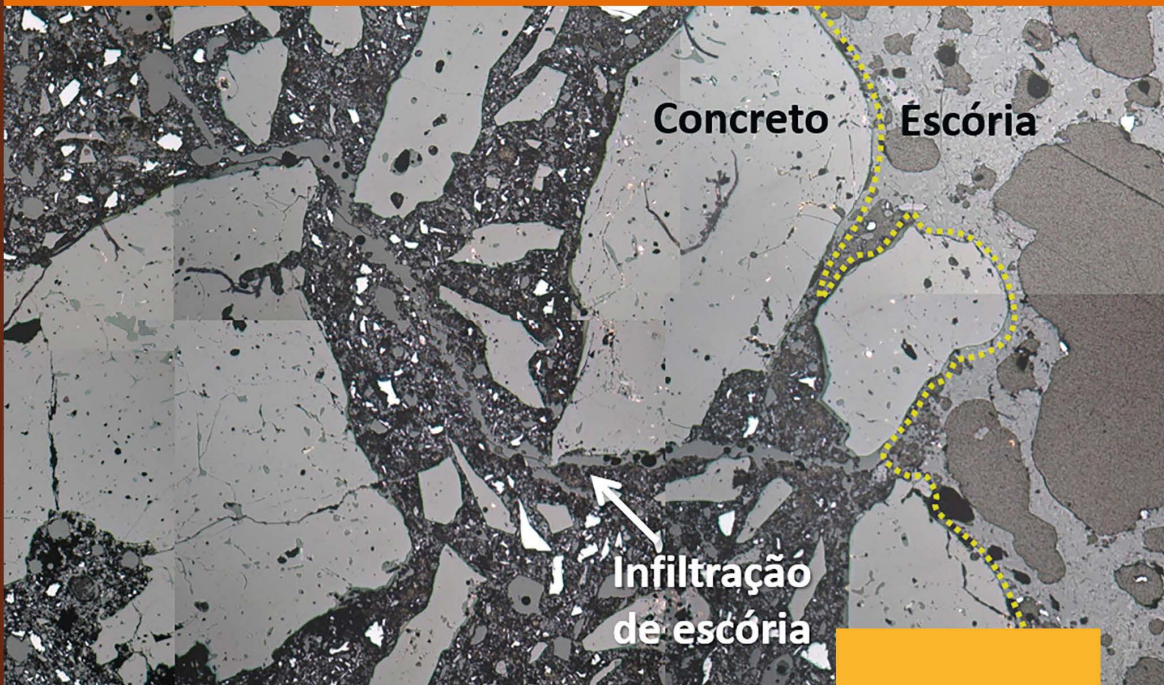


VOLUME I

FUNDAMENTOS À TECNOLOGIA DE REFRAATÓRIOS



ALAMAR KASAN DUARTE

Coordenação

COLEÇÃO
DE LIVROS
abm

Blucher

abm
Associação Brasileira de
Metalurgia, Materiais e Mineração

Alamar Kasan Duarte
Coordenação

FUNDAMENTOS À TECNOLOGIA
DE REFRAATÁRIOS

Volume I

Fundamentos à tecnologia de refratários

© 2024 Alamar Kasan Duarte

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher: Edgard Blücher

Editor: Eduardo Blücher

Pré-produção: Juliana Midori Horie

Coordenação editorial: Rafael Fulanetti

Coordenação de produção: Andressa Lira

Produção editorial: Rosemeire C. Pinto

Diagramação: Know-how Editorial

Revisão de texto: Vânia Cavalcanti

Capa: Laércio Flenic

Imagem da capa: RHI Magnesita

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 6. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, julho de 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Fundamentos à tecnologia de refratários / coordenação
Alamar Kasan Duarte. -- São Paulo : Blucher, 2024.
476 p. : il. (Coleção de livros ABM, vol I)

Bibliografia

ISBN 978-85-212-2310-8

1. Siderurgia 2. Materiais refratários - Indústria I. Duarte, Alamar
Kasan II. Série

24-3234

CDD 669.14

Índices para catálogo sistemático:

1. Siderurgia

CONTEÚDO

| | |
|--|-----------|
| 1. Introdução à Indústria de Refratários | 37 |
| 1.1 O mercado mundial de refratários | 37 |
| 1.2 O mercado de refratários no Brasil | 41 |
| 1.3 Tendências na produção de refratários | 45 |
| 1.4 Consumo de matérias-primas na indústria de refratários | 47 |
| 1.5 Aspectos econômicos na indústria de refratários | 51 |
| Referências | 54 |
| 2. Classificação de Refratários | 55 |
| 2.1 Classificação geral de refratários | 55 |
| 2.2 Refratários ácidos | 59 |
| 2.2.1 Refratários moldados de sílica | 65 |
| 2.2.2 Refratários moldados sílico-aluminosos | 73 |
| 2.2.3 Refratários moldados aluminosos | 77 |
| 2.3 Refratários moldados básicos | 84 |
| 2.3.1 Refratários moldados de MgO e MgO-C | 88 |
| 2.3.2 Refratários moldados de doloma | 92 |
| 2.3.3 Refratários moldados cromo-magnesianos e espinelizados | 95 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 2.4 | Refratários especiais..... | 103 |
| 2.4.1 | Refratários moldados à base de SiC..... | 103 |
| 2.4.2 | Refratários moldados à base de C..... | 107 |
| 2.4.3 | Refratários moldados à base de zircônia e zirconita..... | 110 |
| 2.5 | Refratários monolíticos..... | 116 |
| 2.5.1 | Argamassas..... | 116 |
| 2.5.2 | Massas plásticas e massas de socar..... | 126 |
| 2.5.2.1 | Aplicação..... | 126 |
| 2.5.3 | Plásticos refratários..... | 127 |
| 2.5.3.1 | Método de aplicação de plásticos refratários..... | 132 |
| 2.5.3.2 | Secagem e aquecimento de plásticos e massas de socar (massas plásticas)..... | 133 |
| 2.5.4 | Massas granuladas secas..... | 134 |
| 2.5.4.1 | Areias de vedação para fornos elétricos tipo EBT e válvulas de painéis de aço..... | 135 |
| 2.5.4.2 | Funções básicas de uma areia de vedação de panela..... | 136 |
| 2.5.4.3 | Método de colocação..... | 138 |
| 2.5.4.4 | Movimentação da panela antes da adição da areia..... | 138 |
| 2.5.4.5 | Posição da panela sob o forno..... | 139 |
| 2.5.4.6 | Massas granuladas secas para rampa e soleira de fornos elétricos a arco..... | 141 |
| 2.5.4.6.1 | Aplicação de massas granuladas secas para fornos elétricos a arco..... | 141 |
| 2.5.4.7 | Massas granuladas secas para fornos de indução..... | 144 |
| 2.5.6 | Concretos refratários..... | 145 |
| 2.5.6.1 | Comportamento reológico..... | 147 |
| 2.5.6.2 | Reologia e o desenvolvimento de cargas de superfície..... | 149 |
| 2.5.6.3 | Potencial zeta..... | 151 |
| 2.5.6.4 | Concretos refratários (processo/produção/controles)..... | 151 |
| 2.5.6.5 | Variáveis de controle de processo do concreto à base de cimentos de aluminato de cálcio..... | 152 |
| 2.5.6.5.1 | Modelo de Furnas (abordagem discreta)..... | 156 |
| 2.5.6.5.2 | Modelo de Andreasen (abordagem contínua)..... | 156 |
| 2.5.6.5.3 | Modelo de Alfred (abordagem contínua)..... | 156 |
| 2.5.6.6 | Pré-moldados..... | 160 |
| 2.5.6.7 | Secagem e cura..... | 161 |
| 2.5.6.8 | Aplicação por vibração..... | 167 |
| 2.5.7 | Massas de projeção..... | 173 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 2.5.8 | Massas de cobertura | 176 |
| 2.5.6.1 | Materiais de cobertura sobre revestimentos refratários | 176 |
| 2.5.8.2 | Materiais de cobertura sobre metais líquidos..... | 179 |
| 2.5.9 | Pinturas refratárias..... | 180 |
| 2.5.10 | Massas de injeção | 181 |
| | Referências..... | 184 |
| 3. | Propriedades dos Refratários e seus Mecanismos de Desgaste..... | 189 |
| 3.1 | Introdução | 189 |
| 3.2 | Mecanismos gerais de desgaste em refratários | 190 |
| 3.2.1 | Fatores operacionais | 191 |
| 3.2.2 | Fatores ligados ao projeto e a montagem | 191 |
| 3.2.3 | Fatores ligados ao refratário..... | 192 |
| 3.3 | Testes e normas usadas na avaliação de refratários..... | 192 |
| 3.4 | Propriedades físicas dos refratários | 197 |
| 3.4.1 | Densidade aparente ou densidade de massa específica aparente | 197 |
| 3.4.2 | Porosidade aparente..... | 197 |
| 3.4.3 | Massa específica real..... | 197 |
| 3.4.4 | Permeabilidade..... | 198 |
| 3.4.5 | Distribuição do tamanho de poros..... | 199 |
| 3.4.6 | Distribuição granulométrica | 199 |
| 3.4.7 | Área superficial..... | 200 |
| 3.5 | Propriedades mecânicas | 200 |
| 3.5.1 | Resistência à compressão e à flexão | 202 |
| 3.5.2 | Módulo de elasticidade (dinâmico) | 203 |
| 3.5.3 | Tensão <i>versus</i> deformação..... | 204 |
| 3.5.4 | Fluência (escoamento) e expansão térmica sob carga | 205 |
| 3.5.5 | Teste de carga e de refratariedade sob carga | 207 |
| 3.5.6 | Resistência à abrasão..... | 207 |
| 3.5.7 | Resistência ao impacto..... | 208 |
| 3.6 | Propriedades térmicas..... | 209 |
| 3.6.1 | Temperatura de fusão..... | 209 |
| 3.6.2 | Refratariedade..... | 210 |
| 3.6.3 | Dilatação térmica reversível | 210 |
| 3.6.4 | Variação dimensional permanente | 211 |
| 3.6.5 | Calor específico e capacidade térmica | 212 |
| 3.6.6 | Emissividade | 213 |
| 3.6.7 | Condutividade térmica..... | 214 |
| 3.6.8 | Difusividade térmica | 216 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.7 | Choque térmico e termoclase | 217 |
| 3.8 | Erosão e corrosão..... | 223 |
| 3.8.1 | Análise química | 229 |
| 3.8.2 | Análise mineralógica | 229 |
| 3.8.3 | Análise termogravimétrica | 229 |
| 3.8.4 | Resistência ao ataque de escórias..... | 230 |
| | Referências..... | 233 |
| 4. | Matérias-Primas Refratárias..... | 235 |
| 4.1 | Introdução | 235 |
| 4.2 | Magnésia sinterizada (sínter) | 236 |
| 4.3 | Magnésia eletrofundida..... | 241 |
| 4.4 | Doloma..... | 243 |
| 4.5 | Cromita | 244 |
| 4.6 | Magnésia-cromita eletrofundida | 245 |
| 4.7 | Chamotes..... | 246 |
| 4.8 | Bauxito | 248 |
| 4.9 | Alumina calcinada..... | 249 |
| 4.10 | Alumina tabular | 251 |
| 4.11 | Aluminas eletrofundidas..... | 252 |
| 4.12 | Espinélio sinterizado e eletrofundido..... | 255 |
| 4.13 | Mulita eletrofundida..... | 255 |
| 4.14 | Andaluzita, cianita e silimanita..... | 256 |
| 4.15 | Zirconita..... | 257 |
| 4.16 | Zircônia eletrofundida | 258 |
| 4.17 | Sílica fundida | 259 |
| 4.18 | Carbeto de silício..... | 259 |
| 4.19 | Grafita..... | 261 |
| 4.20 | Matérias-primas recicladas..... | 263 |
| 4.21 | Emissões de CO ₂ e matérias-primas refratárias..... | 265 |
| | Referências..... | 267 |
| 5. | Fabricação de Produtos Refratários..... | 271 |
| 5.1 | Introdução | 271 |
| 5.2 | Cominuição..... | 274 |
| 5.2.1 | Britagem..... | 275 |
| 5.2.2 | Moagem..... | 277 |
| 5.3 | Peneiramento e classificação | 279 |
| 5.3.1 | Peneiramento | 279 |
| 5.3.2 | Classificação | 280 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 5.4 | Ensilagem de materiais sólidos..... | 281 |
| 5.5 | Mistura: homogeneização de sistemas particulados..... | 283 |
| 5.6 | Conformação..... | 288 |
| 5.6.1 | Fases da conformação..... | 288 |
| 5.6.2 | Processos de conformação..... | 289 |
| 5.6.3 | Equipamentos de conformação..... | 292 |
| 5.6.4 | Moldes..... | 295 |
| 5.7 | Tratamento térmico..... | 297 |
| 5.7.1 | Secagem de pré-moldados..... | 298 |
| 5.7.2 | Cura de tijolos..... | 299 |
| 5.7.3 | Queima de tijolos..... | 301 |
| 5.8 | Acabamento: processos especiais..... | 303 |
| 5.9 | Embalagem..... | 305 |
| | Referências..... | 307 |
| 6. | Fabricação e Aplicação de Refratários Isolantes..... | 311 |
| 6.1 | Introdução..... | 311 |
| 6.2 | Tijolos isolantes..... | 311 |
| 6.2.1 | Revestimentos mais utilizados..... | 312 |
| 6.3 | Fibras isolantes..... | 313 |
| 6.4 | Processo de fabricação de fibras isolantes..... | 318 |
| 6.4.1 | Fabricação dos isolantes térmicos fibrosos – adição de zircônia..... | 320 |
| 6.4.1.1 | Fabricação dos isolantes térmicos fibrosos PCW – fibra policristalina..... | 321 |
| 6.5 | Métodos de transferência de calor nas fibras isolantes térmicas..... | 323 |
| 6.5.1 | Condução..... | 326 |
| 6.5.2 | Convecção..... | 328 |
| 6.5.3 | Radiação..... | 330 |
| 6.5.4 | Parâmetros e propriedades físicas dos materiais..... | 333 |
| 6.5.5 | Considerações gerais..... | 336 |
| 6.6 | Aplicações de isolantes..... | 337 |
| | Referências..... | 341 |
| 7. | Projetos de Revestimentos Refratários..... | 343 |
| 7.1 | Objetivos..... | 343 |
| 7.2 | Qual a finalidade de um projeto de revestimento refratário?..... | 345 |
| 7.2.1 | Projeto preliminar..... | 345 |
| 7.2.2 | Projeto definitivo..... | 345 |
| 7.3 | Etapas de um projeto de revestimento refratário..... | 347 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 7.4 | Formatos padronizados..... | 347 |
| 7.4.1 | Como diferenciar arco, cunha e radial..... | 349 |
| 7.4.2 | Formatos ASTM e ABNT | 351 |
| 7.4.3 | ISO e Mini-key..... | 352 |
| 7.4.4 | Semiuniversal (SU)..... | 354 |
| 7.4.4.1 | Dimensões nominais dos formatos | 354 |
| 7.5 | Elementos construtivos..... | 355 |
| 7.5.1 | Geometrias básicas..... | 355 |
| 7.5.2 | Espessura de revestimento | 358 |
| 7.5.2.1 | Revestimentos planos..... | 358 |
| 7.5.2.2 | Superfícies retangulares | 359 |
| 7.5.2.3 | Superfícies planas irregulares | 359 |
| 7.5.2.4 | Revestimentos cilíndricos..... | 360 |
| 7.5.3 | Cálculo de composição de anel cilíndrico | 362 |
| 7.5.3.1 | Revestimentos cilíndricos compostos..... | 364 |
| 7.5.3.2 | Revestimentos troncocônicos..... | 365 |
| 7.5.3.3 | Cálculo de composições troncocônicas | 367 |
| 7.5.4 | Número total de peças do anel | 368 |
| 7.5.5 | Revestimentos troncocônicos com peças especiais | 369 |
| 7.5.6 | Revestimentos esféricos..... | 369 |
| 7.5.6.1 | Cálculo das combinações esféricas | 371 |
| 7.5.6.2 | Revestimentos esféricos com peças especiais..... | 372 |
| 7.5.6.3 | Revestimentos em interseções | 373 |
| 7.6 | Detalhes típicos de construção..... | 374 |
| 7.6.1 | Conceitos gerais | 374 |
| 7.6.2 | Sistemas de ancoragens | 379 |
| 7.6.2.1 | Ancoragens metálicas..... | 380 |
| 7.6.2.2 | Comprimento das âncoras metálicas..... | 381 |
| 7.6.2.3 | Espaçamento entre âncoras metálicas..... | 381 |
| 7.6.2.4 | Aplicação das âncoras metálicas | 382 |
| 7.6.2.5 | Ancoragens cerâmicas | 382 |
| 7.6.2.6 | Comprimento das âncoras cerâmicas | 384 |
| 7.6.2.7 | Espaçamento das âncoras cerâmicas..... | 384 |
| 7.6.3 | Ancoragem com peças moldadas especiais..... | 386 |
| 7.7 | Juntas de dilatação..... | 387 |
| 7.7.1 | Materiais usados em juntas de dilatação | 388 |
| 7.7.2 | Tipos de juntas de dilatação | 390 |
| 7.8 | Amarração de tijolos | 392 |
| 7.8.1 | Tipos de amarrações | 392 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 7.8.2 | Encaixes tipo macho-fêmea..... | 394 |
| 7.8.3 | Tipos de macho e fêmea..... | 395 |
| 7.9 | Análise de fluxo de calor..... | 395 |
| 7.9.1 | Transferência de calor..... | 396 |
| 7.9.2 | Cálculo do fluxo de calor..... | 397 |
| 7.9.3 | Dados de entrada..... | 397 |
| 7.9.3.1 | Resultados..... | 398 |
| 7.10 | Uso de elementos finitos em projetos refratários..... | 399 |
| 7.10.1 | Método dos elementos finitos..... | 400 |
| 7.10.2 | Exemplo de aplicação: análise termomecânica de uma válvula coletora..... | 402 |
| 7.10.3 | Outros métodos numéricos: método dos volumes finitos..... | 402 |
| 7.10.4 | Outros métodos numéricos: método dos elementos discretos..... | 403 |
| | Referências..... | 403 |
| 8. | Contratos de Manutenção e de Instalação Refratária..... | 405 |
| 8.1 | Tipos de serviço de instalação refratária..... | 405 |
| 8.2 | Conceitos e modelos de contratos de desempenho..... | 407 |
| 8.3 | Seleção do tipo de contrato mais adequado para cada usina..... | 409 |
| 8.4 | Equipamentos alvo de contratos e como medir o desempenho..... | 413 |
| 8.4.1 | Coquerias..... | 414 |
| 8.4.2 | Altos-fornos..... | 414 |
| 8.4.3 | Convertedores LD..... | 415 |
| 8.4.4 | Fornos elétricos a arco..... | 416 |
| 8.4.5 | Paneles de transporte..... | 416 |
| 8.4.6 | Desgaseificador RH..... | 417 |
| 8.4.7 | Controle de fluxo..... | 418 |
| 8.5 | Conhecimento e domínio sobre indicadores operacionais da usina e equipamentos..... | 418 |
| 8.5.1 | Tempos de processo..... | 419 |
| 8.5.2 | Temperaturas, ciclagens e carga térmicas..... | 420 |
| 8.5.3 | Evolução da química da escória, incluindo adição de ligas e outras adições..... | 420 |
| 8.5.4 | Volume de corrida..... | 421 |
| 8.5.5 | Limpeza do revestimento..... | 421 |
| 8.5.6 | Preaquecimento e gestão térmica..... | 421 |
| 8.6 | Logística..... | 422 |
| 8.6.1 | Seu papel nos contratos de desempenho..... | 422 |

| | |
|---|------------|
| 8.7 Equipamentos de monitoramento de desgaste e gerenciamento de desempenho | 423 |
| 8.7.1 Canais de corrida de altos-fornos | 425 |
| 8.8 Aspectos econômicos de refratários e contratos de desempenho | 427 |
| 8.8.1 Aquisição dos materiais refratários | 428 |
| 8.8.2 Transporte e armazenamento | 428 |
| 8.8.3 Instalação dos refratários | 428 |
| 8.8.4 Operação do equipamento e início do processo de produção | 428 |
| 8.8.5 Demolição, remoção e destinação de resíduos..... | 429 |
| 8.8.6 Modelo de contrato ideal e conclusão | 429 |
| Referências..... | 430 |
| 9. Planejamento da Manutenção e Instalação de Refratários | 433 |
| 9.1 Introdução | 433 |
| 9.2 Escopo | 434 |
| 9.3 Planejamento orçamentário | 435 |
| 9.3.1 Desenhos, procedimentos e normas | 436 |
| 9.3.2 Tipos de materiais refratários | 438 |
| 9.3.2.1 Tijolos padronizados | 438 |
| 9.3.2.2 Peças especiais | 439 |
| 9.3.2.3 Âncoras..... | 439 |
| 9.3.3 Tipos de aplicação..... | 440 |
| 9.3.3.1 Assentamento de peças | 440 |
| 9.3.3.2 Monolíticos/concretos | 441 |
| 9.3.4 Tipos de equipamentos..... | 441 |
| 9.4 Planejamento de obra | 442 |
| 9.4.1 EAP, histograma e cronograma..... | 444 |
| Referências..... | 448 |
| 10. Técnicas de Aplicação e Equipamentos na Manutenção e na Instalação de Refratários..... | 449 |
| 10.1 Introdução | 449 |
| 10.1.1 Condições operacionais | 449 |
| 10.1.2 Definição do material refratário | 450 |
| 10.1.3 Tempo de aplicação..... | 451 |
| 10.1.4 Custo dos materiais..... | 451 |
| 10.1.5 Especialização da mão de obra | 451 |
| 10.1.6 Projeto do equipamento | 451 |

| | |
|---|-----|
| 10.2 Demolição..... | 451 |
| 10.3 Limpeza | 455 |
| 10.4 Aplicação de materiais moldados (tijolos, blocos e peças)..... | 456 |
| 10.5 Aplicação de materiais monolíticos..... | 459 |
| 10.5.1 Projeção pneumática (<i>gunning</i>)..... | 460 |
| 10.5.1.1 Vantagens da aplicação por <i>gunning</i> | 461 |
| 10.5.1.2 Desvantagens da aplicação por <i>gunning</i> | 462 |
| 10.5.2 Bombeamento | 462 |
| 10.5.3 <i>Shotcrete</i> | 465 |
| 10.5.3.1 Vantagens da aplicação por <i>shotcrete</i> | 466 |
| 10.5.3.2 Desvantagens da aplicação por <i>shotcrete</i> | 468 |
| 10.5.4 Vertimento | 468 |
| 10.5.5 Socagem | 469 |
| 10.5.5.1 Pontos importantes | 470 |
| 10.5.6 Injeção..... | 471 |
| 10.5.6.1 Pontos de atenção para aplicação por injeção | 472 |
| 10.5.7 Solda cerâmica..... | 472 |
| 10.5.8 Robôs..... | 473 |
| Referências..... | 475 |

Capítulo 1

INTRODUÇÃO À INDÚSTRIA DE REFRAATÓRIOS

Alamar Kasan Duarte

1.1 O MERCADO MUNDIAL DE REFRAATÓRIOS

A indústria mundial de refratários tem passado por grandes transformações, com inúmeras aquisições, fusões e reestruturações de empresas. O grande crescimento da produção industrial da China e o aumento de sua importância na economia mundial nas últimas décadas provocaram uma enorme transformação no cenário da indústria de refratários. A Figura 1.1 ilustra a evolução da produção mundial de refratários a partir do ano 2000 e a participação da China com cerca de 65% da produção mundial de refratários.

A Figura 1.2 mostra a evolução do faturamento da indústria mundial de refratários, com US\$42,41 bilhões no ano de 2012, o que dá um preço médio de US\$1.060 por tonelada de refratários. Historicamente, fora da China, o preço médio da indústria de refratários tem ficado entre US\$1.000 e 1.200 por tonelada.

A Figura 1.3 mostra a participação no mercado mundial de refratários por região. Do total de 45,2 milhões de toneladas produzidas em 2012, a Ásia participou com 31 milhões de toneladas, representando 68,7% do total. A América Latina participou com 1,125 milhões, representando apenas 2,49% do total.

Um dos parâmetros importantes de avaliação da eficiência do uso de refratários em determinado segmento industrial é o seu consumo específico de refratários, ou

seja, quantos quilos de refratários são necessários para se produzir certa quantidade daquele bem. A Figura 1.4 mostra a evolução do consumo específico de refratários na siderurgia de alguns países. No começo deste século, enquanto o Japão, Estados Unidos e Brasil já tinham alcançado um consumo específico de 8kg/t de aço em usinas integradas, resultado do grande avanço tecnológico ocorrido em refratários e das melhorias operacionais havidas nos clientes, a China tinha números superiores a 20kg/t, em função de que parte da sua siderurgia estava obsoleta.

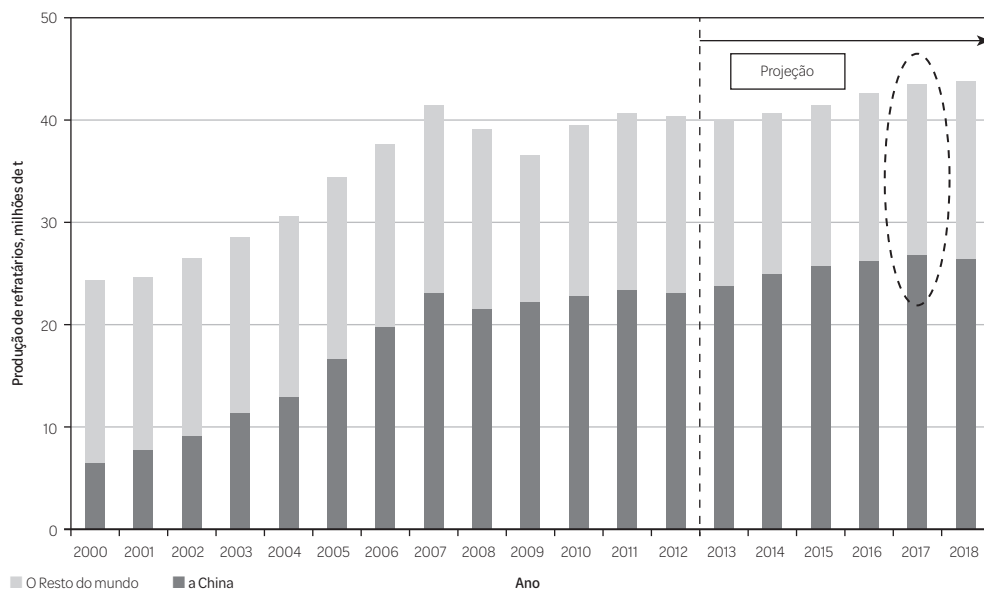


Figura 1.1 Evolução da produção mundial de refratários (2000 a 2018).

Fonte: Adaptada de (1).

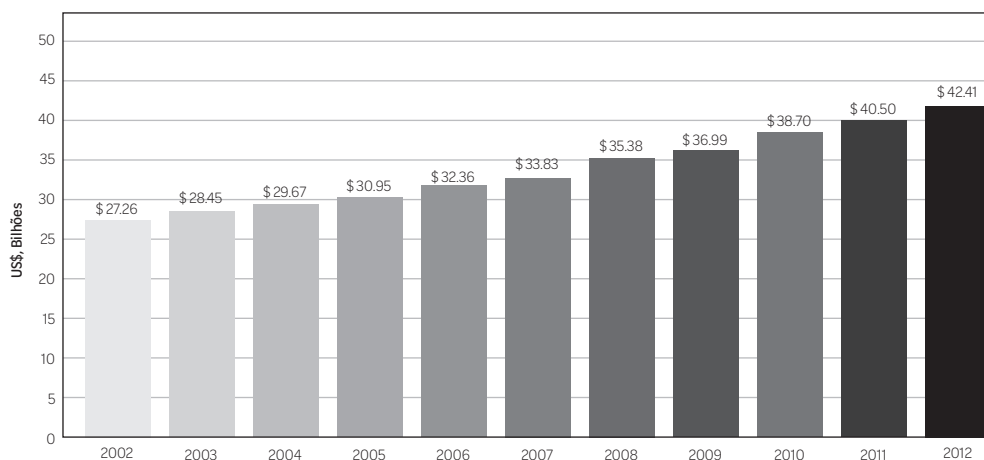


Figura 1.2 Projeção do faturamento da indústria de refratários mundial.

Fonte: Adaptada de (2).

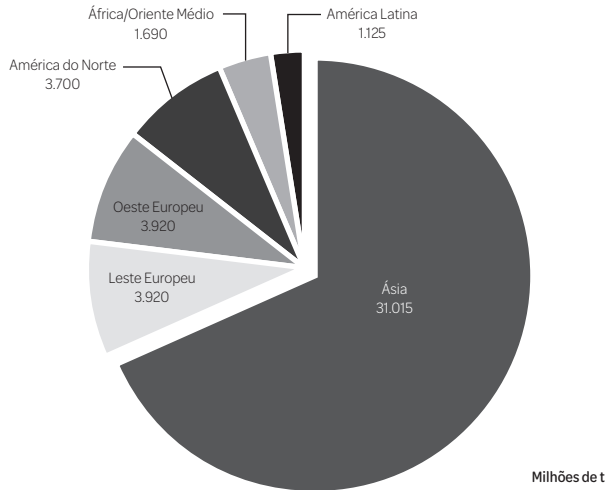


Figura 1.3 O mercado mundial de refratários por região.

Fonte: Adaptada de (3).

Uma indústria de cimento típica, por outro lado, tem consumo específico próximo a 1kg/t, uma indústria de vidro tem 4kg/t e uma indústria de cobre, 3kg/t.

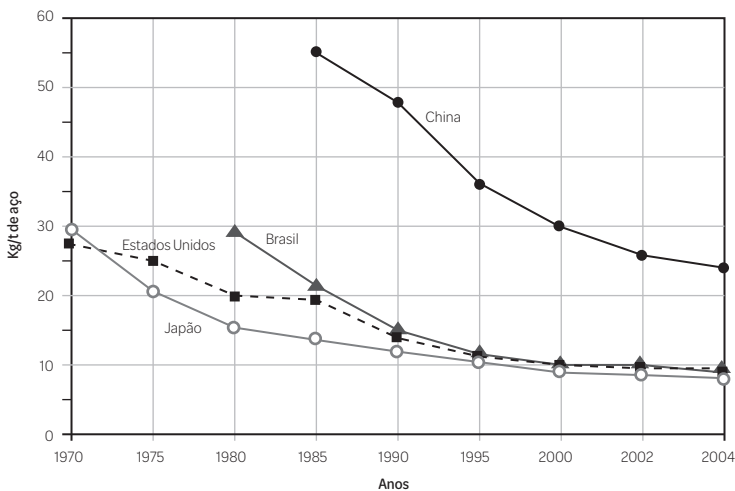


Figura 1.4 Evolução do consumo específico de refratários em alguns países.

Fonte: Adaptada de (4).

O grande investimento na implantação de novas usinas siderúrgicas na China nos últimos anos e o fechamento de plantas obsoletas levaram a uma melhoria nesses números, sendo que os números atuais já se aproximam dos 10kg/t de aço (Figura 1.5). Isso tem ocasionado uma queda na produção mundial de refratários, que, após alcançar um pico de 45 milhões de toneladas no começo deste século, apresenta uma tendência a se estabilizar nos próximos anos em 35 milhões de toneladas (Figura 1.6).

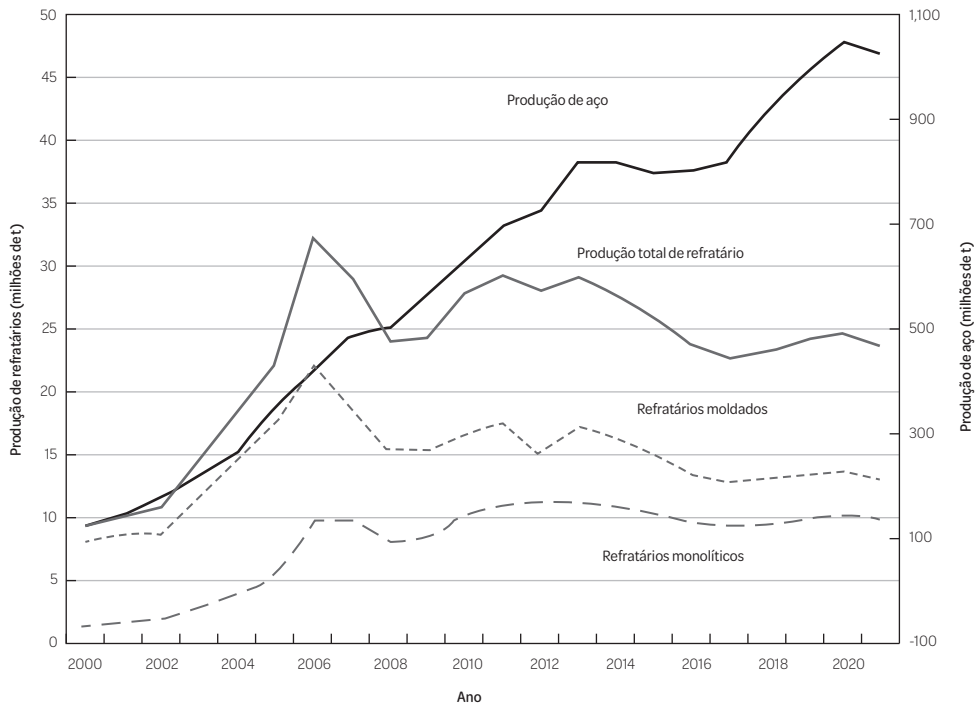


Figura 1.5 Evolução da produção de refratários na China (2000 a 2021).

Fonte: Adaptada de (5).

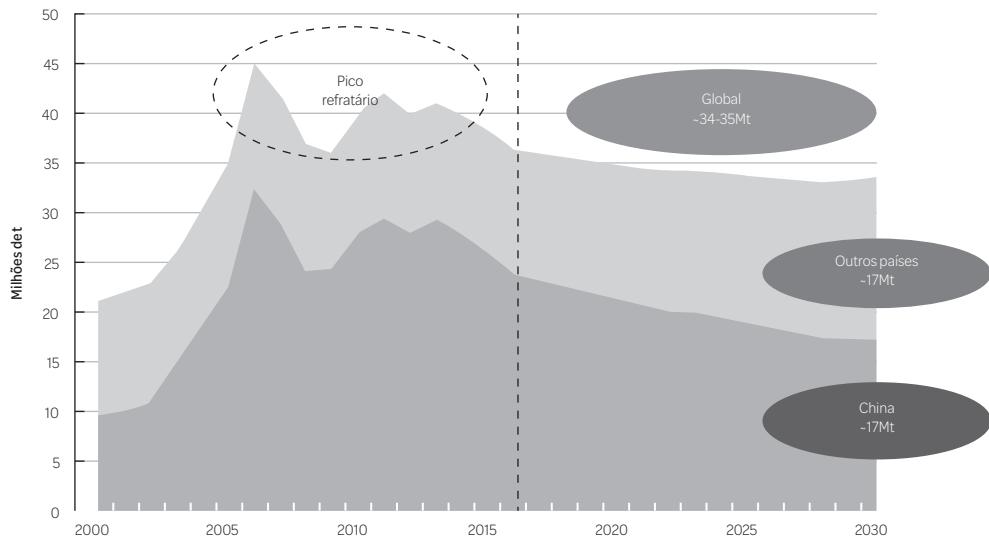


Figura 1.6 Projeção da produção mundial de refratários (milhões de t).

Fonte: Adaptada de (6).

A Figura 1.7 mostra os segmentos industriais que mais consomem refratários em âmbito mundial, com destaque para a siderurgia com 70% e cimento com 7%.

Esses números variam para cada país, dependendo, na maioria das vezes, de suas vantagens competitivas. A Tabela 1.1 mostra, por exemplo, para o ano de 2002, como essa participação estava em países da América Latina em função de condições específicas locais, destacando os segmentos que mais demandam refratários em cada país.

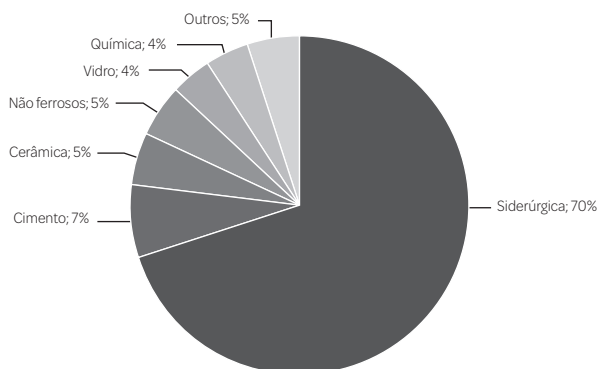


Figura 1.7 Percentual de consumo de refratários por segmento industrial na América Latina.
Fonte: Adaptada de (7).

Tabela 1.1 Percentual de consumo de refratários por segmento industrial na América Latina em 2002.

| Países | Aço | Cimento | Não ferrosos | Vidro | Petroquímica | Outros |
|-----------|-----|---------|--------------|-------|--------------|--------|
| Argentina | 75 | 12 | 6 | 2 | 1 | 4 |
| Brasil | 71 | 9 | 8 | 3 | 1 | 8 |
| Chile | 43 | 6 | 40 | 4 | 1 | 6 |
| Colômbia | 56 | 31 | 4 | 1 | 5 | 3 |
| México | 58 | 20 | 5 | 4 | 8 | 5 |
| Perú | 37 | 15 | 37 | 1 | 1 | 9 |
| Venezuela | 69 | 8 | 8 | 1 | 7 | 7 |

Fonte: Adaptada de (8).

1.2 O MERCADO DE REFRAATÓRIOS NO BRASIL

O Brasil alcançou uma população de 214,3 milhões de habitantes em 2021 segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), representando 2,67% da população mundial de 8 bilhões de habitantes, e é a nona economia do mundo, apesar de seus graves problemas sociais (Tabela 1.2). Apresenta uma participação de 2,21% do PIB mundial, com US\$2,13 trilhões, para um total mundial de US\$96,51 trilhões, e uma renda *per capita* de US\$10.019, próxima à renda mundial de US\$12.034, mas distante das rendas de países desenvolvidos, com mais de US\$40 mil *per capita*.

Tabela 1.2 Os 10 países com maiores PIB em 2024.

| Países | PIB | População | Renda <i>per capita</i> |
|----------------------|---------------|----------------|-------------------------|
| | US\$ trilhões | Em milhões | US\$ <i>per capita</i> |
| 1. Estados Unidos | 26,95 | 336 | 80.208,3 |
| 2. China | 17,70 | 1.426 | 12.412,3 |
| 3. Alemanha | 4,43 | 84 | 52.738,1 |
| 4. Japão | 4,20 | 124 | 33.871,0 |
| 5. Índia | 3,73 | 1.430 | 2.608,4 |
| 6. Reino Unido | 3,33 | 68 | 48.970,6 |
| 7. França | 3,05 | 65 | 46.923,1 |
| 8. Itália | 2,19 | 60 | 36.500,0 |
| 9. Brasil | 2,13 | 213 | 10.018,8 |
| 10. Canadá | 2,12 | 38 | 55.789,5 |
| Total mundial | 96,51 | 8.020,0 | 12.033,7 |
| % Brasil | 2,21 | 2,65 | |

A produção de bens em indústrias brasileiras grandes consumidoras de refratários alcançou valores consideráveis, apesar de representar um percentual de apenas 1,5% a 1,9% da produção mundial (Tabela 1.3); menor, portanto, que o percentual de 2,65% da população mundial. Apesar desses números negativos, o Brasil apresenta um enorme potencial de crescimento, pois à medida que a qualidade de vida da população melhorar, a demanda *per capita* desses produtos tende a crescer.

Tabela 1.3 Produção mundial de importantes bens industriais consumidores de refratários (t x 1000).

| Bem industrial | Aço | Gusa | Liga direta | Cimento | Cobre | Alumínio | Ferroliga |
|----------------|--------|--------|-------------|---------|---------|----------|-----------|
| Ano | 2020 | 2020 | 2020 | 2023 | 2023 | 2023 | 2018 |
| Brasil | 31.415 | 24.628 | | 63.000 | 175 (*) | 1.100 | 964 |
| África do Sul | | | | | | | 4.340 |
| Alemanha | 36.658 | 22.459 | 500 | | 610 | | 26 |
| Arábia Saudita | 7.775 | | 5.192 | 53.000 | | | 108 |
| Argentina | 3.651 | 1.930 | 525 | | | | 13 |
| Austrália | 5.527 | 3.723 | | | 450 | 1.500 | 261 |
| Áustria | 6.765 | 5.322 | | | | | 14 |
| Bahrein | | | 1.450 | | | 1.600 | |
| Canadá | 10.986 | 5.200 | 1.171 | | 310 | 3.000 | 49 |
| Cazaquistão | 3.892 | 3.087 | | | 440 | | 1.900 |
| Chile | 1.157 | 663 | | | 2.000 | | |

(Continua)

Tabela 1.3 Produção mundial de importantes bens industriais consumidores de refratários (t x 1000). (Continuação)

| Bem industrial | Aço | Gusa | Liga direta | Cimento | Cobre | Alumínio | Ferroliga |
|----------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
| Ano | 2020 | 2020 | 2020 | 2023 | 2023 | 2023 | 2018 |
| China | 1.056.970 | 887.719 | | 2.100.000 | 12.000 | 41.000 | 28.711 |
| Congo | | | | | 1.900 | | |
| Egito | 8.229 | 175 | 4.828 | 50.000 | | | 73 |
| Emirados Árabes | | | | | | 2.700 | |
| Espanha | 10.998 | 2.850 | | | | | 337 |
| Estados Unidos | 72.700 | 18.220 | 3.500 | 91.000 | 890 | 750 | 495 |
| Finlândia | | | | | | | 493 |
| França | 11.596 | 7.700 | | | | | 232 |
| Holanda | 6.054 | 5.435 | | | | | |
| Índia | 100.259 | 67.783,0 | 33.529 | 410.000 | | 4.100 | 3.950 |
| Indonésia | | | | 62.000 | 200 | | 494 |
| Irã | 29.019 | 2.520 | 30.211 | 65.000 | | | |
| Islândia | | | | | | 730 | 117 |
| Itália | 20.379 | 3.405 | | | | | |
| Japão | 83.195 | 61.600 | | 50.000 | 1.500 | | 902 |
| Coreia do Sul | 67.098 | 45.360 | | 50.000 | 620 | | 690 |
| Malásia | 7.100 | | 600 | | | 980 | 816 |
| México | 16.803 | 2.400 | 5.170 | 50.000 | 480 | | 247 |
| Noruega | | | | | | 1.300 | 1.008 |
| Peru | | | | | 400 | | |
| Polónia | 7.856 | 3.470 | | | 590 | | 99 |
| Reino Unido | 7.086 | 5.235 | | | | | |
| Rússia | 71.621 | 51.908 | 7.810 | 57.000 | 1.000 | 3.800 | 1.670 |
| Taiwan | 20.959 | 13.441 | | | | | |
| Turquia | 35.810 | 9.971 | | 79.000 | | | 72 |
| Ucrânia | 20.626 | 20.423 | | | | | 1.107 |
| Vietnã | 16.890 | 9.800 | | 110.000 | | | |
| Zâmbia | | | | | 380 | | |
| Outros países | | | | 850.000 | 2.900 | 7.000 | |
| Total mundial | 1.860.000 | 1.310.000 | 105.000 | 4.100.000 | 27.000 | 70.000 | 51.000 |
| % Brasil | 1,7 | 1,9 | 0,0 | 1,5 | 0,6 | 1,6 | 1,9 |

Fonte: Adaptada de (9).

A Tabela 1.4 mostra a produção brasileira de bens de importantes indústrias consumidoras de refratários, com destaque para a indústria siderúrgica e de cimento, as grandes consumidoras de refratários no Brasil. O consumo estimado de

refratários no País é de 450.000t anuais, sendo que desse total, 320.000t vão para a indústria siderúrgica (71%) e 40.000t, para a indústria do cimento (9%), conforme Tabela 1.1. Estima-se que o Brasil ainda exporte cerca de 50.000t de refratários por ano, além de grande quantidade de matérias-primas refratárias, principalmente sínter de MgO.

Tabela 1.4 Produção brasileira de importantes bens industriais consumidores de refratários.

| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Aço | 33.258 | 31.642 | 34.778 | 35.407 | 32.236 |
| Gusa | 27.803 | 26.129 | 28.331 | 28.655 | 26.166 |
| Cimento | 65.283 | 57.557 | 54.004 | 53.553 | 54.400 |
| Alumínio | 1.370 | 1.410 | 1.480 | 1.420 | 1.410 |
| Chumbo | 152 | 156 | 167 | 195 | 195 |
| Cobre | 270 | 264 | 143 | 148 | 175 |
| Estanho | 16,5 | 12,5 | 13,8 | 12,9 | 11,9 |
| Ferroligas | 792 | 940 | 1.020 | 1.076 | 958 |
| • Ferro-cromo | 173 | 150 | 172 | 175 | 137 |
| • Ferro-manganês | 84 | 84 | 123 | 118 | 102 |
| • Ferro-nióbio | 79 | 68 | 90 | 96 | 92 |
| • Ferro-níquel | 195 | 245 | 247 | 237 | 186 |
| • Ferro-silício | 119 | 226 | 185 | 221 | 225 |
| • Ferro-silício-manganês | 142 | 167 | 203 | 229 | 216 |
| Silício | 104 | 194 | 164 | 203 | 200 |
| Zinco | 271 | 285 | 245 | 246 | 284 |
| Vidro plano | 2.537 | 2.537 | 2.526 | 2.438 | 2.748 |

Fonte: Adaptada de (9).

A despeito do aumento na produção dos principais segmentos industriais consumidores de refratários, a produção de refratários no Brasil tem se mantido relativamente constante. Isso se dá em função da queda no consumo específico de refratários (Figura 1.4), proveniente do grande avanço tecnológico ocorrido na indústria de refratários, assim como das melhorias operacionais havidas nos clientes.

A indústria de refratários brasileira está situada entre as mais avançadas do mundo, com produtos de alta qualidade desenvolvidos para maximizar o desempenho dos equipamentos. Ela tem feito uma contribuição significativa para as indústrias siderúrgicas, de cimento, não ferrosos, vidro, petroquímica, entre outras, diminuindo os custos específicos com refratários e aprimorando a qualidade de seus produtos mediante o uso de melhores sistemas refratários. A Tabela 1.5 mostra o consumo específico típico, kg/t, em cada área de uma usina integrada brasileira.

Tabela 1.5 Consumo específico de refratários típico em uma usina integrada de produção de aço.

| Consumo específico de refratários na siderurgia | | |
|---|-----------------|--------------------|
| | Unidade | Consumo específico |
| Coqueria | kg/t de coque | 0,20 |
| Pelotização (forno rotativo) | kg/t de pelotas | 0,25 |
| Alto-forno | | |
| • Massa de tamponamento | kg/gusa | 0,40 |
| • Canais de corrida | kg/gusa | 0,66 |
| Carro torpedo | kg/gusa | 0,50 |
| Panela de gusa | kg/gusa | 0,56 |
| Convertedor LD | kg/aço | 1,00 |
| Fornos elétricos a arco | kg/aço | 3,00 |
| Panela de aço | kg/aço | 1,70 |
| Refino secundário | kg/aço | 0,60 |
| Lingotamento contínuo | kg/aço | 1,00 |
| Forno de reaquecimento | kg/aço | 0,23 |
| Planta de cal | k/t cal | 0,90 |

Fonte: Adaptada de (7).

A indústria brasileira de refratários já deu passos importantes na direção de uma nova era no relacionamento com seus fornecedores e clientes, adotando modernas técnicas de marketing, enfatizando a prestação de serviços, engenharia, logística de produção e reciclagem e reinvestindo uma grande parcela de seus lucros em pesquisa e desenvolvimento.

Os principais indicadores mostram que a indústria de refratários tem dado uma contribuição positiva para a economia brasileira. O contínuo investimento em tecnologia, a preocupação com o treinamento de seus profissionais, a prestação de serviços aos clientes e a presença no mercado internacional têm tornado as indústrias brasileiras altamente competitivas.

1.3 TENDÊNCIAS NA PRODUÇÃO DE REFRAATÓRIOS

Existe uma tendência no uso de refratários que possam ter a sua aplicação mecanizada, como é o caso, principalmente, de alguns monolíticos. A Figura 1.8 mostra a tendência de uso de tijolos e monolíticos refratários no Japão, evidenciando o aumento na participação dos monolíticos no consumo de refratários, que passou a representar quase 70% a partir de 2010.

A Figura 1.9 mostra a tendência no uso das classes de refratários moldados, evidenciando sua aplicação cada vez maior em refratários mais nobres, de melhor

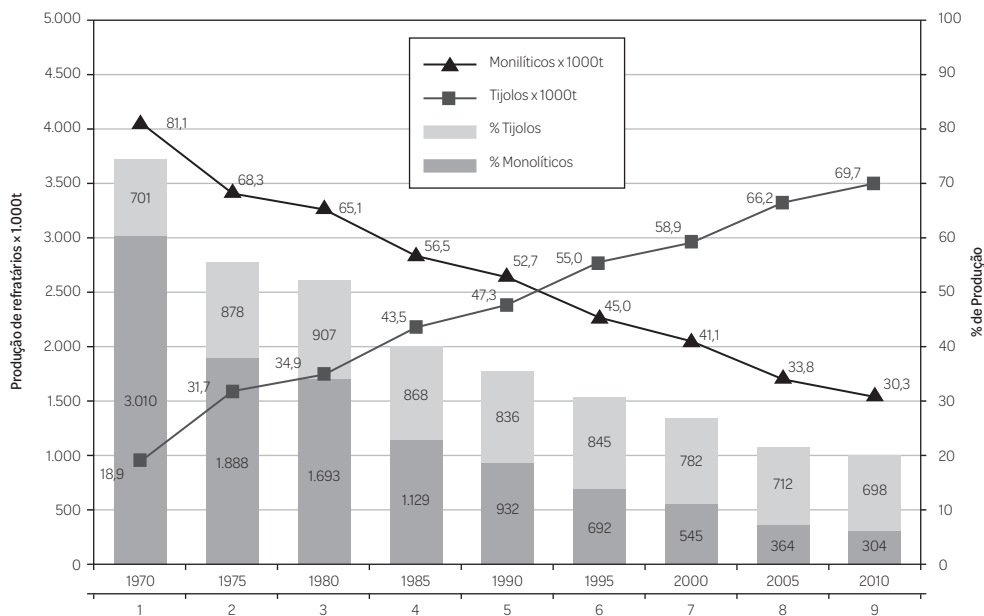


Figura 1.8 Evolução da produção de refratários moldados e monolíticos no Japão.

Fonte: Adaptada de (7).

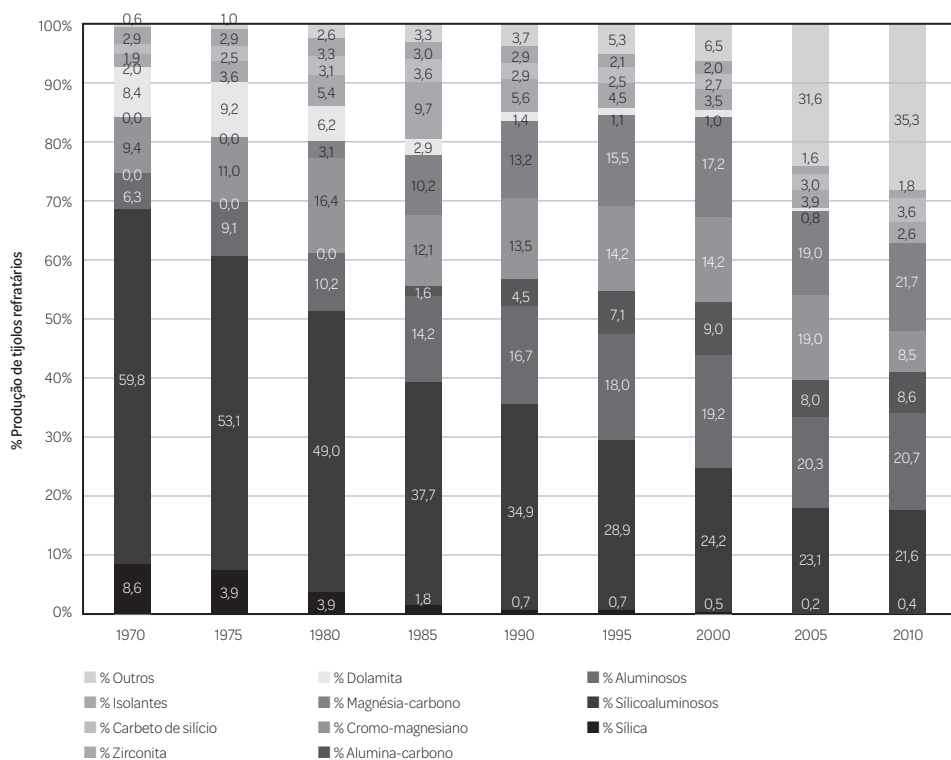


Figura 1.9 Evolução da produção de classes de refratários moldados no Japão.

Fonte: Adaptada de (7).

desempenho. Tijolos de sílica, sílico-aluminosos e cromo-magnesianos cada vez são menos usados, enquanto aluminosos, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$, MgO-C e especiais são cada vez mais usados.

A Figura 1.10 mostra a tendência no uso das classes de refratários monolíticos, evidenciando a aplicação cada vez maior em refratários que podem ter a sua aplicação mecanizada e que possam substituir os tijolos, sem queda de desempenho. Massas de socar, plásticos e argamassas são cada vez menos usados, enquanto concretos, massas de projeção e de cobertura (*coating*) são cada vez mais usados.

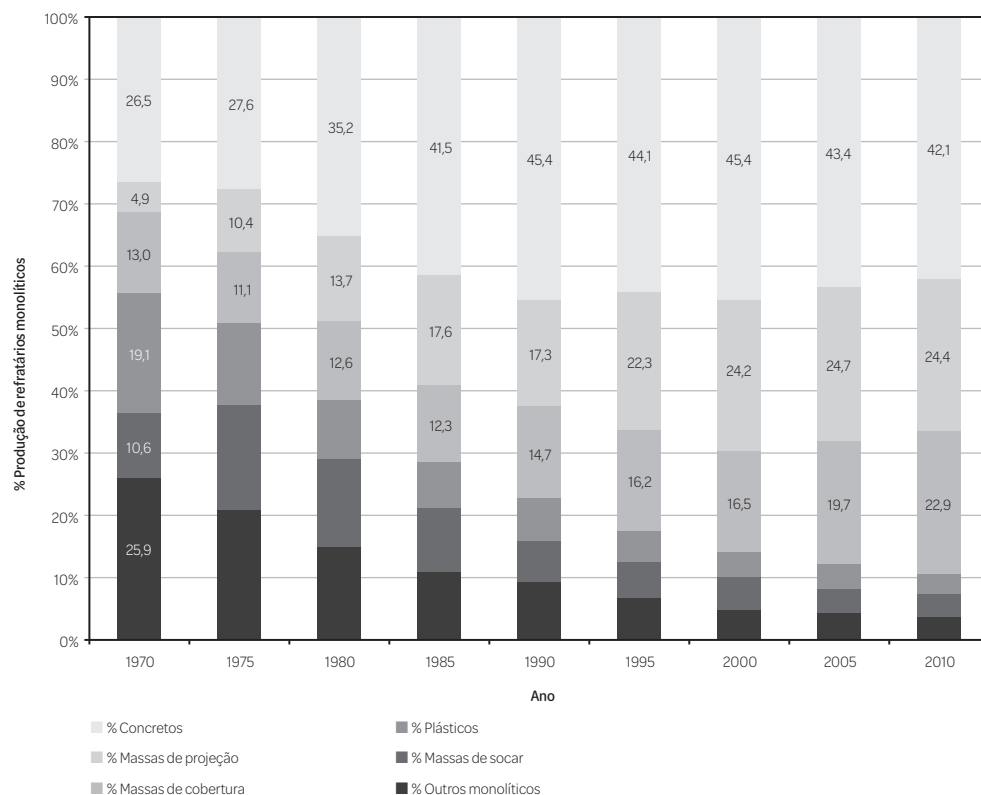


Figura 1.10 Evolução da produção de classes de refratários monolíticos no Japão.

Fonte: Adaptada de (7).

1.4 CONSUMO DE MATÉRIAS-PRIMAS NA INDÚSTRIA DE REFRAATÓRIOS

A Figura 1.11 mostra o consumo mundial das principais matérias-primas refratárias em um total estimado de 35 a 37 milhões de toneladas em 2014. A Figura 1.12 mostra a faixa de preços típica para as principais matérias-primas em 2015.

A Figura 1.13 mostra a distribuição das principais fontes comerciais de matérias-primas refratárias e a Tabela 1.6 mostra a principal fonte de cada matéria-prima em âmbito mundial.

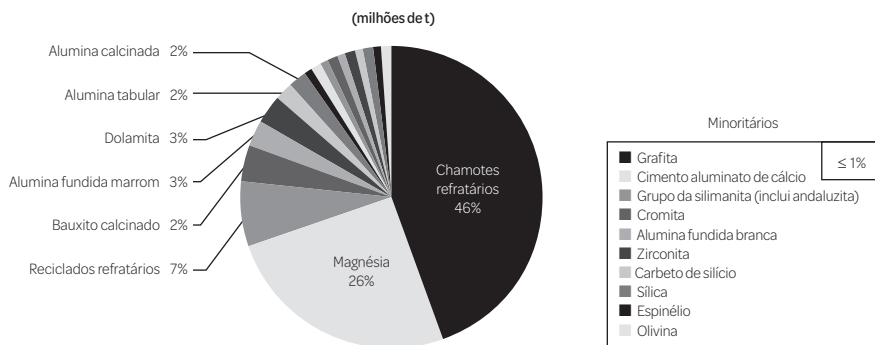


Figura 1.11 Consumo mundial de matérias-primas refratárias. Fonte: Adaptada de (10).

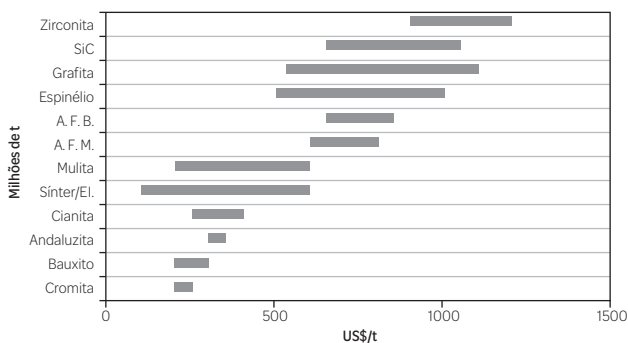
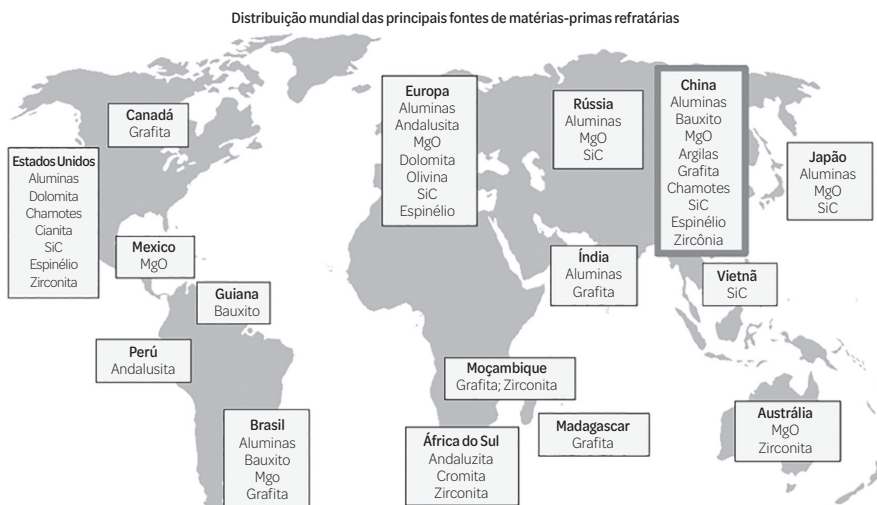


Figura 1.12 Faixa de preços de matérias-primas refratárias. Fonte: Adaptada de (11).



Número dos países produtores de matérias-primas refratárias
 Sínter MgO (21), SiC (20); Alumina fundida (14); MgO fundido (12); Pirofilita (11); Dolomita (9); Grafita (9); Zirconita (9)
 Aluminas (8); Cianita (5); Andaluzita (5); Bauxito (4); Cromita (4)

Figura 1.13 Principais matérias-primas refratárias por país. Fonte: Adaptada de (10).

Tabela 1.6 Principais fontes de matérias-primas refratárias.

| Classificação de refratários | Mineral industrial | Principal componente químico | Principal país produtor |
|------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|
| Básicos | Sinter de magnésia | 85%-99,8% MgO | China, Brasil |
| | Magnésia eletrofundido | 97%-99,8% MgO | China |
| | Sinter de doloma | 56%-62% MgO, 36%-40% CaO | Estados Unidos |
| | Cromita | > 46% Cr ₂ O ₃ | África do Sul |
| | Espinélio fundido/sinterizado | 66%-80% Al ₂ O ₃ , 21%-33% MgO | China |
| | Olivina | 40%-50% MgO, 35%-45% SiO ₂ | Noruega |
| Ácidos | Alumina calcinada | > 99,5% Al ₂ O ₃ | China, Brasil |
| | Alumina fundida e tabular | 94%-99,5% Al ₂ O ₃ | China, Brasil |
| | Bauxito sinterizado | 85%-88% Al ₂ O ₃ | China |
| | Chamotes/mulita sinterizada e fundida | 40%-75% Al ₂ O ₃ | Estados Unidos: Brasil |
| | Andaluzita, silimanita, cianita | 60%-65% Al ₂ O ₃ | África do Sul |
| | Argilas sílico-aluminosas | 20%-45% Al ₂ O ₃ | Geral |
| | Pirofilita | 20%-30% Al ₂ O ₃ | Koréia do Sul, Brasil |
| | Quartzito e areia de sílica | > 99,8% SiO ₂ | Geral |
| | Sílica fundida | > 99,5% SiO ₂ | Estados Unidos |
| Especiais | Zirconita | 66% ZrO ₂ | Austrália |
| | Zircônia | > 99% ZrO ₂ | China |
| | Carbeto de silício | > 93% SiC | China, Brasil |
| | Grafita | 75%-99% C | China, Brasil |
| Isolantes | Diatomita | > 75% SiO ₂ | Estados Unidos |
| | Perlita | 65%-80% SiO ₂ | China |
| | Vermiculita | 45% SiO ₂ | África do Sul |

Fonte: Adaptada de (10).

A Figura 1.14 mostra a evolução das exportações da China das principais matérias-primas refratárias e a Figura 1.15 mostra a projeção de produção e exportação de produtos refratários pelo País. Será que a redução da demanda de produtos na China não levará a um aumento nas exportações de refratários pela indústria chinesa?

A Tabela 1.7 mostra como a produção de matérias-primas refratárias impacta a emissão de CO₂ na atmosfera, sendo, portanto, um grande desafio para a indústria de refratários reduzir essa emissão. Um dos caminhos é, sem dúvida, a busca por reciclagem de refratários.

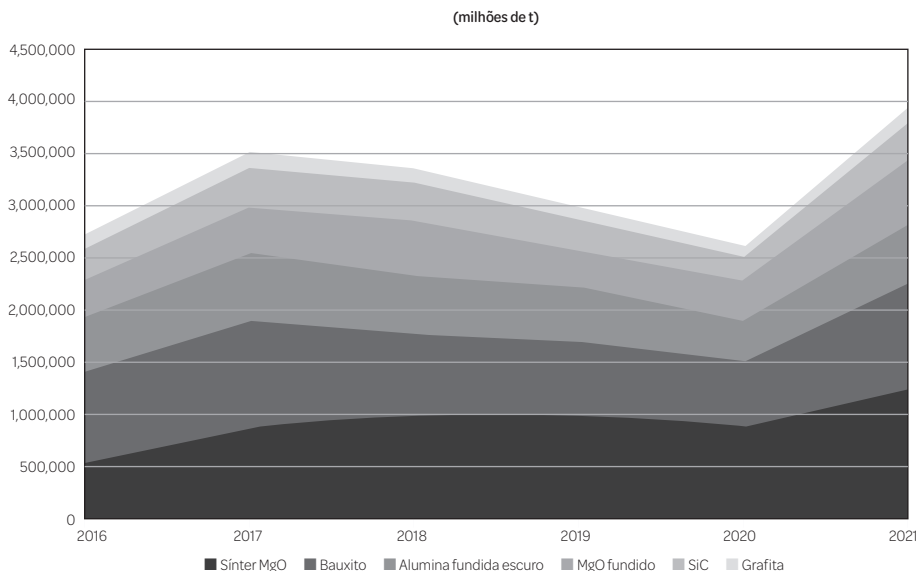


Figura 1.14 Volumes de matérias-primas refratárias exportados pela China.

Fonte: Adaptada de (12).

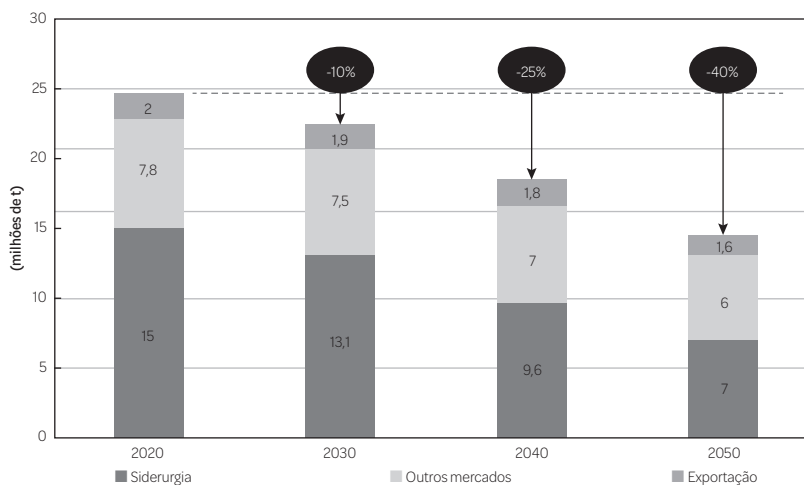


Figura 1.15 Projeção de produção e exportação de refratários pela China.

Fonte: Adaptada de (5).

Tabela 1.7 Emissões de CO₂ na produção de matérias-primas refratárias.

| Pegada de carbono de matérias-primas refratárias | | | |
|--|-------------------|----------------------|-------|
| Matéria-prima | Emissões químicas | Emissões de processo | Total |
| Carbeto de silício | 2,2 | 5,3 | 7,5 |
| Magnésia fundida | 1,1 | 4,5 | 5,6 |
| Alumina fundida marrom | 0,1 | 3,8 | 3,9 |
| Sinter de magnésia | 1,1 | 2,4 | 3,5 |

(Continua)

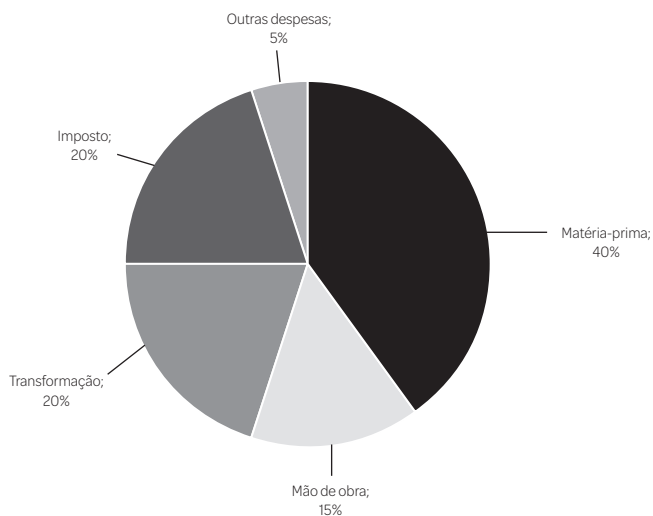
Tabela 1.7 Emissões de CO₂ na produção de matérias-primas refratárias. (Continuação)

| Pegada de carbono de matérias-primas refratárias | | | |
|--|-------------------|----------------------|-------|
| Matéria-prima | Emissões químicas | Emissões de processo | Total |
| Alumina fundida branca | 0 | 2,8 | 2,8 |
| Alumina Tabular | 0 | 2,2 | 2,2 |
| Bauxito sintelizado | 0 | 1,9 | 1,9 |
| Cimento aluminoso | 0,2 | 1,7 | 1,9 |
| Chamotes sílico-aluminosos | 0 | 1,7 | 1,7 |
| Alumina calcinada | 0 | 1 | 1 |
| Andalusita | 0 | 0,4 | 0,4 |
| Grafita | 0 | 0,4 | 0,4 |

Fonte: Adaptada de (5).

1.5 ASPECTOS ECONÔMICOS NA INDÚSTRIA DE REFRAATÓRIOS

A Figura 1.16 mostra a composição de custos na produção de refratários no Brasil, onde matérias-primas correspondem a cerca de 40% do total; mão de obra, a 15%; custos de transformação, a 20%; e impostos, a 20%.

**Figura 1.16** Composição típica de custos na produção de refratários.

Fonte: Desenvolvida pela autoria do capítulo.

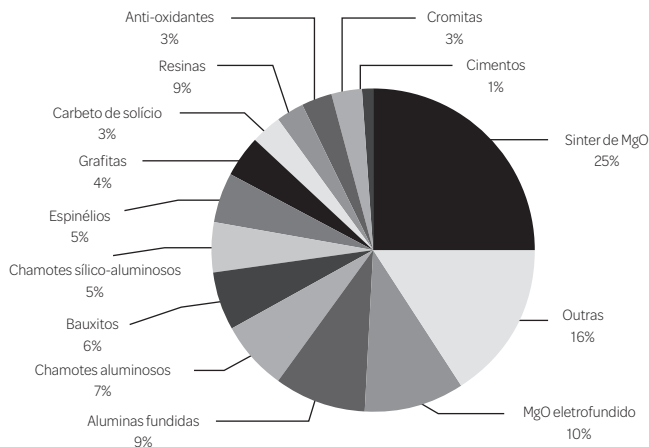
A Figura 1.17 mostra os custos típicos de matérias-primas refratárias, onde matérias-primas naturais e menos processadas apresentam os menores custos.

A Figura 1.18 mostra a curva ABC típica de custos de matérias-primas em uma indústria refratária em que o sínter e o grão eletrofundido de MgO representam 35% do valor.



Figura 1.17 Custos típicos de matérias-primas em uma indústria de refratários.

Fonte: Desenvolvida pela autoria do capítulo.



Percentual de custos de matérias-primas típico de uma grande indústria de refratários

| Matéria-prima | % | Acumulado |
|----------------------------|----|-----------|
| Sinter de MgO | 25 | 25 |
| Outras | 16 | 41 |
| MgO eletrofundido | 10 | 51 |
| Aluminas fundidas | 9 | 60 |
| Chamotes aluminosos | 7 | 67 |
| Bauxitos | 6 | 73 |
| Chamotes sílico-aluminosos | 5 | 78 |
| Espinélios | 5 | 83 |
| Grafitas | 4 | 87 |
| Carbeto de silício | 3 | 90 |
| Resinas | 9 | 93 |
| Anti-oxidantes | 3 | 96 |
| Cromitas | 3 | 99 |
| Cimentos | 1 | 100 |

Figura 1.18 Curva ABC típico de matérias-primas em uma indústria de refratários.

Fonte: Desenvolvida pela autoria do capítulo.

A Figura 1.19 mostra o custo de processos de fabricação de refratários em uma indústria de refratários em que os tratamentos térmicos de sinterização e fusão apresentam os custos mais elevados.



Figura 1.19 Custos típicos de processos em uma indústria de refratários.

Fonte: Desenvolvida pela autoria do capítulo.

A Figura 1.20 mostra preços típicos de produtos refratários no mercado. Os tijolos sílico-aluminosos são os de menor custo, enquanto os refratários de zircônia, carbono e eletrofundidos são os mais caros.

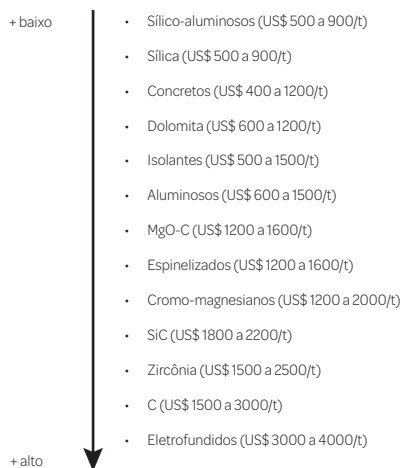


Figura 1.20 Preços típicos de produtos refratários.

Fonte: Desenvolvida pela autoria do capítulo.



Acesse as imagens coloridas do capítulo.

REFERÊNCIAS

- (1) FLOOK, R. *Refractory evolution – implication for bauxite and alumina*. In: 3rd Asian Conference on Bauxite and Alumina, Singapore, October 2013.
- (2) Internet: www.precedenceresearch.com.
- (3) Internet: Freedonia Group; American Ceramic Society, 2012.
- (4) SEMLER, C. E. The sleeping giant (China) has awakened. *Refractories Application and News*, v. 11, n. 4, 2006.
- (5) FLOOK, R. *China refractories outlook*. China Refractory Mineral Forum, 2022.
- (6) FLOOK, R. Informed.com, 2017.
- (7) DUARTE, A. K. *Curso de Fundamentos em Refratários*. Santiago do Chile, out. 2015.
- (8) DUARTE, A. K.; TORRES, A. A.; TRAVASSOS, R.; BITTENCOURT, P. R. H. M. The brazilian refractory industry: a market review. *Ceramic News*, v. 6, n. 3, p. 87-89, 1999.
- (9) Internet: Minerals Yearbook USGS, 2022.
- (10) DICKSON, T.; FLOOK, R. *Refractory minerals overview*. Informed.com, 2022.
- (11) Internet: Informed.com, 2015.
- (12) DRISCOLL, M. *Global refractory mineral supply trends & outlook*. In: Alafar Congress, Foz do Iguaçu, Brasil, 2022.

Fundamentos à Tecnologia de Refratários é um relevante acervo para os interessados em materiais refratários.

Esta coletânea de três livros sobre refratários para a indústria siderúrgica é uma obra importante para profissionais que lidam com materiais refratários em todas as suas áreas de atuação, passando por Pesquisa e Desenvolvimento, Fabricação, Controle de Qualidade, Comercialização, Assistência Técnica, Manutenção, Instalação e Reciclagem de refratários.

O público-alvo da coletânea são os profissionais da indústria siderúrgica, profissionais da indústria de refratários, fornecedores de matérias-primas para a indústria de refratários, estudantes de engenharia e consultores com interesse em materiais refratários e na indústria siderúrgica.

O primeiro volume desta coletânea tem como objetivo tornar o leitor capaz de compreender os fundamentos da tecnologia de materiais refratários e sua importância no contexto industrial siderúrgico, conhecer suas propriedades e entender seus mecanismos de desgaste, a tecnologia de manutenção e a de instalação, seus processos de fabricação, as matérias-primas usadas, suas classificações, propriedades e aplicações.

A todos, uma excelente leitura.



www.blucher.com.br



Blucher



Clique aqui e:

[VEJA NA LOJA](#)

Fundamentos à tecnologia de refratários

Alamar Kasan Duarte

ISBN: 9788521223108

Páginas: 476

Formato: 17 x 24 cm

Ano de Publicação: 2024
