

ANGELO FERNANDO PADILHA

# MATERIAIS

DE ENGENHARIA

MICROESTRUTURA



PROPRIEDADES

  
HEMUS

# **MATERIAIS DE ENGENHARIA**

## **Microestrutura e Propriedades**

Angelo Fernando Padilha

O presente texto tem caráter introdutório. Embora um autor não possa e nem deva determinar ou escolher seus leitores, ele foi escrito visando interessados que estão se iniciando no estudo da Ciência dos Materiais. Eles tanto podem ser estudantes de graduação dos três primeiros anos de Engenharia Metalúrgica ou de Engenharia de Materiais, como graduados em outras áreas, tais como Física, Química, Engenharia Mecânica, Engenharia Química e Odontologia, que estejam se iniciando na área de materiais.

A matéria é desenvolvida em 20 capítulos concisos. Nos capítulos iniciais é discutida a organização dos átomos na matéria (ligações químicas, sólidos cristalinos, sólidos amorfos e sólidos parcialmente cristalinos). Nos capítulos intermediários são abordados (com considerável detalhe) os defeitos cristalinos. Na parte final são discutidas as principais propriedades dos materiais. No decorrer de todo o texto procura-se relacionar a composição e a estrutura dos

materiais com suas propriedades e usos.

A abordagem apresenta algumas ênfases. Por exemplo, os materiais cristalinos são tratados em maior detalhe que os amorfos e parcialmente cristalinos. Os materiais metálicos ocupam maior espaço que os cerâmicos, poliméricos e compósitos. As propriedades mecânicas são discutidas em maior detalhe que todas as outras. Estas ênfases foram dadas pela importância econômica e pelas aplicações.

Todos os capítulos apresentam lista de exercícios propostos e bibliografia.

**MATERIAIS  
DE  
ENGENHARIA**

**MICROESTRUTURA e PROPRIEDADES**

ANGELO FERNANDO PADILHA

# MATERIAIS DE ENGENHARIA

MICROESTRUTURA e PROPRIEDADES



*Editoração Eletrônica:*  
MCT Produções Gráficas

*Capa:*  
Sérgio Ng

*Supervisão:*  
Maxim Behar

© Copyright by Angelo Fernando Padilha  
© Copyright 2000 by Hemus SA  
Mediante contrato firmado com o Autor

Todos os direitos adquiridos  
e reservada a propriedade literária desta publicação pela



**HEMUS LIVRARIA, DISTRIBUIDORA E EDITORA S.A.**

**Visite nosso site: [www.hemus.com.br](http://www.hemus.com.br)**

*Pedidos e Correspondência:*  
Caixa Postal 073 - CEP 80011-970 - Curitiba - PR

Impresso no Brasil / *Printed in Brazil*

# Sumário

<b>Agradecimentos</b> . . . . .	9
<b>Apresentação</b> . . . . .	11
<b>1. Os Materiais de Engenharia</b> . . . . .	13
<b>2. O Átomo</b> . . . . .	33
<b>3. As Ligações Atômicas</b> . . . . .	47
<b>4. Estrutura Cristalina</b> . . . . .	59
<b>5. Direções e Planos Cristalográficos</b> . . . . .	77
<b>6. Determinação da Estrutura Cristalina</b> . . . . .	89
<b>7. Defeitos Puntiformes e Soluções Sólidas</b> . . . . .	103
<b>8. Difusão no Estado Sólido</b> . . . . .	121
<b>9. Defeitos de Linha (Discordâncias)</b> . . . . .	145
<b>10. Defeitos Bidimensionais ou Planares</b> . . . . .	181
<b>11. Sólidos Amorfos</b> . . . . .	201

<b>12. Sólidos Parcialmente Cristalinos . . . . .</b>	<b>213</b>
<b>13. Classificação e Quantificação das Microestruturas . . . . .</b>	<b>223</b>
<b>14. Principais Ensaio Mecânicos . . . . .</b>	<b>237</b>
<b>15. Propriedades Mecânicas . . . . .</b>	<b>251</b>
<b>16. Propriedades Elétricas . . . . .</b>	<b>271</b>
<b>17. Propriedades Térmicas . . . . .</b>	<b>289</b>
<b>18. Propriedades Óticas . . . . .</b>	<b>303</b>
<b>19. Propriedades Magnéticas . . . . .</b>	<b>317</b>
<b>20. Algumas outras Propriedades Importantes . . . . .</b>	<b>331</b>
<b>Índice . . . . .</b>	<b>343</b>

## Agradecimentos

A preparação deste texto só foi possível graças à cooperação de várias pessoas e instituições.

Os alunos das disciplinas de graduação *Ciência dos Materiais I e II* contribuíram com numerosas correções e valiosas críticas e sugestões. Infelizmente, não anotei o nome de todos aqueles que colaboraram. Entretanto, dois alunos não podem ser esquecidos: Ricardo Santana Maltez e Rosely Ernesto.

Os alunos das disciplinas de pós-graduação *Microestrutura e Análise Microestrutural e Introdução à Ciência e à Engenharia de Materiais* contribuíram com seus criticismo e interesse.

Meus orientados de Doutorado, Mestrado e Iniciação Científica, Izabel Fernanda Machado, Fulvio Siciliano Jr., Julio Cesar Dutra, Hugo Ricardo Zschommer Sandim, Rejane Aparecida Nogueira, Ricardo do Carmo Fernandes e Maria Luciana Facci Urban, estiveram sempre dispostos para ajudar.

Os colegas de Departamento, Profa. Dra. Nicole Raymonde Demarquette, Prof. Dr. Paulo Sérgio Carvalho Pereira da Silva, Prof. Dr. José Deodoro Trani Capocchi, Prof. Dr. Douglas Gouvêa e o Prof. Eng. Marcelo Martorano, me ajudaram a entender um pouco melhor a Ciência dos Materiais.

Agradeço também aos colegas do IPEN-CNEN/SP, aos quais sempre pude recorrer nos momentos de dúvida, particularmente ao Dr. Luis Filipe Carvalho Pedroso de Lima.

O texto foi cuidadosamente digitado e organizado por Maria Lucia Bastos Padilha. Os amigos Dr. Jesualdo Rossi, Dr. Wolfgang Reick e M. Eng. Júlio César Dutra nos ajudaram muitas vezes a entender e dominar o nosso temperamental computador.

As Bibliotecárias Clélia de Lourdes Lara Meguerditchian e Cláudia Fernanda de Lima facilitaram eficientemente a obtenção de informações bibliográficas.

O amigo Enrique José Galé Pola me incentivou continuamente.

Agradeço também a Universidade de São Paulo, a Escola Politécnica e o Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela oportunidade de trabalho e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida.



## O Autor

O Engenheiro de Materiais Angelo Fernando Padilha é graduado pela Universidade Federal de São Carlos, em 1974. É Mestre em Engenharia Metalúrgica pela EPUSP, em 1977, e Doktor-Ingenieur pela Universidade de Karlsruhe da Alemanha, em 1981. Trabalhou mais de uma década no IPEN-CNEN/SP. Foi Pesquisador Visitante no Instituto Max Planck para Pesquisa em Metais (Stuttgart) e Professor Visitante no Instituto de Materiais da Universidade do Ruhr de Bochum. Deu assessoria para várias empresas. É autor de cerca de 100 trabalhos publicados no Brasil e no exterior e de 4 livros. Desde 1988, é Docente do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP, onde fez Livre-Docência e é Professor Titular.

# Apresentação

O presente texto tem caráter introdutório. Embora um autor não possa e nem deva determinar ou escolher seus leitores, ele foi escrito visando interessados que estão se iniciando no estudo da Ciência dos Materiais. Eles tanto podem ser estudantes de graduação dos três primeiros anos de Engenharia Metalúrgica ou de Engenharia de Materiais, como graduados em outras áreas, tais como Física, Química, Engenharia Mecânica, Engenharia Química e Odontologia, que estejam se iniciando na área de materiais.

A matéria é desenvolvida em 20 capítulos concisos. Nos capítulos iniciais é discutida a organização dos átomos na matéria (ligações químicas, sólidos cristalinos, sólidos amorfos e sólidos parcialmente cristalinos). Nos capítulos intermediários são abordados (com considerável detalhe) os defeitos cristalinos. Na parte final são discutidas as principais propriedades dos materiais. No decorrer de todo o texto procura-se relacionar a composição e a estrutura dos materiais com suas propriedades e usos.

A abordagem apresenta algumas ênfases. Por exemplo, os materiais cristalinos são tratados em maior detalhe que os amorfos e parcialmente cristalinos. Os materiais metálicos ocupam maior espaço que os cerâmicos, poliméricos e compósitos. As propriedades mecânicas são discutidas em maior detalhe que todas as outras. Estas ênfases foram ditadas pela importância econômica e pelas aplicações.

O leitor também poderá notar algumas lacunas e ausências. Não apresenta um tratamento termodinâmico dos fenômenos abordados, nem sequer os diagramas de fases dos materiais discutidos são apresentados. Também não é dada maior atenção para as transformações que ocorrem durante o processamento dos materiais. Estas ausências foram intencionais e são justificadas pela abordagem e pelo caráter introdutório do texto. Isto não significa, porém, que os tópicos não tratados sejam de menor importância. O autor planeja inclusive tratá-los em um outro volume, denominado *Processamento*

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

