

# Í N D I C E

Prefácio.....	9
---------------	---

## Capítulo 1 – Membranas

1. Introdução.....	13
1.1. Primeira lei de Fick da difusão.....	14
1.1.1. Exercícios resolvidos.....	16
1.1.2. Exercícios propostos.....	20
1.2. Transporte de soluto por difusão através de membranas.....	22
1.2.1. Membranas homogêneas.....	22
1.2.1.1. Exercícios resolvidos.....	24
1.2.1.2. Exercícios propostos.....	28
1.2.2. Membranas porosas.....	34
1.2.2.1. Exercícios resolvidos.....	36
1.2.2.2. Exercícios propostos.....	41
1.2.3. Sistemas de membranas.....	46
1.2.3.1. Membranas mistas.....	46
1.2.3.2. Membranas homogêneas atravessadas por poros.....	48
1.2.3.3. Exercícios resolvidos.....	49
1.2.3.4. Exercícios propostos.....	54
1.3. Transporte de soluto por arrastamento.....	59
1.3.1. Exercícios resolvidos.....	61
1.3.2. Exercícios propostos.....	66
1.4. Correntes de solvente devidas a diferenças de pressão.....	70
1.4.1. Aplicações: espaço pleural.....	73
1.4.2. Exercícios resolvidos.....	77
1.4.3. Exercícios propostos.....	81
1.5. Membrana de Donnan.....	86
1.5.1. Membrana de Donnan para iões bivalentes.....	88
1.5.1.1. Ião proteinato monovalente.....	89
1.5.1.2. Ião proteinato de valência par.....	91

1.5.1.3. Ião proteinato de valência ímpar.....	92
1.5.2. Exercícios resolvidos.....	93
1.5.3. Exercícios propostos.....	97

## Capítulo 2 – Biofísica dos Fluidos

2.1. Fluidos em repouso.....	103
2.1.1. Princípio fundamental da hidrostática.....	104
2.1.1.1. Pressão atmosférica .....	107
2.1.2. Princípio de Pascal.....	108
2.1.2. Princípio de Arquimedes.....	111
2.2. Fluidos em movimento.....	114
2.2.1. Movimento estacionário e linhas de corrente.....	114
2.2.2. Equação da continuidade.....	116
2.2.3. Lei de Bernoulli.....	120
2.2.3.1. Exercícios resolvidos .....	126
2.2.3.2. Exercícios propostos.....	132
2.2.4. Fluidos reais e fórmula de Poiseuille .....	136
2.2.4.1. Resistência hidrodinâmica e associações .....	143
2.2.4.2. Regime turbulento e número de Reynolds .....	148
2.2.4.3. Exercícios resolvidos .....	149
2.2.4.4. Exercícios propostos.....	154
2.3. Tensão superficial.....	157
2.3.1. Fórmula de Laplace .....	159
2.3.1.1. Embolias capilares .....	162
2.3.1.2. Capilaridade em tubos e lei de Jurin.....	164
2.3.2. Exercícios resolvidos.....	167
2.3.3. Exercícios propostos.....	170

### Capítulo 3 – Decaimento Radioactivo

3. Introdução.....	175
3.1. Tipos de transformações radioactivas .....	176
3.1.1. Exercícios resolvidos.....	177
3.1.2. Exercícios propostos.....	179
3.2. Lei do decaimento radioactivo .....	183
3.2.1. Exercícios resolvidos.....	184
3.2.2. Exercícios propostos.....	187
3.3. Doses em órgãos devido a decaimento radioactivo .....	190
3.3.1. Exercícios resolvidos.....	191
3.3.2. Exercícios propostos.....	194
3.4. Modelos de agressão celular.....	198
3.4.1. Modelo de um só alvo e um só toque .....	199
3.4.1.1. Exercícios resolvidos .....	200
3.4.1.2. Exercícios propostos.....	201
3.4.2. Modelo de vários alvos e um só toque .....	202
3.4.2.1. Exercícios resolvidos .....	203
3.4.2.2. Exercícios propostos.....	205
3.4.3. Modelo misto.....	205
3.4.3.1. Exercícios resolvidos .....	206
3.4.3.2. Exercícios propostos.....	207
Capítulo 4 – Soluções.....	209
Anexo I.....	223



## P R E F Á C I O

O presente trabalho é uma iniciativa do Instituto de Biofísica/Biomatemática da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, sob a direcção da Prof. Doutora Filomena Botelho.

Surge para complementar a obra "Biofísica Médica" da autoria do Prof. Doutor João José Pedroso de Lima em boa hora publicado pela Imprensa da Universidade de Coimbra. Embora ele próprio integre a equipa de autores do presente trabalho, trata-se de continuar uma «obra de mestre». De facto, é (re)conhecido o papel daquele professor e investigador na afirmação da Física na Medicina em Portugal. A ele se deve, em grande parte, o empolgante desenvolvimento da Medicina Nuclear em Coimbra, área que fez crescer desde um pequeno Laboratório de Radioisótopos da década de sessenta, ao bem gizado plano que permitiu a recente instalação do ICNAS com as suas múltiplas valências.

O grupo de Biofísica e Biomatemática da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, a par da contribuição que dá, tanto na formação propedêutica dos estudantes de Medicina como na formação avançada de muitos dos que vêm a desenvolver trabalho, mormente trabalho científico, em áreas afins, tem mantido um papel de charneira na articulação entre a Medicina e a Física.

Isto é manifesto tanto a nível da docência – nomeadamente, através da leccionação de disciplinas do Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica – como a nível científico, campo em que vale a pena sublinhar as inúmeras e proveitosas colaborações estabelecidas com equipas de investigação de centros de investigação do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e do Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP). Quanto ao LIP, é-me particularmente grato sublinhar o trabalho realizado (ou em curso) em colaboração com elementos do Grupo de Biofísica e Biomatemática no campo da investigação em instrumentação para medicina nuclear, que tenho tido o privilégio de observar de perto. Trata-se de trabalho que começa a ser significativo, até na

diversidade de temas, e no qual creio que ambos os grupos depositam fundadas esperanças.

Sentiu o grupo de Biofísica e Biomatemática a necessidade de produzir uma obra que ajude os alunos de Medicina na aprendizagem e na aplicação à Medicina de ferramentas fundamentais da Física. Ora se é importante ensinar (e ensinar bem) a Física ou as suas aplicações nas ciências e nas tecnologias – tal é o objectivo do ensino da Física que se faz numa Faculdade de Ciência e Tecnologia que directamente conheço – por maioria de razão será meritório apostar na melhoria de qualidade do ensino para alunos que, à partida, possam ser menos facilmente atraídos pela beleza das leis da Física.

É minha convicção que a Biofísica deve, como disciplina de formação propedêutica de futuros médicos, contribuir para a formação de profissionais que, por um lado, sejam capazes de reconhecer os princípios físicos por detrás da enorme variedade de mecanismos subjacentes à vida e, por outro, possam perceber o funcionamento de meios de diagnóstico que são cada vez mais sofisticados na exploração de efeitos que só a Física permite esclarecer – trata-se de condições necessárias ao pleno desempenho da Medicina do Séc. XXI. Ora tal formação exige a criação pelos estudantes de rotinas de análise e resolução de problemas que não são porventura muito vulgares nas outras áreas do conhecimento que fazem parte do leque da formação básica para os estudantes de medicina. Daí a importância de dispor de um trabalho em que tal aproximação é seguida com rigor e que o estudante poderá consultar sempre que necessite.

Vale a pena referir que alguns dos assuntos cobertos neste livro – nomeadamente, Membranas, Fluidos – são dos mais úteis para os futuros médicos, na medida em que ajudam a consolidar conceitos e criam a aptidão para responder de forma adequada a questões que se lhes colocarão na vida profissional. Por outro lado, face à importância crescente que tem a utilização das radiações, tanto no diagnóstico médico como na terapia, o capítulo que aborda os problemas de Decaimento Radioactivo e efeitos biológicos das radiações, é oportunidade única para os estudantes questionarem e

esclarecerem conceitos que, de outro modo, não passariam de mera formulação matemática.

Mesmo tendo em conta que os assuntos cobertos não vão além das Membranas, Fluidos e Radioactividade, – fazendo o leitor perguntar-se para quando o surgimento de obra que cubra os capítulos restantes da Biofísica Médica – não deixa de ser um facto que a forma de encarar os problemas e as técnicas de análise empregues têm toda a generalidade. Por isso, o treino na resolução destes exercícios, num quadro formal correcto e exigente, tem um valor formativo que ultrapassa em muito os temas abordados.

Acresce aparecer este livro num momento particular da universidade portuguesa. Refiro-me à recente remodelação dos cursos superiores decorrente do acordo de Bolonha. Na verdade, ao impor um acréscimo do trabalho individual dos estudantes, a reforma exige que eles disponham de auxiliares consistentes para levar a cabo com êxito o seu estudo pessoal.

Estão pois de parabéns a equipa de autores e a Imprensa da Universidade de Coimbra, que agora inclui o trabalho nas suas publicações.

Rui Ferreira Marques

(Professor Catedrático da FCTUC e Membro da Direcção do LIP)