

Sumário

<i>Prólogo</i>	V
Capítulo 1	
<i>Introdução (Geraldo Lúcio Tiago Filho)</i>	1
Capítulo 2	
<i>Transição Energética – Cenário Atual (Antônio Harley Anselmo, Eduardo de Moraes, Carlos Adriano Rosa, Gustavo Bustamante, Adson Junior, Geraldo Lúcio Tiago Filho)</i>	7
2.1 O AQUECIMENTO GLOBAL	9
2.2 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	12
2.3 FONTES DE ENERGIA	18
2.3.1 Fontes Fósseis de Energia	19
2.3.2 Fontes Renováveis de Energia para a Geração de Eletricidade	21
REFERÊNCIAS	24
Capítulo 3	
<i>As Crises Do Petróleo (Geraldo Lúcio Tiago Filho)</i>	29
3.1 CRISES QUE LEVARAM À INSTABILIDADE NO FORNECIMENTO DO PETRÓLEO	30
3.2 COMPORTAMENTO DO MERCADO DE PETRÓLEO	31
3.3 CRISES QUE LEVARAM AO AUMENTO DO CUSTO DO PETRÓLEO	32
3.4 QUEDAS DOS PREÇOS DO PETRÓLEO	33
3.5 IMPACTOS DEVIDO ÀS CRISES DO PETRÓLEO	34
REFERÊNCIAS	35

Capítulo 4

A Transição Energética no Brasil (<i>Antônio Harley Anselmo, Eduardo de Moraes, Carlos Adriano Rosa, Gustavo Bustamante, Adson Junior, Geraldo Lúcio Tiago Filho</i>)	37
4.1 INTRODUÇÃO	37
4.2 AVANÇOS TECNOLÓGICOS	38
4.3 DESAFIOS REGULATÓRIOS	40
REFERÊNCIAS	41

Capítulo 5

A Matriz de Geração Elétrica Brasileira (<i>Antônio Harley Anselmo, Eduardo de Moraes, Carlos Adriano Rosa, Gustavo Bustamante, Geraldo Lúcio Tiago Filho</i>)	43
5.1 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA	46
5.1.1 Energia Hidroelétrica	49
5.1.2 Energia Solar	53
5.1.3 Energia Eólica	59
5.1.4 Bioenergia	67
5.1.5 Energia Nuclear	78
5.1.6 Energias Oceânicas	94
REFERÊNCIAS	121

Capítulo 6

Geração Híbrida (<i>Leandro Firme Croce, Geraldo Lúcio Tiago Filho, Ivan Felipe Silva dos Santos</i>)	125
6.1 INTRODUÇÃO ÀS USINAS DE GERAÇÃO HÍBRIDA	125
6.2 REGULAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO	127
6.3 COMBINAÇÕES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	131
6.3.1 Geração Híbrida Solar e Eólica	131
6.3.2 Geração Híbrida Solar e Hidráulica	134
6.3.3 Geração Híbrida Eólica e Hidráulica	136
6.3.4 Geração Híbrida Hidráulica e Biomassa	138
6.3.5 Geração Híbrida Termossolar e Biomassa	139
6.4 CÁLCULO DA ENERGIA FIRME DE UMA CENTRAL HÍBRIDA	140
6.4.1 Energia Firme Gerada pela Componente Hidrelétrica	140
6.4.2 Cálculo da Energia Firme Gerada pela Componente Solar	140
6.4.3 Cálculo da Energia Firme Total da Central Híbrida	141

6.5 DESDOBRAMENTOS FUTUROS.....	142
REFERÊNCIAS.....	142

Capítulo 7

Resíduos Sólidos Urbanos como Fonte para a Transição

Energética no Brasil (Flávio Ferreira Freitas, Regina Mambeli Barros,

Geraldo Lúcio Tiago Filho)..... 147

7.1 INTRODUÇÃO.....	147
7.2 TRATAMENTO E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RSUS NO BRASIL ..	148
7.3 O USO DOS RSU PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	152
7.4 ESTÁGIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS PARA O BRASIL PARA AS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DOS RSU	154
7.5 USO DO RSU COMO FONTE DE ENERGIA.....	155
7.6 GERAÇÃO DE RSU NO MUNDO.....	157
7.7 ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO NO BRASIL, TENDO OS RSU COMO FONTE	160
REFERÊNCIAS.....	169

Capítulo 8

Armazenamento de Energia (Geraldo Lúcio Tiago Filho, Antônio Harley Anselmo,

Luciano José da Silva, Davi Marcelo Febba, Maisa Tonon Bitti Perazzini,

Estefânia Fernandes dos Santos)..... 175

8.1 INTRODUÇÃO.....	175
8.2 TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	177
8.3 CARACTERÍSTICAS DAS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.....	179
8.3.1 Densidade Específica de Energia, d_e [Wh/kg]	179
8.3.2 Densidade Específica de Potência, d_p [W/kg]	179
8.3.3 Rendimento, ou Eficiência Energética - η_e	180
8.3.4 Tempo de Vida Útil Médio – Ciclos de Carga e Descarga.....	180
8.4 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELETROQUÍMICO – BATERIAS	182
8.4.1 Baterias de Estado Sólido	183
8.4.2 Baterias de Níquel-Cádmio.....	185
8.4.3 Baterias de Hidretos Metálicos de Níquel	185
8.4.4 Baterias de Íons de Lítio	186
8.4.5 Baterias de Chumbo-Ácido	188
8.4.6 Vida Útil das Baterias.....	190

X Transição Energética no Setor Elétrico

8.4.7	Baterias de Estado Líquido – Baterias de Fluxo	191
8.4.8	Principais Características das Baterias.	199
8.5	SISTEMA MECÂNICO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	199
8.5.1	Volantes de Inércia	199
8.5.2	Armazenamento Hidráulico por Bombeamento – Usinas Hidrelétricas Reversíveis	205
8.5.3	Armazenamento de Energia a Ar Comprimido (CAES)	210
8.5.4	Sistema de Armazenamento de Ar Comprimido em Pequena Escala (SCAES).....	212
8.6	SISTEMAS TÉRMICOS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	217
8.7	SISTEMA QUÍMICO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA – GÁS NATURAL SINTÉTICO (SNG)	228
8.8	SISTEMAS ELÉTRICOS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	234
8.8.1	Armazenamento por Supercapacitores	234
8.9	SISTEMAS MAGNÉTICOS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA – SUPERCONDUTORES (SMES)	237
8.10	COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.	242
8.11	MATURIDADE DAS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ..	248
8.12	COMPARAÇÃO QUANTO AOS CUSTOS	249
	REFERÊNCIAS	250

Capítulo 9

O Hidrogênio como Vetor de Energia na Transição Energética

(Regina Mambeli Barros, Geraldo Lúcio Tiago Filho) **257**

9.1	INTRODUÇÃO	257
9.2	O HIDROGÊNIO VERDE	261
9.3	O CENÁRIO ATUAL BRASILEIRO DO HIDROGÊNIO VERDE	265
9.4	ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DO HIDROGÊNIO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	267
9.5	A VIABILIDADE ECONÔMICA DO HIDROGÊNIO VERDE	271
	REFERÊNCIAS	273

Capítulo 10

Eficiência na Transição Energética (Geraldo Lúcio Tiago Filho)..... **277**

10.1	INTRODUÇÃO	277
10.2	METAS E OBJETIVOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	277
10.3	PROCEDIMENTOS PARA ALCANÇAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	279

10.4	LEGISLAÇÃO PERTINENTE À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	280
10.5	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	281
10.6	DESAFIOS E OPORTUNIDADES	283
	REFERÊNCIAS	284

Capítulo 11

Aspectos Regulatórios e Legais (Carlos Adriano Rosa, Geraldo Lúcio Tiago Filho) . 287

11.1	INTRODUÇÃO	287
11.2	O LICENCIAMENTO AMBIENTAL E A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL	289
11.3	O LICENCIAMENTO AMBIENTAL COMO AGENTE DE DESENVOLVIMENTO	294
	REFERÊNCIAS	296

Capítulo 12

Papel das Redes Inteligentes na Transição Energética (Priscila Duarte, Geraldo Lúcio Tiago Filho) . 299

12.1	INTRODUÇÃO	299
12.2	FONTES ALTERNATIVAS E DEMANDAS ENERGÉTICAS DAS REDES INTELIGENTES: ENERGIA EÓLICA, ENERGIA SOLAR E VEÍCULOS ELÉTRICOS	303
12.3	A PARTICIPAÇÃO DO HIDROGÊNIO VERDE NO PROCESSO DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	309
12.4	AS REDES INTELIGENTES NO MUNDO E O AVANÇO PARA A TRANSIÇÃO	310
12.5	AS REDES INTELIGENTES NO BRASIL	312
12.6	OS DESAFIOS DAS REDES INTELIGENTES NO BRASIL	313
12.7	ANÁLISE ENERGÉTICA DO FORNECIMENTO DE UMA REDE INTELIGENTE	314
12.8	EXEMPLO DE UM ESTUDO DE ANÁLISE ENERGÉTICA PARA O FORNECIMENTO DE UMA REDE INTELIGENTE	317
	REFERÊNCIAS	322

Capítulo 13

Os Custos das Tecnologias para Transição Energética (Ivan Felipe Silva dos Santos) . 325

13.1	INTRODUÇÃO	325
13.2	PARÂMETROS DE CUSTOS DE SISTEMAS ENERGÉTICOS	326
13.3	CUSTOS DE FONTES RENOVÁVEIS DE ELETRICIDADE NO BRASIL	328
13.4	CUSTOS DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO	331
13.5	CUSTOS DE TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO	333

13.6	PROPOSTA DE MODELAGEM PARA CÁLCULO DO CUSTO DE INSERÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS NA MATRIZ ELÉTRICA	334
13.7	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO $LCOE_M$	337
13.8	SOLUÇÃO DO EXEMPLO PROPOSTO	337
	REFERÊNCIAS	341

Capítulo 14

Transição Energética no Setor Elétrico no Continente Africano:

Estudo de Caso da República do Benin (Johnson Herlich Roslee Mensah, Ivan Felipe Silva dos Santos, Geraldo Lúcio Tiago Filho)

343

14.1	INTRODUÇÃO	343
14.2	REPÚBLICA DO BENIN EM DADOS	344
14.3	SITUAÇÃO ENERGÉTICA ATUAL DO BENIN	347
14.3.1	Acesso a Eletricidade	347
14.3.2	Consumo Energético	348
14.3.3	Matriz Elétrica do Benin	348
14.4	POTENCIAL DAS FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NO BENIN	349
14.4.1	Energia Hidroelétrica	349
14.4.2	Potencial de Biomassa	350
14.4.3	Potencial Eólico	351
14.4.4	Potencial Solar	352
14.5	POLÍTICA E REGULAMENTOS DE ENERGIA RENOVÁVEL NO BENIN	353
14.5.1	Quadro Institucional do Setor Energético do Benin	353
14.5.2	Custo de Eletricidade no Benin	356
14.6	MODELOS DE PREVISÃO ENERGÉTICA	356
14.7	METODOLOGIA	358
14.7.1	Coleta de Dados para Previsão da Demanda de Energia com LEAP	358
14.7.2	Desenvolvimento de Cenários e Suposições	359
14.8	RESULTADOS E DISCUSSÕES	362
14.8.1	Projeção da Demanda de Energia no Benin	362
14.8.2	Projeção da Demanda Energética por Combustível em todos os Cenários	366
14.8.3	Proposta de Políticas para um Desenvolvimento Sustentável no Benin	367
	REFERÊNCIAS	369

Capítulo 15

Índice da Contribuição das Fontes de Energia na Transição Energética

(Geraldo Lúcio Tiago Filho, Antônio Harley Anselmo, Augusto Cesar Campos de Sousa Machado, Johnson Herlich Roslee Mensah)

375

15.1	INTRODUÇÃO	375
------	------------------	-----

15.2	OBJETIVO DO ICTE E O RANQUEAMENTO DAS FONTES DE ENERGIA . . .	376
15.3	JUSTIFICATIVAS METODOLÓGICAS	376
15.4	ESTRUTURA E INDICADORES DO ICTE	377
15.5	ESTRUTURAÇÃO DO ICTE	380
15.6	REESCALONAMENTO DO ÍNDICE DE CONTRIBUIÇÃO NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DA MATRIZ ELÉTRICA $ICTE_{matriz}$	387
15.7	ESTUDO DE CASO: ÍNDICE DE CONTRIBUIÇÃO DA FONTE NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA MATRIZ ELÉTRICA, ICTE, DA REPÚBLICA DO BENIN	387
	REFERÊNCIAS	391

Capítulo 16

<i>Combustíveis do Futuro (Geraldo Lúcio Tiago Filho)</i>	393	
16.1	INTRODUÇÃO	393
16.2	MECANISMOS DE INCENTIVO À DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ DE COMBUSTÍVEIS	394
16.3	COMBUSTÍVEIS AVANÇADOS	396
16.4	A INSERÇÃO DO ETANOL E DO BIODIESEL NAS MISTURAS DE GASOLINA E DIESEL	397
16.5	BENEFÍCIOS ESPERADOS COM A EDIÇÃO DA LEI DO COMBUSTÍVEL DO FUTURO	398
	REFERÊNCIAS	404

Capítulo 17

<i>As Terras Raras na Transição Energética (Geraldo Lúcio Tiago Filho)</i>	407	
17.1	COMPOSIÇÃO E APLICAÇÕES DAS TERRAS RARAS	408
17.2	PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS ETR	408
17.3	IMPORTÂNCIA GEOPOLÍTICA E DEPENDÊNCIA GLOBAL DAS TERRAS RARAS	410
17.4	PRODUÇÃO MUNDIAL E RESERVAS DE TERRAS RARAS	410
17.5	O PAPEL DO BRASIL NO MERCADO DE MINERAIS RAROS	412
	REFERÊNCIAS	413

<i>Epílogo (Geraldo Lúcio Tiago Filho)</i>	415
-------------------------------------------------------------	------------

<i>Currículo dos Autores</i>	419
-----------------------------------------------	------------

