formar a estrutura tetraédrica, a distribuição assimétrica dos elétrons não permite a anulação das cargas, formando dipolos. As regiões parcialmente negativas (δ^-) junto ao oxigênio e parcialmente positiva (δ^+) junto aos hidrogênios com os elétrons compartilhados (Figura 1), confere a molécula polaridade.

Outra característica que é influenciada por essa diferença de densidade eletrostática são as forças intermoleculares, que é responsável pela ligação entre as moléculas. A interação acontece devido a atração da carga de uma molécula de água parcialmente negativas do oxigênio que tem comportamento aceptor de prótons com a carga do hidrogênio de outra molécula de água, que é parcialmente positiva se comportando como o doador de prótons, formando, portanto, as pontes ou ligações de hidrogênio.

Cada molécula de água tem a capacidade de formar quatro pontes de hidrogênio. As ligações de hidrogênio possuem força relativamente fraca, cada uma delas apresentam 20kJ por mol de ponte de hidrogênio, mas promovem forte adesão entre as moléculas de água, formando estruturas ordenadas que garante as características anômalas à água, comparando-as a outras moléculas, como a elevada tensão superficial, alta temperatura de ebulição, que serão abordadas adiante.

1.2.1 Estados físicos da água

A água é a única substância presente naturalmente nos três estados físicos da matéria nas condições atmosféricas.

As propriedades eletrostáticas da água também afetam suas características de estado da água. Na forma de gelo, a presença de polos positivos e negativos promove a interação das moléculas de água em estruturas tetraédricas abertas que se aglomeração em formações hexagonais e a partir delas podem promover mais de 16 arranjos diferentes, dentre estruturas cristalinas e amorfas.

Os aglomerados hexagonais são formados de verticalmente para baixo, o que explica o congelamento inicial da superfície. O congelamento é iniciado a partir da temperatura de 0°C ou 273K . Apresenta-se em placas bem organizadas e ordenadas e faces sobrepostas. Essas interações entre os conjuntos hexagonais do gelo promove a formação de estruturas com espaço significativo entre eles, proporcionando ao gelo o aumento do volume e consequentemente a redução da densidade da estrutura formada. É por isso que em relação à água líquida, as estruturas em gelo ocupam mais espaço e flutuam, devido a sua densidade menor. Além disso, no estado sólido a condutividade elétrica da água é reduzida e a propriedade de solvente universal torna-se restrita, devido a incapacidade da maioria dos solutos penetrar na estrutura cristalina do gelo.

Na fase líquida, a água não se apresenta totalmente livre. Estima-se que cerca de 85% dos aglomerados hexagonais permanecem intactos na água líquida a 0°C e um percentual menor permanecem até o ponto de ebulição, porém eles se encontram em estado flexível e em arranjos transitórios. As diferenças também estão relacionadas às quantidades de pontes de hidrogênio que permanecem formadas. A maior quantidade de ligações de hidrogênio estabelecidas no estado líquido da água, maior é também o seu volume.

A quantidade de pontes de hidrogênios mantidas na quando a água se encontra no processo de fusão a 0°C é devido pequena quantidade de energia necessária para o processo de descongelamento, não sendo suficiente para quebrar interações eletrostáticas entre as moléculas. Com o aumento da temperatura, as pontes de H tornam-se mais escassas, porém não deixam de existir. A ideia da organização molecular da água, no estado líquido, gera diversas discussões. Podemos citar a teoria de organização molecular de Bernal e Fowler (1933).

Bernal e Fowler acreditam que as ligações de hidrogênio em estado líquido estão em constante transição de quebra e reorganização, entre as quatro moléculas vizinhas de cada molécula de água e as ligações de hidrogênio estão abundantemente formadas ou quebradas ou tensas. Essa ideia também explica uma teoria em relação ao comportamento anômalo da água à 4°C. Quando ocorre o aumento da temperatura da água a partir de 0°C ou 273K, há um aumento constante da agitação das moléculas e quebra das ligações de hidrogênio. Ao atingir 4°C ou 276,94K há um aumento da densidade devido a um possível colapso das quebras de ligações de hidrogênio e a retração do volume da água. Após esse estado, a agitação das moléculas decorrente o aumento da temperatura equilibra-se e a densidade diminui.

1.3 Ciclo da água

O ciclo da água ou ciclo hidrológico é a permanente transformação da água e suas fases líquida, sólida e gasosa através dos processos de evaporação, condensação, precipitação, infiltração e transpiração. Esse ciclo, impulsionado pela radiação solar e pela energia dos ventos, dependendo da permanente mudança de estado da forma líquida nos oceanos para forma gasosa na atmosfera e da precipitação sobre os continentes. A continuidade desses processos.

Pode-se adotar como início do ciclo a evaporação da água dos rios e mares pela irradiação solar. A água evapora e forma nuvem na atmosfera, que eventualmente se condensam e caem em forma de chuva. Essa precipitação divide-se na parte em que segue para os cursos de água e outra parte é absorvida pelo solo.

Parte da água infiltrada no solo serve para a manutenção vegetal e outra parte move-se pelo subsolo, alimentando os lenções freáticos e podendo retornar ao curso de água superficial, para iniciar um novo ciclo. É desta forma que a natureza promove a circulação da água.

1.4 Propriedades macroscópicas de água

As propriedades peculiares da água estão relacionadas à estrutura atômica, as ligações intermoleculares, do hidrogênio e às associações das moléculas da água na fase sólida, líquida e gasosa.

1.4.1 Densidade

A densidade mensura a compacidade da substância, utilizando a relação espaço/volume ligado a ela, que por sua vez, tem variações de acordo com sua característica químicas, físicas e a temperatura e pressão a qual se encontra. A relação matemática que determina a densidade é a fórmula abaixo, que se baseia na razão da massa (m) da substância e o volume (v) que ocupa e representado pela unidade de medida de no Sistema Internacional de medidas por quilograma por metro cúbico (kg/m^3).

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

A água, possui sua densidade máxima, como podemos observar na tabela 1, sobre a densidade de 0 a 30°C a pressão de 1atm (100kPa).

Tabela 1. Densidade da água líquida a várias temperaturas.

Temperatura (°C)	Densidade (g/mL)
0	0,99984
2	0,99997
4	1,00000
6	0,99997
8	0,99988
10	0,99970
15	0,99910
20	0,99821
25	0,99707
30	0,99565

Na tabela acima, observa-se que a maior densidade da água é na temperatura de 4°C, devido ao arranjo ordenado das moléculas de água na fase sólida, desta forma, o intervalo de temperatura entre 0°C e 4°C a ordenação das pontes de hidrogênio proporcionam uma estrutura estável e com maior proximidade entre as moléculas, reduzindo o volume e aumentando a densidade. Esse comportamento anômalo da água influencia também em outras características físico químicas importantes.



A PoD Editora garante, através do selo FSC de seus fornecedores, que a madeira extraída das árvores utilizadas na fabricação do papel usado neste livro, é oriunda de florestas gerenciadas, observando-se rigorosos critérios sociais e ambientais e de sustentabilidade.

www.podeditora.com.br
atendimento@podeditora.com.br

Composto e Impresso no Brasil
Impressão Sob Demanda

21 2236-0844

2018