

# ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL

2ª edição







Catálogo na Fonte  
Centro de Documentação - CEDOC

A881 Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed. – Brasília : ANEEL, 2005.  
243 p. : il.

ISBN: 85-87491-09-1

1. Energia elétrica. 2. Potencial energético. 3. Setor elétrico.  
4. Atlas. 5. Brasil. I. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil).

CDU: 621.31(81)084.4

# APRESENTAÇÃO



A primeira edição do *Atlas de Energia Elétrica do Brasil* atingiu números expressivos. Foram distribuídos cerca de três mil exemplares impressos e cinco mil CD-ROMs; a página da ANEEL na Internet registrou uma média mensal de doze mil *downloads* do arquivo do Atlas entre janeiro de 2002 e março de 2004. A publicação recebeu, ainda, duas honrosas premiações: “Publicação Especial”, conferida pela Associação Brasileira de Comunicação Empresarial – ABERJE, e “Opinião Pública 2002”, na categoria Publicações, conferida pelo Conselho Regional de Profissionais de Relações Públicas – CONRERP (2ª Região).

Em virtude do sucesso da primeira edição e motivada pela contínua demanda, a ANEEL, com o apoio da Organização Mundial de Meteorologia – OMM, do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD e de outras instituições governamentais e não governamentais, tem a satisfação de publicar esta segunda edição, revista, atualizada e ampliada. Buscou-se também proporcionar ao leitor uma leitura mais fácil e agradável da obra, mediante o aprimoramento da arte gráfica da publicação, nas versões impressa e digital.

A ampliação, a atualização e o aprimoramento deste trabalho decorrem da competência atribuída à ANEEL nos termos de Decreto 2.335, de 07 de outubro de 1997 (anexo 1, cap. 2, art. 4, inciso XXXIII) de organizar e manter atualizado o acervo de informações e dados técnicos relativos às atividades estratégicas dos serviços de energia elétrica no Brasil e refletem uma de suas principais diretrizes, qual seja, a de educar e informar os agentes e demais atores envolvidos sobre as políticas, diretrizes e regulamentos do setor elétrico brasileiro (Decreto 2.335, de 07 de outubro de 1997, anexo 1, cap. 1, art. 3º, inciso VIII).

O *Atlas* procura sistematizar e tornar disponível aos agentes e especialistas, bem como a toda a sociedade, dados e informações básicas, colhidas de diversas fontes, a respeito de tecnologias de geração de energia elétrica, de empreendimentos de geração e transmissão, assim como de aspectos socioeconômicos relacionados com o setor elétrico brasileiro.

A oferta de energia elétrica no Brasil obteve em 2002 e 2003 um ganho de 8.631,4 MW, resultantes da entrada em operação comercial de novos empreendimentos na área de geração e da adição de um total de 7.416,2 km de novas linhas de transmissão. Não obstante, existem regiões do País, mais remotas e menos desenvolvidas, que necessitam de uma estrutura de oferta calcada nas potencialidades locais de energia. O *Atlas* provê informações relevantes, que podem subsidiar ações nesse campo, de for-

## APRESENTAÇÃO

ma que cada recurso energético seja estrategicamente aproveitado, maximizando-se os benefícios e minimizando-se os impactos negativos sobre meio ambiente e a sociedade.

Com esta nova edição do *Atlas*, a ANEEL espera estar contribuindo para o desenvolvimento equilibrado e sustentável do setor elétrico brasileiro.

Ficam aqui registrados os agradecimentos ao apoio e à colaboração indispensável das instituições, dos profissionais do setor e de todos aqueles que contribuíram para elaborar esta segunda edição.

Jerson Kelman  
Diretor-Geral

# SUMÁRIO



## SUMÁRIO

|                        |     |
|------------------------|-----|
| Lista de Figuras ..... | XI  |
| Lista de Tabelas ..... | XV  |
| Lista de Siglas .....  | XIX |

### 1- INTRODUÇÃO

|  |   |
|--|---|
| 1.1. Energia, Espaço Geográfico e Desenvolvimento .....      | 1 |
| 1.2. Fontes e Sistemas de Informações Energéticas .....      | 2 |
| 1.3. Geoprocessamento de Informações Energéticas .....       | 3 |
| 1.4. Metodologia Empregada e Estrutura de Apresentação ..... | 3 |

### 2- ASPECTOS INSTITUCIONAIS

|  |    |
|--|----|
| 2.1. Configuração do Sistema Elétrico Nacional .....                             | 5  |
| 2.1.1. Sistema Interligado Nacional .....  | 5  |
| 2.1.2. Sistemas Isolados .....   | 7  |
| 2.2. Geração de Energia Elétrica .....   | 7  |
| 2.2.1. Co-geração .....  | 9  |
| 2.3. Transmissão de Energia Elétrica .....                                       | 13 |
| 2.4. Distribuição de Energia Elétrica .....                                      | 16 |
| 2.4.1. Concessionárias .....   | 16 |
| 2.4.2. Permissionárias e Autorizadas (Cooperativas de eletrificação Rural) ..... | 19 |
| 2.4.3. Qualidade na Prestação dos Serviços de Distribuição .....                 | 20 |
| 2.5. Comercialização de Energia Elétrica .....                                   | 24 |

|  |    |
|--|----|
| 2.6. Descentralização (Agências Estaduais) . . . . .   | 24 |
| 2.7. Programas de Pesquisa & Desenvolvimento e Eficiência Energética (Lei nº 9.991/2000) . . . . . | 27 |

### 3- ENERGIA SOLAR

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Informações Gerais . . . . .                                       | 29 |
| 3.2. Radiação Solar . . . . .   | 30 |
| 3.3. Tecnologias de Aproveitamento . . . . .                            | 33 |
| 3.3.1. Aproveitamentos Térmicos . . . . .                               | 33 |
| 3.3.2. Conversão Direta da Radiação Solar em Energia Elétrica . . . . . | 36 |
| 3.4. Aproveitamento da Energia Solar no Brasil . . . . .                | 37 |
| 3.4.1. Aquecimento de Água . . . . .                                    | 38 |
| 3.4.2. Sistemas Fotovoltaicos . . . . .                                 | 38 |
| 3.5. Impactos Socioambientais . . . . .                                 | 41 |

### 4- ENERGIA HIDRÁULICA

|  |    |
|--|----|
| 4.1. Informações Gerais . . . . .  | 43 |
| 4.2. Disponibilidade de Recursos Hidráulicos . . . . .                                 | 43 |
| 4.3. Potencial Hidrelétrico Brasileiro . . . . .                                       | 45 |
| 4.4. Tecnologias de Aproveitamento . . . . .   | 49 |
| 4.5. Capacidade Instalada . . . . .  | 51 |
| 4.6. Centrais Hidrelétricas em Operação no Brasil . . . . .                            | 58 |
| 4.7. Futuros Projetos Hidrelétricos no Brasil . . . . .                                | 59 |
| 4.8. Monitoramento Hidrológico dos Empreendimentos Hidrelétricos Brasileiros . . . . . | 59 |
| 4.9. Rede Hidrometeorológica Básica . . . . .  | 65 |
| 4.10. Aspectos Socioambientais . . . . .   | 65 |
| 4.11. Compensação Financeira e <i>Royalties</i> . . . . .                              | 68 |

### 5- BIOMASSA

|  |    |
|--|----|
| 5.1. Informações Gerais . . . . .                                      | 77 |
| 5.2. Disponibilidade de Recursos e Consumo de Biomassa . . . . .       | 77 |
| 5.3. Tecnologias de Aproveitamento . . . . .                           | 87 |
| 5.4. Centrais Termelétricas a Biomassa em Operação no Brasil . . . . . | 89 |
| 5.5. Futuras Centrais Termelétricas a Biomassa no Brasil . . . . .     | 89 |
| 5.6. Aspectos Socioambientais . . . . .                                | 92 |

### 6- ENERGIA EÓLICA

|  |     |
|--|-----|
| 6.1. Informações Gerais . . . . .                                      | 93  |
| 6.2. Disponibilidade de Recursos . . . . .                             | 94  |
| 6.3. Potencial Eólico Brasileiro . . . . .                             | 95  |
| 6.4. Tecnologias de Aproveitamento – Turbinas Eólicas . . . . .        | 97  |
| 6.5. Capacidade Instalada no Mundo . . . . .                           | 99  |
| 6.6. Energia Eólica no Contexto do Setor Elétrico Brasileiro . . . . . | 100 |



|   |     |
|---|-----|
| 6.6.1. Projetos em Operação no País .....                                   | 105 |
| 6.7. Impactos Socioambientais .....   | 109 |
| <b>7- PETRÓLEO</b>  |     |
| 7.1. Informações Gerais .....   | 111 |
| 7.2. Reservas, Produção e Consumo .....                                     | 112 |
| 7.3. Uso de Derivados de Petróleo na Geração de Eletricidade .....          | 114 |
| 7.4. Impactos Socioambientais .....   | 117 |
| <b>8- CARVÃO MINERAL</b>  |     |
| 8.1. Informações Gerais .....   | 119 |
| 8.2. Reservas, Produção e Consumo .....                                     | 119 |
| 8.3. Tecnologias de Aproveitamento .....                                    | 120 |
| 8.4. Geração Termelétrica a Carvão no Brasil .....                          | 123 |
| 8.5. Impactos Socioambientais .....   | 126 |
| <b>9- GÁS NATURAL</b>   |     |
| 9.1. Informações Gerais .....   | 127 |
| 9.2. Reservas, Produção e Consumo .....                                     | 127 |
| 9.3. Geração Termelétrica a Gás Natural .....                               | 129 |
| 9.4. Centrais Termelétricas a Gás Natural no Brasil .....                   | 130 |
| 9.5. Impactos Socioambientais .....   | 138 |
| <b>10- OUTRAS FONTES</b>  |     |
| 10.1. Informações Gerais .....  | 139 |
| 10.2. Energia Nuclear .....   | 139 |
| 10.2.1. A Energia Nuclear no Contexto do Setor Elétrico Internacional ..... | 139 |
| 10.2.2. A Energia Nuclear no Contexto do Setor Elétrico Brasileiro .....    | 140 |
| 10.2.3. Reservas, Extração e Beneficiamento de Urânio no Brasil .....       | 141 |
| 10.2.4. Aspectos Socioambientais .....                                      | 142 |
| 10.3. Efluente Gasoso, Enxofre, Gás de Alto Forno e Gás de Processo .....   | 143 |
| <b>11- ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS</b>   |     |
| 11.1. Informações Gerais .....  | 145 |
| 11.2. Indicadores Demográficos e Socioeconômicos .....                      | 145 |
| 11.2.1. Índices de Atendimento .....  | 146 |
| 11.2.2. Consumo de Eletricidade por Região e Setor de Atividade .....       | 152 |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                                     | 161 |

**ANEXOS**

|   |     |
|---|-----|
| Anexo 1- Centrais elétricas em operação nos sistemas isolados – situação em outubro de 2003. .... | 170 |
| Anexo 2- Cooperativas de eletrificação rural existentes no País. ....                             | 180 |
| Anexo 3A- UHEs em operação – situação em setembro de 2003. ....                                   | 186 |
| Anexo 3B- PCHs em operação – situação em setembro de 2003. ....                                   | 191 |
| Anexo 3C- CGHs em operação – situação em setembro de 2003. ....                                   | 199 |
| Anexo 3D- Futuras UHEs – situação em setembro de 2003. ....                                       | 204 |
| Anexo 3E- Futuras PCHs e CGHs – situação em setembro de 2003. ....                                | 206 |
| Anexo 4- Diagrama topológico dos aproveitamentos hidrelétricos. ....                              | 214 |
| Anexo 5- UTEs a biomassa em operação – situação em setembro de 2003. ....                         | 227 |
| Anexo 6- UTEs a óleo diesel em operação – situação em setembro de 2003. ....                      | 234 |

# LISTA DE FIGURAS



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1.1 – Vista noturna da Terra a partir de imagens de satélite . . . . . 2

### CAPÍTULO 2

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 – Mapa com representação simplificada da integração entre os sistemas de produção e transmissão para o suprimento do mercado consumidor . . . . .                                | 6  |
| Figura 2.2 – Centrais elétricas que compõem os Sistemas Isolados – Situação em outubro de 2003 . . . . .  | 8  |
| Figura 2.3 – Participação percentual dos tipos de centrais na capacidade instalada (MW) para geração de energia elétrica no Brasil – Situação em outubro de 2003 . . . . .                  | 9  |
| Figura 2.4 – Participação percentual das fontes renováveis e não renováveis na capacidade instalada (MW) para geração de energia elétrica no Brasil – Situação em outubro de 2003 . . . . . | 9  |
| Figura 2.5 – Centrais de co-geração em operação no País – Situação em outubro de 2003 . . . . .   | 10 |
| Figura 2.6 – Subestação Londrina (Londrina-PR) . . . . .  | 13 |
| Figura 2.7 – Linhas de transmissão e subestações licitadas ou autorizadas pela ANEEL . . . . .  | 14 |
| Figura 2.8 – Participação das distribuidoras no mercado de energia elétrica, segundo o controle acionário. . . . .  | 16 |
| Figura 2.9a – Áreas de abrangência das concessionárias de distribuição de energia elétrica . . . . .  | 17 |
| Figura 2.9b – Áreas de abrangência das concessionárias de distribuição de energia elétrica . . . . .  | 17 |
| Figura 2.10 – Distribuição das cooperativas de eletrificação em todo o País (sedes). . . . .  | 21 |
| Figura 2.11 – Evolução do DEC para cada região do País . . . . .  | 22 |
| Figura 2.12 – Evolução do FEC para cada região do País. . . . .   | 23 |
| Figura 2.13a – IASC global e por região 2000-2003 . . . . .   | 23 |
| Figura 2.13b – Índice ANEEL de satisfação do consumidor (IASC) e alguns dos principais parâmetros internacionais. . . . .   | 23 |
| Figura 2.14 – Evolução do mercado das comercializadoras (negociado no MAE). . . . .   | 24 |

Figura 2.15– Mapa com as agências estaduais e situação quanto à celebração dos convênios ..... 26

**CAPÍTULO 3**

Figura 3.1 – Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol ..... 30  
 Figura 3.2 – Média anual de insolação diária no Brasil (horas) ..... 32  
 Figura 3.3 - Ilustração de um sistema solar para aquecimento de água ..... 33  
 Figura 3.4 - Radiação solar global diária - média anual típica (MJ/m<sup>2</sup>.dia) ..... 34  
 Figura 3.5 – Radiação solar global diária - média anual típica (Wh/m<sup>2</sup>.dia) ..... 35  
 Figura 3.6 – Sistema térmico de geração solar de energia elétrica (Califórnia – EUA) ..... 36  
 Figura 3.7 – Ilustração de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica ..... 37  
 Figura 3.8 – Sistema comercial de aquecimento solar de água (Belo Horizonte – MG) ..... 38  
 Figura 3.9 – Sistema fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação (Capim Grosso – BA) ..... 39  
 Figura 3.10 – Sistema de bombeamento fotovoltaico – Santa Cruz I (Mirante do Paranapanema – SP) ..... 39  
 Figura 3.11 – Sistema de eletrificação fotovoltaica do Núcleo Perequê (Vale do Ribeira – SP) ..... 39  
 Figura 3.12 – Sistema fotovoltaico para atendimento domiciliar – Projeto Ribeirinhas ..... 40  
 Figura 3.13 – Sistema híbrido solar-diesel de Araras, Nova Mamoré – RO ..... 41

**CAPÍTULO 4**

Figura 4.1 – Potencial tecnicamente aproveitável para geração de energia hidrelétrica no mundo ..... 44  
 Figura 4.2 – Potencial hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica – situação em março de 2003 ..... 48  
 Figura 4.3 – Exemplos de turbinas hidráulicas (Pelton, Kaplan e Francis, respectivamente) ..... 49  
 Figura 4.4 – Usina Hidrelétrica de Henry Borden (Cubatão – SP) ..... 50  
 Figura 4.5 – Vista panorâmica da Usina Hidrelétrica de Itaipu ..... 50  
 Figura 4.6 – Usina Hidrelétrica de Funil (Itatiaia – RJ) ..... 51  
 Figura 4.7 – Usina Hidrelétrica de Jupia (Três Lagoas – SP) ..... 51  
 Figura 4.8 – Capacidade instalada em usinas hidrelétricas no mundo – 1999 ..... 52  
 Figura 4.9 – Capacidade instalada por sub-bacia hidrográfica - situação em março de 2003 ..... 55  
 Figura 4.10 – Índice de aproveitamento do potencial hidrelétrico brasileiro - situação em março de 2003 ..... 57  
 Figura 4.11 – Evolução da concentração das usinas hidrelétricas no Brasil (1950 e 2000) ..... 58  
 Figura 4.12 – Usinas hidrelétricas (UHEs) em operação no País – situação em setembro de 2003 ..... 60  
 Figura 4.13 – Localização das PCHs em operação no Brasil – situação em setembro de 2003 ..... 61  
 Figura 4.14 – Localização das CGHs em operação no Brasil – situação em setembro de 2003 ..... 62  
 Figura 4.15 – Futuros Empreendimentos Hidrelétricos – situação em setembro de 2003 ..... 63  
 Figura 4.16 – Estações Hidrométricas do sistema de monitoramento hidrológico dos aproveitamentos hidrelétricos ..... 64  
 Figura 4.17 – Estações Fluviométricas da rede hidrometeorológica básica nacional – situação em outubro de 2003 ..... 66  
 Figura 4.18 – Estações Pluviométricas da rede hidrometeorológica básica nacional – situação em outubro de 2003 ..... 67  
 Figura 4.19 – Usinas hidrelétricas que pagam compensação financeira ou royalties, segundo área alagada – situação em 2003 ..... 71  
 Figura 4.20 – Imagem de satélite do reservatório da Usina Hidrelétrica de Sobradinho ..... 75

**CAPÍTULO 5**

Figura 5.1 – Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos florestais (silvicultura) ..... 80  
 Figura 5.2 – Potencial de geração de excedente de energia elétrica no setor sucroalcooleiro ..... 81  
 Figura 5.3 – Estimativa de potencial para geração de energia elétrica a partir do óleo de palma (dendê) ..... 83

|  |    |
|--|----|
| Figura 5.4 – Potencial de geração de energia elétrica a partir de casca de arroz . . . . .   | 84 |
| Figura 5.5 – Potencial de geração de energia elétrica a partir de casca de castanha de caju . . . . .                                | 85 |
| Figura 5.6 – Potencial de geração de energia elétrica a partir de casca de coco-da-baía . . . . .                                    | 86 |
| Figura 5.7 – Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa . . . . .  | 87 |
| Figura 5.8 – Usinas termelétricas a biomassa em operação e potência instalada por Estado –<br>situação em setembro de 2003 . . . . . | 91 |

## CAPÍTULO 6

|  |     |
|--|-----|
| Figura 6.1 – Velocidade média anual do vento a 50m de altura . . . . .   | 96  |
| Figura 6.2 – Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna . . . . .   | 97  |
| Figura 6.3 – Exemplos de turbinas eólicas (da esquerda para a direita: pequena, média e grande) . . . . .                                    | 98  |
| Figura 6.4 – Energia eólica – distribuição da capacidade instalada no mundo . . . . .  | 99  |
| Figura 6.5 – Complementaridade entre a geração hidrelétrica e eólica . . . . .   | 101 |
| Figura 6.6 – Localização dos projetos eólicos em operação e outorgados (construção não iniciada) –<br>situação em setembro de 2003 . . . . . | 102 |
| Figura 6.7 – Primeira turbina eólica de Fernando de Noronha . . . . .  | 105 |
| Figura 6.8 – Segunda turbina eólica de Fernando de Noronha . . . . .   | 106 |
| Figura 6.9 – Central Eólica do Morro do Camelinho (Gouveia – MG) . . . . .   | 106 |
| Figura 6.10 – Central Eólica de Taiba (São Gonçalo do Amarante – CE) . . . . .   | 106 |
| Figura 6.11 – Central Eólica da Prainha (Aquiraz – CE) . . . . .   | 107 |
| Figura 6.12 – Central Eólica Mucuripe (Fortaleza – CE) . . . . .   | 107 |
| Figura 6.13 – Central Eólica de Palmas (Palmas – PR) . . . . .   | 107 |
| Figura 6.14 – Central Eólica de Olinda – PE . . . . .  | 108 |
| Figura 6.15 – Central Eólica de Bom Jardim (Bom Jardim da Serra – SC) . . . . .  | 108 |

## CAPÍTULO 7

|  |     |
|--|-----|
| Figura 7.1 – Reservas provadas de petróleo no mundo – situação em 2002 (milhões de toneladas) . . . . .  | 113 |
| Figura 7.2 – Consumo de petróleo no mundo em 2002 (milhões de toneladas) . . . . .   | 113 |
| Figura 7.3 – Centrais termelétricas em operação no Brasil (derivados de petróleo) e potência instalada<br>segundo unidades da Federação – situação em setembro de 2003 . . . . . | 116 |

## CAPÍTULO 8

|  |     |
|--|-----|
| Figura 8.1 – Reservas mundiais de carvão mineral – situação em 2002 (milhões de toneladas) . . . . . | 121 |
| Figura 8.2 – Consumo mundial de carvão mineral em 2002 (milhões de tEP) . . . . .                    | 121 |
| Figura 8.3 – Unidade do complexo termelétrico de Jorge Lacerda . . . . .                             | 124 |
| Figura 8.4 – Empreendimentos futuros e em operação – situação em setembro de 2003 . . . . .          | 125 |

## CAPÍTULO 9

|   |     |
|---|-----|
| Figura 9.1 – Reservas mundiais de gás natural – situação em 2002 (trilhões de m <sup>3</sup> ) . . . . .                | 128 |
| Figura 9.2 – Consumo mundial de gás natural em 2002 (milhões de tEP) . . . . .  | 129 |
| Figura 9.3 – Localização das termelétricas a gás natural em operação no Brasil – situação em setembro de 2003 . . . . . | 133 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 9.4 – Termelétricas a gás natural em construção e projetos apenas outorgados (construção não-iniciada) no Brasil – situação em setembro de 2003 . . . . . | 136 |
| Figura 9.5 – Representação dos gasodutos existentes, em construção e em análise no Brasil . . . . .  | 137 |

**CAPÍTULO 10**

|  |     |
|--|-----|
| Figura 10.1 – Diagrama esquemático de uma usina termonuclear. . . . .  | 140 |
| Figura 10.2 – Produção mundial de energia elétrica por usinas nucleares em 1998 (milhões de tEP). . . . .  | 141 |
| Figura 10.3 – Reservas nacionais de urânio, unidades de extração, beneficiamento e produção de elementos combustíveis e usina termonuclear de Angra dos Reis . . . . . | 142 |
| Figura 10.4 – Termelétricas atuais e futuras (efluente gasoso, enxofre, gás de alto forno e gás de processo) - situação em setembro de 2003 . . . . .                  | 144 |

**CAPÍTULO 11**

|  |     |
|--|-----|
| Figura 11.1 – IDH 2000 (Elaborado por município) . . . . .   | 148 |
| Figura 11.2 – Distribuição espacial da população brasileira (densidade demográfica – hab/km <sup>2</sup> ) . . . . . | 149 |
| Figura 11.3 – Renda per capita no Brasil (R\$/hab) com base no censo 2000 . . . . .                                  | 150 |
| Figura 11.4 – Taxa de eletrificação domiciliar em 2000 (por municípios) . . . . .                                    | 151 |
| Figura 11.5 – Taxa de eletrificação domiciliar rural em 2000 (por Estados da Federação) . . . . .                    | 153 |
| Figura 11.6 – Taxa de eletrificação domiciliar urbana em 2000 (por Estados da Federação) . . . . .                   | 154 |
| Figura 11.7 – Proporção de domicílios com televisão em 2000 (por municípios) . . . . .                               | 156 |
| Figura 11.8 – Proporção de domicílios com geladeira em 2000 (por municípios) . . . . .                               | 157 |
| Figura 11.9 – Vista noturna do sub-continente sul-americano a partir de imagens de satélite . . . . .                | 158 |
| Figura 11.10 – Evolução do consumo de energia elétrica (GWh) no Brasil, segundo as classes de consumo . . . . .      | 159 |
| Figura 11.11 – Evolução da participação (%) das classes de consumo de energia elétrica no país . . . . .             | 159 |

# LISTA DE TABELAS



## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2.1 – Centrais de co-geração em operação no País – Situação em outubro de 2003 . . . . .  | 11 |
| Tabela 2.2 – Centrais de co-geração em construção no País – Situação em outubro de 2003. . . . . | 12 |
| Tabela 2.3 – Centrais de co-geração apenas outorgadas – Situação em outubro de 2003 . . . . .    | 12 |
| Tabela 2.4 – Linhas de transmissão licitadas ou autorizadas pela ANEEL . . . . .                 | 15 |
| Tabela 2.5 – Subestações licitadas ou autorizadas pela ANEEL . . . . .                           | 16 |
| Tabela 2.6 – Concessionárias distribuidoras atuantes no Brasil . . . . .                         | 18 |
| Tabela 2.7 – Quantitativo de cooperativas de eletrificação rural por Estado . . . . .            | 20 |
| Tabela 2.8 – Agentes comercializadores em atuação no País. . . . .                               | 25 |
| Tabela 2.9 – Regras para aplicação dos recursos em P&D e eficiência energética . . . . .         | 27 |
| Tabela 2.10 – Resultados obtidos e investimentos em eficiência energética . . . . .              | 27 |
| Tabela 2.11 – Resultados obtidos e investimentos em P&D. . . . .                                 | 27 |

### CAPÍTULO 3

|   |    |
|---|----|
| Tabela 3.1 – Duração solar do dia, em horas, em diferentes latitudes e períodos do ano* . . . . .                 | 31 |
| Tabela 3.2 – Eficiência de conversão e custo de células solares . . . . .   | 37 |
| Tabela 3.3 – Sistemas de bombeamento de água na região do Pontal do Paranapanema – SP . . . . .                   | 40 |
| Tabela 3.4 – Projetos fotovoltaicos coordenados pelo Prodeem/MME* . . . . .                                       | 41 |
| Tabela 3.5 – Distribuição regional dos sistemas fotovoltaicos instalados pelo Prodeem até o ano de 2002 . . . . . | 42 |

## CAPÍTULO 4

|   |    |
|---|----|
| Tabela 4.1 – Potencial hidrelétrico brasileiro por bacia hidrográfica – situação em março de 2003 . . . . .                                       | 45 |
| Tabela 4.2 – Potencial hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica – situação em março de 2003 . . . . .                                   | 46 |
| Tabela 4.3 – Capacidade instalada por bacia hidrográfica (MW) – situação em março de 2003 . . . . .   | 52 |
| Tabela 4.4 – Capacidade instalada por sub-bacia hidrográfica (MW) – situação em março de 2003 . . . . .   | 53 |
| Tabela 4.5 – Índices de aproveitamento por bacia - situação em março de 2003 . . . . .  | 56 |
| Tabela 4.6 – Distribuição das centrais hidrelétricas em operação por faixa de potência - situação em setembro de 2003 . . . . .                   | 59 |
| Quadro 4.1 – Aspectos incorporados no planejamento e execução de novos projetos hidrelétricos. . . . .  | 68 |
| Tabela 4.7 – Histórico dos benefícios distribuídos . . . . .  | 69 |
| Tabela 4.8 – Histórico dos benefícios distribuídos, segundo unidades da Federação . . . . .   | 70 |
| Tabela 4.9 – Usinas hidrelétricas que pagam compensação financeira ou royalties,<br>segundo área alagada - situação em setembro de 2003 . . . . . | 72 |

## CAPÍTULO 5

|  |    |
|--|----|
| Tabela 5.1 – Consumo de biomassa (MtEP). . . . .                                       | 78 |
| Tabela 5.2 – Potencial e perspectivas de co-geração no setor sucroalcooleiro . . . . . | 82 |
| Tabela 5.3 – Futuras UTEs – Situação em setembro de 2003. . . . .                      | 90 |
| Quadro 5.1 – Exemplo de uso de óleos vegetais na geração de energia elétrica . . . . . | 92 |

## CAPÍTULO 6

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 6.1 – Distribuição da área de cada continente segundo a velocidade média do vento . . . . .         | 94  |
| Tabela 6.2 – Estimativas do potencial eólico mundial . . . . .   | 94  |
| Tabela 6.3 – Definição das classes de energia . . . . .  | 95  |
| Tabela 6.4 – Energia eólica – capacidade instalada no mundo (MW). . . . .                                  | 99  |
| Tabela 6.5 – Centrais eólicas em operação no Brasil – situação em setembro de 2003 . . . . .               | 100 |
| Tabela 6.6 – Centrais eólicas outorgadas (construção não iniciada) – situação em setembro de 2003. . . . . | 103 |

## CAPÍTULO 7

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 7.1 – Reservas provadas, produção e consumo de petróleo no mundo em 2002. . . . .   | 112 |
| Tabela 7.2 – Capacidade instalada das plantas termelétricas a derivados de petróleo e parcela<br>da geração de eletricidade nos países da OCDE . . . . . | 114 |
| Tabela 7.3 – Usinas termelétricas a óleo ultraviscoso, óleo combustível, e gás de refinaria<br>em operação no Brasil em setembro de 2003 . . . . .       | 115 |
| Tabela 7.4 – Futuras termelétricas (derivados de petróleo) – situação em setembro de 2003 . . . . .  | 117 |

## CAPÍTULO 8

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 8.1 – Reservas, produção e consumo de carvão mineral no mundo em 2002 . . . . .  | 120 |
| Tabela 8.2 – Síntese do estado da arte de tecnologias de combustão eficiente do carvão. . . . .                                       | 122 |
| Quadro 8.1 – Necessidade de P&D em tecnologias de limpeza e combustão eficiente do carvão . . . . .                                   | 123 |
| Tabela 8.3 – Centrais termelétricas a carvão mineral em operação no Brasil – situação em setembro de 2003 . . . . .                   | 124 |
| Tabela 8.4 – Centrais termelétricas a carvão mineral outorgadas (construção não-iniciada) –<br>situação em setembro de 2003 . . . . . | 124 |



**CAPÍTULO 9**

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 9.1 – Reservas, produção e consumo de gás natural no mundo em 2002 . . . . .                       | 128 |
| Tabela 9.2 – Centrais termelétricas a gás natural em operação no Brasil em setembro de 2003 . . . . .     | 131 |
| Tabela 9.3 – Futuras centrais termelétricas a gás natural Brasil – situação em setembro de 2003 . . . . . | 134 |

**CAPÍTULO 10**

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 10.1 – Consumo de energia nuclear no mundo em 2002 . . . . .  | 140 |
| Tabela 10.2 - Reservas de urânio no Brasil - situação em janeiro de 2001 . . . . .   | 141 |
| Tabela 10.3 – Empreendimentos em operação no Brasil (Efluente Gasoso, Enxofre,<br>Gás de Alto Forno e Gás de Processo) - situação em setembro de 2003 . . . . .              | 143 |
| Tabela 10.4 – Empreendimentos em construção ou apenas outorgados (Efluente Gasoso, Enxofre,<br>Gás de Alto Forno e Gás de Processo) - situação em setembro de 2003 . . . . . | 143 |

**CAPÍTULO 11**

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 11.1 – Indicadores socioeconômicos e demográficos – Brasil e suas regiões. . . . .                   | 146 |
| Tabela 11.2 – Indicadores socioeconômicos e demográficos no Brasil. . . . .                                 | 147 |
| Tabela 11.3 – Distribuição dos municípios e da população brasileira segundo o tamanho das cidades . . . . . | 152 |
| Tabela 11.4 – Evolução da eletrificação domiciliar no Brasil. . . . .                                       | 155 |
| Tabela 11.5 – Consumo de energia elétrica (GWh) por Estados da Federação . . . . .                          | 160 |
| Tabela 11.6 – Consumo de energia elétrica (GWh) segundo as classes de consumo - Brasil e regiões. . . . .   | 160 |



# LISTA DE SIGLAS

## LISTA DE SIGLAS

|           |   |
|-----------|---|
| ABRADEE   | Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica                                       |
| ABRAVA    | Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento.                 |
| AGEAC     | Agência Reguladora dos Serviços Públicos do Estado do Acre  |
| AGEEL     | Agência Estadual de Energia da Paraíba.   |
| AGEPAN    | Agência Estadual de Regulação de Serviços Públicos do Mato Grosso do Sul.                         |
| AGER/MT   | Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Estado de Mato de Grosso.        |
| AGERBA    | Agência Estadual de Regulação de Serviços Públicos de Energia, Transporte e Comunicação da Bahia. |
| AGERGS    | Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul.               |
| AGESP/ES  | Agência Estadual de Serviços Públicos do Espírito Santo.  |
| AGR       | Agência Goiana de Regulação, Controle e Fiscalização de Serviços Públicos.                        |
| ANA       | Agência Nacional de Águas.  |
| ANEEL     | Agência Nacional de Energia Elétrica.   |
| ANP       | Agência Nacional do Petróleo  |
| APE       | Auto Produtor de Energia Elétrica.  |
| APE-COM   | Agência Reguladora de Serviços autorizado a Comercializar a produção excedente                    |
| ARCE      | Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará.                             |
| ARCO      | Agência Catarinense de Regulação e Controle Santa Catarina.                                       |
| ARCON     | Agência Estadual de Regulação e Controle de Serviços Públicos do Estado do Pará.                  |
| ARPE      | Agência de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Estado de Pernambuco.                     |
| ARSAL     | Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de Alagoas.                                     |
| ARSAM     | Agência Reguladora dos Serviços Públicos Concedidos do Estado do Amazonas                         |
| ARSEP/ RN | Agência Reguladora de Serviços Públicos do Rio Grande do Norte.                                   |
| ARSEP/ MA | Agência Reguladora de Serviços Públicos do Maranhão.  |
| ASTINS    | Agência de Serviços Públicos Delegados do Tocantins.  |
| ASEP      | Agência Estadual de Servços Públicos Concedidos Rio de Janeiro.                                   |
| AWEA      | American Wind Energy Association (Associação Americana de Energia Eólica).                        |
| BEN       | Balanco Energético Nacional.  |
| BIG       | Banco de Informações de Geração.  |
| BP        | British Petroleum   |

## LISTA DE SIGLAS

|             |  |
|-------------|--|
| CBEE        | Centro Brasileiro de Energia Eólica/UFPE                                       |
| CCC         | Conta de Consumo de Combustíveis.  |
| CEA         | Companhia de Eletricidade do Amapá   |
| CEAL        | Companhia Energética de Alagoas  |
| CEAM        | Companhia Energética do Amazonas   |
| CEB         | Companhia Energética de Brasília   |
| CEEE        | Companhia Estadual de Energia Elétrica   |
| CELESC      | Centrais Elétricas de Santa Catarina   |
| CELG        | Companhia Energética de Goiás  |
| CELPA       | Centrais Elétricas do Pará   |
| CELPE       | Companhia Energética de Pernambuco   |
| CELTINS     | Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins                           |
| CEMAR       | Companhia Energética do Maranhão   |
| CEMAT       | Centrais Elétricas Matogrossenses  |
| CEMIG       | Companhia Energética de Minas Gerais   |
| CENBIO      | Centro Nacional de Referência em Biomassa/USP                                  |
| CEPEL       | Centro de Pesquisa de Energia Elétrica/Eletrobrás                              |
| CEPISA      | Companhia Energética do Piauí  |
| CER         | Companhia Energética de Roraima  |
| CERON       | Centrais Elétricas de Rondônia S/A   |
| CESP        | Companhia Energética de São Paulo  |
| CHESF       | Companhia Hidroelétrica do São Francisco                                       |
| CNPE        | Conselho Nacional de Política Energética                                       |
| COELBA      | Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia                                   |
| COELCE      | Companhia Energética do Ceará  |
| COPEL       | Companhia Paranaense de Energia  |
| COSERN      | Companhia Energética do Rio Grande do Norte                                    |
| CPEE        | Companhia Paulista de Energia Elétrica   |
| CPFL        | Companhia Paulista de Força e Luz  |
| CPRM        | Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais                                     |
| CRESESB     | Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito/CEPEL |
| CSPE        | Comissão de Serviços Públicos de Energia do Estado de São Paulo.               |
| DEC         | Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.                    |
| DIC         | Duração de Interrupção por Unidade Consumidora.                                |
| DMIC        | Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora.                         |
| DOE         | Department of Energy (Ministério da Energia dos Estados Unidos)                |
| EFEI        | Escola Federal de Engenharia de Itajubá  |
| EIA         | Estudo de Impacto Ambiental.   |
| ELETROACRE  | Companhia de Eletricidade do Acre  |
| ELETROBRÁS  | Centrais Elétricas do Brasil S/A   |
| ELETRONORTE | Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A                                      |
| ELETROPAULO | Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A                                    |
| EMAE        | Empresa Metropolitana de Águas e Energia S/A                                   |
| ENERGIPE    | Empresa Energética de Sergipe S/A  |
| ENERSUL     | Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A                                   |
| ESCELSA     | Espirito Santo Centrais Elétricas S/A  |
| FEC         | Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.                 |

|          |   |
|----------|---|
| FIC      | Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora.                                    |
| FNDCT    | Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.                           |
| GEE      | Gás de Efeito Estufa  |
| GERASUL  | Centrais Geradoras do Sul do Brasil S. A.   |
| GPS      | Global Positioning System   |
| GREEN    | Grupo de Estudos em Energia/PUC-MG  |
| GTZ      | Agência Alemã de Cooperação Técnica.  |
| IASC     | Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor.   |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                                       |
| IDH      | Índice de Desenvolvimento Humano  |
| IEA      | International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)                        |
| IEE      | Instituto de Eletrotécnica e Energia/USP  |
| INB      | Indústrias Nucleares Brasileiras  |
| INMET    | Instituto Nacional de Meteorologia  |
| INPE     | Instituto Nacional de Pesquisa Espacial   |
| IPEA     | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  |
| LABSOLAR | Laboratório de Energia Solar/UFSC   |
| MAE      | Mercado Atacadista de Energia Elétrica  |
| MME      | Ministério de Minas e Energia   |
| NIPE     | Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético/Unicamp                            |
| NREL     | National Renewable Energy Laboratory (Laboratório Nacional de Energia Renovável, EUA) |
| OCDE     | Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico                               |
| ONS      | Operador Nacional do Sistema Elétrico   |
| P&D      | Pesquisa e Desenvolvimento.   |
| PCH      | Pequena Central Hidrelétrica  |
| PIE      | Produtor Independente de Energia Elétrica   |
| PNAD     | Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios/IBGE                                      |
| PNUD     | Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.                                    |
| PROCEL   | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica/Eletobrás                        |
| PRODEEM  | Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios/MME                    |
| PROINFA  | Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica.                     |
| PUC      | Pontifícia Universidade Católica  |
| RIMA     | Relatório de Impacto Ambiental.   |
| ROL      | Receita Operacional Líquida.  |
| SIG      | Sistema de Informações Geográficas  |
| SIN      | Sistema Interligado Nacional.   |
| SP       | Produção de Energia Elétrica Destinada ao Serviço Público de Distribuição.            |
| UF       | Unidade da Federação.   |
| UFPE     | Universidade Federal de Pernambuco  |
| UFRJ     | Universidade Federal do Rio de Janeiro  |
| UFSC     | Universidade Federal de Santa Catarina  |
| UHE      | Usina Hidrelétrica  |
| UNICAMP  | Universidade Estadual de Campinas   |
| USP      | Universidade de São Paulo.  |
| UTE      | Usina Termoelétrica.  |

## UNIDADES E MEDIDAS

cal – caloria

J – joule

W – watt

Wh – watt-hora

k – kilo ( $10^3$ )

M – mega ( $10^6$ )

G – giga ( $10^9$ )

T – tera ( $10^{12}$ )

P – peta ( $10^{15}$ )

E – exa ( $10^{18}$ )

tEP – tonelada Equivalente de Petróleo

Wp – watt pico

# INTRODUÇÃO

# 1

## 1.1. ENERGIA, ESPAÇO GEOGRÁFICO E DESENVOLVIMENTO

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e maneiras alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Dessa forma, a exaustão, a escassez ou a inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensadas pelo surgimento de outro(s). Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões.

No limiar do terceiro milênio, os avanços tecnológicos em geração, transmissão e uso final de energia elétrica permitem que ela chegue aos mais diversos lugares do planeta, transformando regiões desocupadas ou pouco desenvolvidas em pólos industriais e grandes centros urbanos. Os impactos dessas transformações em escala planetária podem ser vistos na Figura 1.1.

Apesar dos referidos avanços tecnológicos e benefícios proporcionados pela energia elétrica, cerca de um terço da população mundial ainda não tem acesso a esse recurso; dos dois terços restantes, uma parcela considerável é atendida de forma muito precária. No Brasil, a situação é menos crítica, mas ainda muito preocupante. Apesar da grande extensão territorial do país e da abundância de recursos energéticos, há uma grande diversidade regional e uma forte concentração de pessoas e atividades econômicas em regiões com problemas de suprimento energético. Como revelado pelo último censo demográfico, mais de 80% da população brasileira vive na zona urbana. A grande maioria desse contingente está na periferia dos grandes centros urbanos, onde as condições de infra-estrutura são deficitárias.

Grande parte dos recursos energéticos do País se localiza em regiões pouco desenvolvidas, distantes dos grandes centros consumidores e sujeitos a restrições ambientais. Promover o desenvolvimento econômico-social dessas regiões, preservar a sua diversidade biológica e garantir o suprimento energético das regiões mais desenvolvidas são alguns dos desafios da sociedade brasileira. Torna-se, portanto, fundamental o conhecimento sistematizado da disponibilidade de recursos energéticos, das tecnologias e sistemas existentes para o seu aproveitamento e das necessidades energéticas setoriais e regionais do País.

**FIGURA 1.1** Vista noturna da Terra a partir de imagens de satélite



Fonte: NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (EUA) – NASA. 2003. Disponível em: <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap001127.html>.

## 1.2. FONTES E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES ENERGÉTICAS

O Brasil já dispõe de várias fontes de dados de interesse para o planejamento e a gestão de recursos energéticos. Diversas instituições e empresas possuem, em meio magnético ou impresso, informações sobre tecnologias e sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, bem como o perfil dos consumidores nas diferentes regiões e setores de atividade. Contudo, é preciso melhorar a articulação entre os agentes do setor, a fim de reduzir a assimetria de informações, evitar a duplicação de recursos e facilitar o acesso a dados e informações consistentes e atualizadas.

Muitas vezes, informações coletadas por uma instituição não são avaliadas ou utilizadas por outras, o que acaba gerando múltiplos, repetitivos e desconexos sistemas de informação. É necessário, portanto, que esse conjunto de dados seja devidamente estruturado, de modo a permitir seu uso e interpretação por órgãos públicos, entidades acadêmicas, organizações não-governamentais, agentes setoriais e a sociedade em geral. Neste trabalho, denominado Atlas de Energia Elétrica do Brasil, procura-se reunir e disponibilizar informações relevantes para o setor de eletricidade.

Os Atlas têm sido utilizados desde a Idade Média para retratar temas geográficos de maneira sintética e didática. Num país como o Brasil, com cerca de 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, a visualização simultânea de um grande número de informações em uma só figura é extremamente importante, na medida em que propicia uma compreensão mais abrangente das peculiaridades regionais, facilita a análise comparativa dos dados e auxilia o planejamento e gestão de recursos. Nesse sentido, pode-se dizer que os atlas setoriais, tal como o presente, adquirem também uma importância estratégica.

No caso do setor elétrico, a coleta e sistematização de informações sobre disponibilidade de recursos energéticos, tecnologias e sistemas de geração, transmissão, distribuição e uso final de eletricidade é fundamental para a elaboração e execução das políticas relativas ao setor elétrico brasileiro. Igualmente importantes são as informações socioeconômicas e ambientais de interesse do setor. O mapeamento sistematizado dessas informações auxiliará na identificação, análise e solução de questões relacionadas ao suprimento e/ou à demanda de eletricidade.



### 1.3. GEOPROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES ENERGÉTICAS

O geoprocessamento é uma forma de sistematização, análise e representação de dados de utilização crescente em todo o mundo. Por meio do cruzamento e da superposição de dados espaciais, de diferentes origens e formatos, previamente selecionados, essa ferramenta permite agilizar os procedimentos de mapeamentos temáticos, antes onerosos e demorados. Além disso, segundo Harder (1998), o trabalho com bases tabulares e gráficas digitais possibilita uma permanente atualização das informações, com a edição periódica de mapas ou a confecção de mapas interativos. Tais instrumentos são ideais, por exemplo, para monitorar as consequências do crescimento e redistribuição da população e avaliar determinados processos de evolução ambiental, tais como, no caso brasileiro, a sazonalidade das cheias do Pantanal Matogrossense ou o volume de biomassa acumulado pela regeneração natural de um trecho da floresta tropical, num determinado período de tempo.

O sistema de informações geográficas (SIG), um dos principais componentes do geoprocessamento, é um valioso instrumento de auxílio ao planejamento, à gestão e à análise de projetos e atividades socioeconômicas. Segundo Maguirre, Goodchild e Rhind (1991), esse sistema pode ser definido a partir de três propriedades básicas, a saber:

- capacidade de apresentação cartográfica de informações complexas;
- base integrada de objetos espaciais e de seus respectivos atributos ou dados;
- sofisticado instrumento analítico, composto por um conjunto de procedimentos e ferramentas de análise espacial.

Por suas características técnicas, o SIG permite reunir uma grande quantidade de dados convencionais de expressão espacial e estruturá-los adequadamente, de modo a otimizar o tratamento integrado de seus três principais componentes: posição, topologia e atributos. Desse modo, fornece relevantes subsídios para agilizar o processo decisório de administradores e analistas, ao propiciar, por meio de complexas aplicações gráficas, rapidez nas análises e prognósticos socioambientais mais precisos, em diferentes cenários. Tal versatilidade, além de facilitar o desenvolvimento dos trabalhos, é uma das formas mais eficazes de integração e validação de dados. Para tanto, é fundamental que as informações disponíveis sejam de fácil visualização e passíveis de representação gráfica, na forma de pontos, linhas, polígonos ou imagens georreferenciadas, ou seja, relacionadas a locais da superfície terrestre cartograficamente delimitados.

Diversas estratégias de georreferenciamento de dados podem ser utilizadas. Porém, todas dependem, fundamentalmente, da qualidade

dos dados (informações demográficas atualizadas, mapas temáticos bem elaborados, registros hidrometeorológicos abrangentes etc.), e da confiabilidade da base cartográfica existente. Com esses dois requisitos atendidos, a forma mais prática de fazer o georreferenciamento das informações é localizá-las, por meio das coordenadas geográficas, nas cartas das respectivas regiões ou municípios, usando os artifícios gráficos que melhor as representem (cores, símbolos, hachuras etc.).

Uma segunda estratégia de georreferenciamento é a associação desses dados a coordenadas geográficas coletadas em campo, freqüentemente com o auxílio de equipamentos do tipo GPS – *Global Positioning System*. Assim, torna-se mais prática e eficiente a delimitação das áreas ou pontos. Sob essa ótica, verifica-se, por exemplo, que grande parte dos registros meteorológicos, hidrológicos e de qualidade da água possui campos de identificação por meio de coordenadas, o que facilita a inclusão dessas informações em sistemas geográficos de informação.

Finalmente, a terceira estratégia de georreferenciamento de dados é a construção de unidades geográficas específicas, com o auxílio de técnicas da cartografia digital. Esse pode ser o caso de dados sobre geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica, tomando-se como referência os limites geográficos das áreas de atuação das concessionárias.

### 1.4. METODOLOGIA EMPREGADA E ESTRUTURA DE APRESENTAÇÃO

A diversidade de formatos dos dados necessários ao desenvolvimento de um SIG para o setor elétrico torna obrigatória, como primeira tarefa, a organização das informações existentes e o diagnóstico de sua qualidade. Além disso, considerando-se a imensa capacidade de gerenciamento dos SIGs, determinados dados podem ser analisados em diferentes níveis de agregação, dependendo da escala de trabalho e do tipo de combinação das camadas escolhidas. Entre outros, são exemplos desse tipo de cruzamento de dados a sobreposição do traçado das linhas de transmissão de energia elétrica com mapas de vegetação e uso do solo, o cruzamento do mapa de crescimento populacional com o de degradação ambiental e a verificação das interferências de reservatórios de usinas hidrelétricas com terras agricultáveis e urbanas. Essa sobreposição pode ser apenas gráfica, gerando mapas que permitem a visualização simultânea de diferentes temas – contidos em camadas específicas de informação – e a inter-relação de dados de diferentes camadas.

No esforço para reunir uma grande diversidade de informações, corre-se o risco de trabalhar com dados de diferentes períodos, áreas de abrangência e níveis de desagregação. De modo geral, na elaboração

deste Atlas, procurou-se trabalhar com informações atualizadas, abrangentes e com o maior nível de desagregação possível. Contudo, há casos em que as informações não são muito recentes, não cobrem a totalidade do território brasileiro ou são pouco desagregadas. Parte da defasagem presente neste trabalho e em diversos sistemas de informação deve-se à periodicidade com que muitos dados são coletados, como aqueles do censo demográfico, realizado a cada dez anos.

Em relação à cobertura das informações, há casos em que a disponibilidade de dados varia substancialmente de uma região para outra, devido à natureza do tema investigado e à própria diversidade regional do país. Quanto à desagregação, há situações em que a informação disponível não é desagregada no nível da unidade geográfica mais conveniente. A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD/IBGE, por exemplo, toma como referência a unidade da Federação, de modo que é impossível o tratamento dos dados por município ou microrregião geográfica.

No caso da energia hidráulica, tomou-se como referência as sub-bacias hidrográficas<sup>(1)</sup>. Dessa forma, foram mapeados os potenciais inventariados, a capacidade instalada e as usinas hidrelétricas por faixa de potência, área alagada e situação (outorgada, construção, operação etc.). Para as demais fontes primárias, as referências foram as unidades da Federação, regiões e mesorregiões da Federação, sendo mapeadas as usinas por faixa de potência, situação (outorgada, construção, operação etc.), capacidade instalada e, para alguns casos, potenciais estudados. Para as demais informações, em geral, optou-se pela divisão do território em regiões, estados ou municípios.

No contexto mundial, a agregação de dados foi realizada por país, tomando-se por base o período de 1998-2002. Esse procedimento diminui sensivelmente a precisão das informações, que passam a se referir a todo o polígono que representa um determinado país. A finalidade, porém, é estabelecer uma visão panorâmica de aspectos globais importantes, como a disponibilidade de recursos energéticos utilizados em grande escala, entre os quais os combustíveis fósseis e a energia hidráulica.

Outra preocupação metodológica foi buscar informações relevantes para o diagnóstico e a gestão da energia no Brasil, não só nas empresas governamentais, mas também em entidades privadas e de economia mista. Para tanto, partiu-se da premissa de que muitos órgãos do Governo estão tomando essa iniciativa, recorrendo ao trabalho de empresas e/ou consultores independentes. Além de trabalhos técnicos produzidos pela própria ANEEL, contribuíram com dados, informações, críticas e/ou sugestões as seguintes instituições: Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO/USP, Centro de Referência para a Ener-

gia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB /CEPEL, Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE/UFPE, Centrais Elétricas do Brasil S.A. – Eletrobrás, Ministério de Minas e Energia – MME, Agência Nacional do Petróleo – ANP, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE/Unicamp, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia – COPPE/UFRJ, Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR/UFSC, Centro de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH/UNIFEI, Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – ABRADEE, Instituto de Pesquisas Aplicadas – IPEA, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento – ABRAVA e Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

A pesquisa bibliográfica se concentrou basicamente na produção, transmissão e distribuição de energia elétrica, assim como nos impactos socioeconômicos e ambientais das diferentes fontes e formas de suprimento energético. Enfoque especial foi dado às fontes e tecnologias não-convencionais de geração, incluindo dados históricos, metas e previsões sobre a participação dessas fontes no suprimento futuro de energia elétrica.

Por fim, considerando-se que esse diagnóstico, de efeito informativo e didático, é um passo importante para a integração de ações, publicação de dados energéticos e atualização das informações já existentes, decidiu-se que o arquivamento dos textos e as ilustrações gráficas fossem feitos integralmente em meio digital. Tal procedimento permite que o trabalho final seja atualizado periodicamente e apresentado em diferentes mídias.

Em relação à estrutura de apresentação, o trabalho é composto por 11 capítulos, segundo a organização e configuração do setor elétrico brasileiro, as fontes e tecnologias de geração, e os aspectos demográficos e socioeconômicos mais diretamente relacionados. A organização por fonte de geração (solar, hidráulica, biomassa, eólica, petróleo, carvão, gás natural, energia nuclear e outras fontes de geração) visa a facilitar o cruzamento e a análise de dados sobre potenciais energéticos, tecnologias de geração, capacidade instalada e usinas em construção, projeto ou análise.

Inicialmente são abordados aspectos institucionais do setor elétrico brasileiro e a configuração do sistema. Na sequência, são apresentadas as fontes renováveis, começando com a energia solar, base de quase todas as demais fontes energéticas e a energia hidráulica. Biomassa e energia eólica completam a etapa das renováveis. Petróleo, carvão, gás natural, energia nuclear e outras não-renováveis completam as principais fontes para geração de energia elétrica no País. O trabalho é finalizado com uma abordagem do consumo e da demanda de energia elétrica no Brasil, e com a inserção de alguns indicadores socioeconômicos e demográficos importantes.

(1) O território brasileiro é dividido em 8 grandes bacias hidrográficas e 79 sub-bacias, segundo classificação definida pelo extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica.