JOSÉ MARIA ALVES GODOI

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL: UM MODELO DE GOVERNANÇA DE
ENERGIA PARA A INDÚSTRIA SOB REQUISITOS DE SUSTENTABILIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica/Faculdade de Economia e Administração/Instituto de Eletrotécnica e Energia/Instituto de Física) para obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Silvio de Oliveira Junior

SÃO PAULO
2011

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

FICHA CATALOGRÁFICA

Godoi, José Maria Alves.

 Eficiência energética industrial: um modelo de governança de
energia para a indústria sob requisitos de sustentabilidade / José
Maria Alves Godoi; orientador: Silvio de Oliveira Junior. –
São Paulo, 2011.

 126 f.: il.; 30 cm.

 Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de
Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da
Universidade de São Paulo.

 1. Eficiência energética 2. Energia – aspectos políticos -
socioeconômicos. 3. Sustentabilidade I. Título

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENERGIA
EP – FEA – IEE - IF

JOSÉ MARIA ALVES GODOI

"Eficiência energética industrial: um modelo de governança de energia para a indústria sob requisitos de sustentabilidade"

Dissertação defendida e aprovada em 21/01/2011 pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Silvio de Oliveira Junior – PPGE/USP
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Celso Bernmann – PPGE/USP

Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira – UNIFEI

AGRADECIMENTO

Agradeço a minha mulher, Auxiliadora, pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho de pesquisa. Também agradeço aos meus filhos André e Bruno, dos quais recebi doses consistentes de incentivo, além de idéias inovadoras e contribuições objetivas nas correções do texto e elaboração de material gráfico.

Agradeço aos meus mestres da pós-graduação, os quais têm um papel decisivo na estrutura de conhecimento alcançado e na motivação necessária ao esforço persistente, realizado para desenvolver e concluir o trabalho. Muito obrigado aos mestres.

Agradeço à equipe da Biblioteca do IEE, nas pessoas de Fátima Mochizuki, Penha Oliveira e Lourdes Montrezol, as quais sempre estiveram a postos e disponibilizaram o conhecimento disponível no acervo, num tratamento dedicado de alto desempenho.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Silvio de Oliveira Junior, pela confiança nas minhas ideias e pela densa aplicação intelectual e de tempo, indispensáveis para o desenvolvimento satisfatório das várias vertentes e nuances do tema, e para a conclusão bem-sucedida desta dissertação. Muito obrigado ao mestre e orientador.

RESUMO

GODOI, José Maria Alves. **Eficiência energética industrial: um modelo de governança de energia para a indústria sob requisitos de sustentabilidade**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

As condições de vida na terra estão sendo alteradas de forma ainda desconhecida pelo homem. A eficiência energética é apontada como uma das estratégias de mitigação das mudanças climáticas e melhoria da qualidade de vida. De todos os setores de atividade, a indústria é o maior usuário de energia. Assim, este trabalho focaliza a eficiência energética industrial; trata da questão energia e sustentabilidade, e dos respectivos custos; da evolução dos programas de racionalização de energia e do seu marco regulatório no Brasil, dentre outras forças de mercado, como as resultantes da estrutura competitiva, etc. Finalmente, o trabalho define a gestão da energia com seus instrumentos de controle e, baseado na concepção universal de governança e na governança corporativa, propõe um modelo de governança de energia para a indústria sob requisitos de sustentabilidade.

Palavras-chave: eficiência energética, gestão da energia, governança de energia.

ABSTRACT

GODOI, José Maria Alves. **Industrial energy efficiency: a model for energy governance to the industry under sustainability requirements.** 2011. 126 p. Master's Dissertation – Graduate Program on Energy. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

Life conditions on Earth are being changed by ways still unknown to man. Energy efficiency is one of the strategies to mitigate climate change and to improve quality of life. As manufacturing is the greatest energy user, this work studies industrial energy efficiency, examines the energy and sustainability issue, its costs, the evolution of the regulatory framework, the development of energy rationalizing programs and other relevant market forces in Brazil, as those resulting from the competitive dynamic etc. Finally, the work defines energy management, its control instruments and, based on corporate governance concepts, proposes an energy governance model for manufacturing under sustainability requirements.

Keywords: energy efficiency, energy management, energy governance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Participação das fontes na oferta total de energia primária: mundo, 2008	13
Figura 1.2 – Utilização final de energia por setor: mundo, 2008	15
Figura 1.3 – Utilização final de energia por setor: Brasil, 2008	16
Figura 1.4 – Composição setorial da utilização de eletricidade: Brasil, 2008	17
Figura 1.5 – Participação dos segmentos no total de energia conservada na indústria brasileira	18
Figura 1.6 – Crescimento da oferta de energia por fonte primária: Brasil, 1990-2008	21
Figura 1.7 – Oferta interna de energia com as fontes condensadas: Brasil, 1990-2008	21
Figura 1.8 – Evolução relativa da participação das fontes na matriz energética: 1990-2008 .	22
Figura 1.9 – Carga tributária na cadeia do setor elétrico: Brasil, 2006	25
Figura 1.10 – Evolução da tarifa média de energia elétrica no Brasil: 2001-2006	27
Figura 2.1 – Sistema energético genérico	36
Figura 2.2 – Exergia total e suas componentes	45
Figura 3.1 – Sistemas de conversão de energia: eficiência energética	76
Figura 3.2 – Gestão da energia na indústria	81
Figura 3.3 – Abrangência da gestão da energia na indústria	96
Figura 3.4 – Estrutura de governança de energia na indústria	100
Figura 3.5 – Sistema de governança de energia na indústria	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Rendimento e aplicação de motores estacionários a combustíveis	43
Tabela 2.2 – Eficiências medidas pelas primeira (η) e segunda (ε) leis da Termodinâmica ..	47

LISTA DE SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEC	Custo da Energia Conservada
CIGREN	Comitê Interno de Governança e Racionalização de Energia
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CONSERVE	Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	Energy Services Company (Empresa de Serviços de Conservação de Energia)
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GCC	Grupo Coordenador do CONPET
GCCE	Grupo Coordenador de Conservação da Energia Elétrica
GD	Geração Distribuída
GEE	Gás de Efeito Estufa
GLD	Gestão pelo Lado da Demanda
IEA	International Energy Agency
IFC	International Finance Corporation
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
MAUFE	Mercado Autônomo de Eficiência Energética
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MIC	Ministério da Indústria e do Comércio
MME	Ministério de Minas e Energia

MP	Material Particulado
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PEE	Programa de Eficiência Energética
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PIR	Planejamento Integrado de Recursos
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Álcool
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
UE	União Européia
UHE	Usina Hidroelétrica
UTE	Usina Termoelétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

Btu	british thermal unit
GW	gigawatt
GWh	gigawatt-hora
J	joule
K	grau Kelvin
kJ	quilojoule
kV	quilovolt
kW	quilowatt
kWh	quilowatt-hora
MJ	megajoule
MW	megawatt
MWh	megawatt-hora
tep	tonelada equivalente de petróleo
ktep	kilotonelada equivalente de petróleo
Mtep	megatonelada equivalente de petróleo
W	watt
Wh	watt-hora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Fatores determinantes da eficiência energética na indústria	12
1.2. Objetivo da dissertação	29
1.3. Metodologia da pesquisa	30
 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	 32
2.1. Eficiência energética na indústria	32
2.2. Governança corporativa	59
2.3. Evolução da eficiência energética no Brasil	63
 3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GOVERNANÇA DE ENERGIA NA INDÚSTRIA	 73
3.1. Eficiência energética	73
3.2. Gestão da energia	78
3.3. Governança de energia na indústria	97
 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	 115
 5. REFERÊNCIAS	 121

1. INTRODUÇÃO

Caracterizando os fatores determinantes da eficiência energética na indústria, este capítulo examina as evidências objetivas de que dentre os setores de atividades, o industrial é o maior usuário de energia; a intensidade energética da indústria brasileira é maior que a média mundial; os impactos socioambientais decorrentes dos sistemas energéticos afetam cada vez mais a saúde do homem e de todo o ambiente biótico que o cerca; e que os custos da energia no país, ao longo da presente década, têm aumentado sistematicamente. Em seguida, são apresentados o objetivo e a metodologia utilizada neste trabalho de pesquisa.

1.1. Fatores determinantes da eficiência energética na indústria

A energia, a água e o clima são as três dimensões básicas da sustentabilidade, que dão suporte à existência das diversas espécies de vida presentes na biosfera, na forma como hoje são conhecidas, inclusive a do homem.

Os combustíveis fósseis, formados e acumulados ao longo dos últimos 4,0 bilhões de anos, estão sendo utilizados pela civilização atual em alta velocidade, em apenas algumas décadas: fazendo uma análise detalhada sobre a curva de Hubbert, Rifkin (2003) esclarece que foram necessários 110 anos, de 1859 a 1969, para que se extraíssem 227 bilhões de barris de petróleo bruto, sendo que 50% desse volume foram extraídos nos primeiros 100 anos e os outros 50% em apenas 10 anos, de 1959 a 1969. A partir da década de 1970, com a maior taxa de crescimento da população mundial e a melhoria do poder aquisitivo, com maior acesso à energia, nos países em desenvolvimento, essa velocidade só tem aumentado.

Para se ver com clareza o nível da intensa utilização atual dos combustíveis fósseis, a *International Energy Agency* (IEA) (2010) mostra que a participação deles na matriz energética mundial ultrapassa os 80%. Ver Fig. 1.1.

Figura 1.1 – Participação das fontes na oferta total de energia primária: mundo, 2008
 Fonte: (IEA, 2010)

Por meio da queima do carbono (C) e de outros elementos contidos nesses combustíveis, como o nitrogênio (N) e o enxofre (S), o homem os converte em outras formas de energia, adequadas ao seu bem-estar econômico e social, como a eletricidade, a energia mecânica, a térmica, etc. Nesse processo de queima, as leis naturais impõem a emissão de gases de efeito estufa (GEE), como os dióxidos de carbono (CO_2) e de enxofre (SO_2), o óxido nitroso (N_2O), etc., além de material particulado.

Na presença da luz solar, esses óxidos reagem entre si e com outros elementos presentes na atmosfera, aumentando a quantidade e a complexidade dessas emissões, com a formação de compostos orgânicos voláteis, ozônio (O_3) troposférico, dentre outros. Reagindo com a água em forma de vapor (H_2O_v) disponível na atmosfera, esses óxidos também dão origem às chuvas ácidas. Os efeitos socioambientais dessa combinação de emissões são grandes danos à saúde do homem, à produtividade da fotossíntese, à agricultura, ao ambiente biótico dos corpos d'água, etc. As medidas de mitigação ou adaptação respeitantes a esses efeitos implicam custos cada vez maiores para a sociedade.

Por exemplo, Miraglia (2002) demonstra que, na cidade de São Paulo, houve 28.212 anos de vida perdidos e vividos com incapacidades, de crianças até 05 anos de idade e idosos a partir de 65 anos. O trabalho mensurou esses resultados, utilizando o método *Disability-Adjusted Life Years* ou Anos de Vida Perdidos e Vividos com Incapacidades (método DALY). É o método internacionalmente reconhecido e praticado pela Organização das Nações Unidas

(ONU), para determinação do status da qualidade de vida nos grandes centros urbanos do mundo.

Em São Paulo, o método DALY foi aplicado para a mortalidade e a morbidade (vida vivida com incapacidades), nos anos de 1991 para as crianças e 1994 para os idosos. Nas crianças, as doenças definitivas foram as respiratórias e a causa determinada nos testes de dose-resposta, foi a poluição por monóxido de carbono (CO) e o material particulado (MP_{2,5-10}); nos idosos, as doenças decisivas foram as respiratórias, as doenças isquêmicas do coração (DICs) e o acidente vascular cerebral (AVC), sendo as causas, a poluição por SO₂, CO, O₃ e MP_{2,5-10}. Por exemplo, nas crianças, eram 03 óbitos, diariamente, por doenças respiratórias; no caso dos idosos, para estas, eram 13 óbitos, para as DICs, 11, e o AVC, 23 óbitos, também, diariamente.

No que se refere às crenças de que os sistemas energéticos fundados na hidroeletricidade, por se apoiarem em recurso renovável – água – não produzem externalidades negativas, Bermann (2007) aclara que os empreendimentos hidrelétricos se têm revelado insustentáveis, tanto no cenário internacional como no Brasil. Dentre os principais problemas socioambientais em usinas hidrelétricas (UHEs), ele destaca: alteração do regime hidrológico, comprometendo as atividades a jusante do reservatório; comprometimento da qualidade das águas, em razão do caráter lântico do reservatório, dificultando a decomposição dos rejeitos e efluentes, provocando a sua eutrofização acelerada, com emissões de GEE; dificuldades para assegurar o uso múltiplo das águas, em razão do caráter histórico de priorização da conversão hidrelétrica em detrimento dos outros usos, como irrigação, transporte, piscicultura, etc; irregularidades na valoração e no processo de desapropriação dessas terras; etc.

Portanto, faz-se necessário esclarecer que, mesmo fundada em recurso natural renovável, a conversão hidrelétrica, principalmente as UHEs, também produzem impactos socioambientais de grande monta.

Embora os sistemas energéticos fundados nos recursos solar, eólico, da biomassa, das marés e das ondas apresentem vantagens do ponto de vista socioambiental, quando confrontados com os fenômenos de difusão, intermitência e baixo conteúdo energético, que lhes são intrínsecos, apresentam limitações significativas. E ao serem examinados sob contexto da sua avaliação de ciclo de vida (ACV), envolvendo todos os componentes materiais incluídos nos seus

subsistemas de conversão, transporte, distribuição e uso da energia, visualizam-se as externalidades negativas desses sistemas, ainda que brandas quando comparadas às dos combustíveis fósseis.

Mesmo sendo considerados renováveis, os sistemas geotérmicos são emissores de GEE e de efluentes químicos potencialmente capazes de gerar grandes danos, locais e regionais, ao homem e a todo o ambiente biótico.

Ante suas dimensões e intensidade cada vez maiores, evidencia-se que os sistemas energéticos atuais estão modificando as condições de vida no planeta de forma ainda desconhecida pelo homem. Hoje, a energia representa o maior indutor antrópico das mudanças climáticas.

Nesse cenário, segundo a IEA (2010), na matriz de demanda por setor, a indústria é o maior usuário de energia no mundo. Ver a Fig. 1.2.

Figura 1.2 – Utilização final de energia por setor: mundo, 2008
Fonte: (IEA, 2010)

Na Fig. 1.2, os outros usos abarcam os setores residencial, agricultura, os dos serviços comerciais e públicos, dentre outros. Nessa figura, constata-se o nível em que a indústria é o maior usuário de energia, no mundo.

Utilizando-se as mesmas medidas e fazendo-se uma relação direta com a demanda de energia, por setor, no Brasil, de acordo com a EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) (2010a), verifica-se que, analogamente à matriz energética mundial, a indústria continua sendo o maior usuário da energia. Ver a Fig. 1.3.

Figura 1.3 – Utilização final de energia por setor: Brasil, 2008
Fonte: (EPE, 2010a)

Entretanto, nessa figura, constata-se que o nível de utilização de energia pela indústria, além de repetir a evidência de ser o mais elevado o é em percentual significativamente maior do que o mundial (36,4% no Brasil ante 27,8% no mundo).

Adicionalmente, ainda em conformidade com a IEA (2010), a oferta de energia primária no mundo é de 1,83 tep/capita e no Brasil, 1,29 tep/capita. Este fato permite entender a característica energointensiva da indústria brasileira: diante de uma oferta total relativa, expressivamente menor, uma demanda industrial, relativa e significativamente, maior. Para se ter dados comparativos, aquela publicação cita a oferta de energia primaria em países localizados em latitudes onde o Brasil se insere: na Argentina, por exemplo, essa oferta atinge 1,91 tep/capita; no Chile, 1,88 tep/capita; ainda na equivalência de latitude atingida, a Austrália alcança 6,05 tep/capita. Nesse quesito, o Brasil está muito próximo, por exemplo, do Líbano, onde a oferta interna de energia primária é da ordem de 1,27 tep/capita.

Estabelecendo uma visão do lado da demanda, de acordo com a IEA (2010), a utilização média mundial de energia, em 2008, foi de 1,26 tep/capita, enquanto a do Brasil atinge apenas 1,10 tep/capita. Novamente, constatam-se indicadores comparativamente inferiores de demanda, com quase 2/5 dela dedicados apenas à indústria, no Brasil. A energointensividade, aqui definida em termos de intensidade energética (I), é medida em unidades de energia utilizada por valor econômico produzido. Segundo a EPE (2010a), em 2008, a indústria brasileira apresentou $I=208,9 \text{ tep}/10^6\text{US\$}$, sendo que, nos últimos oito anos (2000-2008), essa intensidade foi reduzida de apenas 2%.

Parte dos especialistas brasileiros entendem que, ante a inexistência do rigor climático corrente em países do hemisfério Norte, o nível de oferta e demanda de energia no Brasil deve ser significativamente menor. Não obstante esse entendimento, não se ignora que, no verão, há muito desconforto com o calor, na população das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil; esse desconforto resulta da impossibilidade econômica de se usar, por exemplo, equipamentos modernos de ar-condicionado ou outras opções que permitam conforto térmico. Enquanto isso, na região Sul do país, principalmente nas cidades serranas, com exposição na televisão nacional, no inverno, pela mesma falta de poder econômico para usar equipamentos eficientes de calefação, grande parte da população também sofre de muito desconforto com o frio, chegando a utilizar tijolos e pedras aquecidas por meio da lenha, colocados embaixo dos colchões para, assim, conseguir dormir; outra parcela dessa população, para a mesma finalidade, usa eletrotermia a partir de um cobertor elétrico, etc.

Essas evidências de falta de poder econômico e de desconforto térmico, as quais apresentam tal grau de intensidade e disseminação na sociedade, que chegam a ser publicadas em mídia de massa, acrescidas dos indicadores objetivos acima mencionados, ajudam a entender que apenas a questão da latitude (com diferença de hemisférios) não é suficiente para explicar o nível, comparativamente inferior, de utilização de energia no Brasil. Superpondo a este baixo nível de uso social da energia a elevada parcela demandada pela indústria nacional, visualiza-se, com clareza, a característica energointensiva desta. O patamar pouco representativo de redução dessa intensidade energética ao longo da presente década mencionado acima aclara a carência de eficiência energética na indústria brasileira.

Ainda de acordo com a EPE (2010a), no que se refere à utilização da eletricidade pela indústria, esta atingiu 46 % da totalidade dos usos finais no Brasil, em 2008. Ver a Fig. 1.4.

Figura 1.4 – Composição setorial da utilização de eletricidade: Brasil, 2008
Fonte: (EPE, 2010a)

Comparando este indicador ao seu equivalente mundial, no mesmo ano, a IEA (2010) registra ter sido de apenas 41,7%. Diante dos indicadores apresentados e desse exame sintético da matriz nacional de utilização final de energia por setor, depreende-se o elevado potencial de eficiência energética na indústria brasileira. Verifica-se que o país tem uma composição de usos finais, que denotam a existência de uma indústria energointensiva; isto é, de elevada intensidade energética.

Alinhada com essa análise, a EPE (2010b) projeta o montante de racionalização de energia, que pode ser alcançado pela indústria brasileira, por segmento industrial. Ver Fig. 1.5.

Figura 1.5 – Participação dos segmentos no total de energia conservada na indústria brasileira

Fonte: (EPE, 2010b)

Conhecendo esse potencial de eficiência, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) (2009), com a colaboração do subprograma PROCEL Indústria, o qual faz parte do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), fez um diagnóstico, objetivando identificar as principais oportunidades e prioridades para o desenvolvimento do mercado de eficiência energética industrial, no Brasil.

Focalizado nesse objetivo, o estudo examinou 217 projetos de eficiência energética, realizados em 13 setores industriais, nos últimos 10 anos, no Brasil: mineração (metálicos), siderurgia, químico, metalurgia, alimentos e bebidas, papel e celulose, couro, têxtil, mineração (não metálicos), automotivo, cerâmico, fundição e outros. A grande maioria desses

projetos decorreu da aplicação dos recursos dos programas de eficiência energética, previstos na Lei Nº 9.991, de 24/07/2000. Esses projetos perfizeram o total de R\$161 milhões de investimentos, produziram uma economia de 626 GWh de energia e, considerando uma taxa de remuneração do capital investido de 10% ao ano e uma duração média de 10 anos para as ações de eficiência implementadas, apresentaram um custo de energia conservada (CEC) de R\$79/MWh. Cotejando esse resultado com o custo marginal de expansão do sistema elétrico de R\$138/MWh, o estudo é congruente com a análise acima encadeada e demonstra as vantagens dos investimentos em eficiência energética industrial.

No cálculo dos potenciais técnicos de eficiência, o estudo aprofundou seu exame nos principais usos industriais da energia, como, por exemplo, aquecimento direto, considerando fornos, fornalhas, radiação, aquecimento por indução, condução e micro-ondas; calor de processo, abarcando energia usada em caldeiras, aquecedores de água e circulação de fluidos térmicos; força motriz, com motores estacionários; refrigeração; processos eletroquímicos; iluminação; e outros usos finais. Esse cálculo apontou um potencial técnico total de eficiência na indústria de 25,7%, sendo que 82% das suas oportunidades estão nos processos térmicos.

O diagnóstico também identificou algumas tendências nos focos dos projetos de eficiência energética, como, por exemplo: no setor de alimentos e bebidas, o foco era na utilização de inversores de frequência em túnel de resfriamento, substituição de fornos em padarias e uso dos *variable-speed-drive air compressors* (compressores VSD); no setor têxtil, era o aumento da eficiência de filatórios; na siderurgia integrada, o grande esforço era na cogeração; na metalurgia, o foco era no uso de compressores VSD; no setor automotivo, o aumento da eficiência estava concentrado no uso desses compressores; etc.

Essas evidências indicaram que os projetos de eficiência estavam focalizados predominantemente na economia de eletricidade. Os indicadores levantados revelaram que 19% das ações de eficiência eram dedicadas à troca de motores elétricos, 20% se concentravam em sistemas de iluminação, 8% em ar comprimido. As ações que envolviam a otimização dos processos térmicos foram de apenas 6%, apesar de alguns resultados significativos alcançados, como, por exemplo, na cogeração em siderurgia.

Dessa forma, uma das conclusões importantes do estudo é a de que os projetos de eficiência energética industrial, no Brasil, não estão focados nas áreas de maior efeito na redução da utilização de energia, as quais, como reportado acima, seriam as dos processos térmicos.

O estudo também menciona as barreiras brasileiras à eficiência energética na indústria, tais como: legislação desfavorável a investimentos industriais em energia; as linhas de financiamento disponíveis não são favoráveis aos investimentos em eficiência energética; há excesso de percepção de risco nas novas tecnologias, que indicam aumento na economia de energia; etc.

Numa comparação feita pelo estudo dos projetos brasileiros em eficiência energética na indústria em relação a uma amostra equivalente na União Européia (UE), o diagnóstico informa que, lá, diferente daqui, há incentivos tributários e financeiros para esses projetos; existe intensa divulgação de informações técnicas e econômicas acerca de novas tecnologias energeticamente mais eficientes; há acordos voluntários entre governo e indústria, sobretudo nos segmentos energointensivos; a percepção da problemática energia e sustentabilidade, com as emissões de CO₂, é bastante aguda; dentre outros. Também há semelhanças entre o Brasil e a UE, como, por exemplo, incentivo à participação das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ESCOs) em contratos de performance; incentivos à pesquisa e desenvolvimento; dentre outros.

O estudo ainda sugere iniciativas que tornem o mercado de eficiência energética industrial mais dinâmico; por exemplo, maior divulgação de informações técnicas e econômicas sobre essa área, capacitação de pessoal, incentivos econômicos e financeiros, etc. Entretanto, deve-se reiterar a conclusão mais relevante do estudo: a mudança do foco dos projetos de eficiência energética na indústria. Ainda que a economia de eletricidade não deva ser descartada, o grande efeito desses projetos, a grande área de diminuição da utilização de energia na indústria, está nos sistemas térmicos.

Quanto aos aspectos ambientais propriamente ditos, ainda que, conforme a EPE (2010a), a matriz energética brasileira apresente uma composição de cerca de 46% de fontes renováveis, o crescimento dos combustíveis fósseis nela é notável. A presença do petróleo tem crescido de forma intensa no intervalo de tempo, representativo, dos últimos 18 anos. Ver Fig. 1.6.

Figura 1.6 – Crescimento da oferta de energia por fonte primária: Brasil, 1990-2008
Fonte: (EPE, 2010a)

Uma expressão mais clara do crescimento da parcela fóssil na matriz energética nacional, no intervalo de tempo considerado, pode ser constatada na figura seguinte, na qual, para facilitar sua leitura, as fontes primárias foram condensadas por tipo; isto é, todas as fósseis foram aglutinadas e aparecem como fósseis; a mesma racionalidade foi adotada para a bioenergia, envolvendo os produtos da cana e a lenha; etc. – fontes condensadas. Ver Fig. 1.7.

Figura 1.7 – Oferta interna de energia com as fontes condensadas: Brasil, 1990-2008
Fonte: (EPE, 2010a)

A Fig. 1.7 permite a comparação do crescimento da participação das fontes primárias, condensadas, na matriz energética brasileira a partir de 1990 até 2008, onde se percebe o lento crescimento da hidroeletricidade, a estagnação do urânio, o aumento da participação da

bioenergia e a intensificação dos combustíveis fósseis. Deve-se observar, ainda, que a Fig. 1.7 não contempla as “outras fontes”, que estão presentes na Fig. 1.6 e englobam os resíduos vegetais e industriais utilizados na geração de vapor, reaproveitamento de calor de processo, dentre outros aproveitamentos energéticos. Embora tenham participação ora pequena na matriz energética brasileira, elas também têm apresentado crescimento intenso a partir de 2000.

Dessa forma, a Fig. 1.8 faz uma demonstração da evolução relativa entre as principais fontes, condensadas, expostas na Fig. 1.7, incluindo as “outras fontes” e excluindo o urânio, devido a estagnação sofrida por este no intervalo de tempo da análise. Ver a Fig. 1.8.

Figura 1.8 – Evolução relativa da participação das fontes na matriz energética: 1990-2008
Fonte: (EPE, 2010a)

A Fig. 1.8 esclarece a evolução relativa das fontes primárias na matriz brasileira da oferta de energia, no intervalo de tempo indicado, onde se percebe uma redução relativa das fontes fósseis e o crescimento da participação – também relativa – da bioenergia e das “outras fontes”. Mesmo diante do encolhimento relativo da taxa de crescimento dos combustíveis fósseis, não se deve negligenciar quanto à grande participação deles, como demonstrado na Fig. 1.7. Ademais, o elevado conteúdo energético desses combustíveis (de ciclo geológico) em relação aos energéticos recentes (de ciclo econômico), como a bioenergia, tem representado, até hoje, vantagens econômicas e uso predominantes, passando para segundo plano as suas desvantagens socioambientais.

No contexto dessa análise, igualmente, deve-se argumentar que vários setores, pesadamente usuários de energia, como o sucroalcooleiro, o siderúrgico e o de papel e celulose, de forma progressiva, vêm tornando a bioenergia, tecnológica e economicamente, adequada ao uso. No

universo sucroalcooleiro, as vantagens da sua bioenergia disponível têm crescido a tal ponto que, após suprir suas necessidades energéticas, o setor ainda pode exportar eletricidade derivada daquela.

Além do potencial de eficiência industrial a ser explorado e as questões socioambientais decorrentes do uso da energia acima mencionados, outro fator determinante no estímulo aos projetos de eficiência energética na indústria é o crescimento incessante, e proeminente, dos tributos e encargos sobre a energia, os quais pressionam os custos de produção no Brasil. Em alguns estados da federação, como, por exemplo, no Estado do Rio de Janeiro, o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) da energia chega a ser maior do que o incidente sobre bebidas alcoólicas e cigarros, qualificados como supérfluos, atingindo 30% sobre a demanda. Os custos da energia, no Brasil, já estão comprometendo os resultados de setores mais sensíveis ao poder aquisitivo da população, como, por exemplo, o de alimentos e bebidas.

Os tributos e encargos em energia, no país, apresentam duas fases históricas, acentuadamente distintas: antes e após a Constituição Federal de 1988. Até a Constituição Federal, de 1988, os impostos sobre a energia eram compostos pelo Imposto Único Federal e o incidente sobre operações relativas a combustíveis, lubrificantes, energia elétrica e a minerais energéticos. Dentre estes se destacam a Reserva Global de Reversão (RGR), estabelecida desde o Decreto Nº 41.019, de 26/02/1957, Lei Nº 5.655, de 20/05/1971 e Lei Nº 10.438, de 26/04/2002, a qual prevê a sua extinção em 2010; e a Conta de Consumo de Combustível (CCC), determinada pela Lei Nº 5.899, de 05/07/1973, Lei Nº 8.631, de 04/03/1993 e pela Lei Nº 10.438, a qual prevê esse encargo até 2022. A nova Constituição Federal, por meio do seu Art. 155, permitiu que, no nível dos Estados, o ICMS passasse a incidir sobre a energia, transformando-se, a partir de então, no principal imposto do setor.

Na senda dos tributos e encargos em energia, em 04/03/1993 é aprovada a Lei Nº 8.631, que dispõe sobre a elevação das tarifas para o serviço público de energia elétrica e sua desigualização. Essa lei estabelece que: “no custo do serviço mencionado no parágrafo anterior (fornecimento de energia elétrica), além dos custos específicos dos concessionários públicos e privados, serão obrigatoriamente incluídos os valores relativos aos preços de energia elétrica comprada aos concessionários supridores, inclusive o transporte da energia gerada pela ITAIPU BINACIONAL, os relativos às quotas anuais da RGR, ao rateio dos

custos de combustíveis e às compensações financeiras pela utilização de recursos hídricos devidos por usinas próprias”.

Entretanto, como relata Sássi Júnior (1999), ante a grave crise estrutural do setor de energia elétrica da época, essa lei não foi suficiente para reorganizá-lo: remanesciam defeitos de grande monta, como, por exemplo, descontrole de um grande número de concessionárias estatais, cuja gestão era permeada por correntes políticas, que não conferiam prestígio à produtividade; existência de 23 projetos de “geração” paralisados, que somavam mais de 10.000 MW; outorga de 33 concessões, cujos projetos não haviam sido iniciados; aumento das perdas técnicas e comerciais do fornecimento de energia; etc.

Assim, não havia porque demorar na reestruturação dos setores energéticos e, em 13/02/1995 foi aprovada a Lei Nº 8.987, dispondo sobre o regime de concessão e permissão de serviços públicos previsto no Art. 175 da Constituição Federal. Essa lei abre mais espaço para o aumento de tributos e encargos, ao determinar que: “ressalvados os impostos sobre a renda, a criação, alteração ou extinção de quaisquer tributos ou encargos legais, após a apresentação da proposta, quando comprovado seu impacto, implicará a revisão da tarifa, para mais ou para menos, conforme o caso”. Em 07/07 desse mesmo ano é aprovada a Lei Nº 9.074, estabelecendo normas para outorga e prorrogações das concessões de serviços públicos, a qual especifica que, “a estipulação de novos benefícios tarifários pelo poder concedente fica condicionada à previsão, em lei, da origem dos recursos ou da simultânea revisão da estrutura tarifária do concessionário ou permissionário, de forma a preservar o equilíbrio econômico-financeiro do contrato”.

Em seguida, foram aprovadas as Leis Nº 9.427, de 26/12/1996, instituindo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), na qual foi criada a Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE), e a de Nº 9.478, de 06/08/1997, que dispõe sobre a política energética nacional, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP), complementando, assim, o arcabouço legal do processo de reestruturação dos setores energéticos do país.

Em outro exemplo, a Lei Nº 10.438, de 26/04/2002, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial e recomposição tarifária extraordinária, dentre outras

providências, cria novos tributos destinados ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e à conta de Desenvolvimento Energético (CDE).

E, assim, sucessivamente, os custos da energia no Brasil foram se acumulando. Atualmente, o país tem cerca de 26 tributos e encargos em energia. São formados por tributos, como, por exemplo, Imposto de Renda da Pessoa Jurídica (IRPJ), Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL), Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), Imposto sobre Serviços (ISS), etc. Os encargos constam de itens, tais como, Conta de Consumo de Combustível (CCC), Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), Encargo de Capacidade Emergencial (ECE), Encargo de Serviço do Sistema (ESS), Reserva Global de Reversão (RGR), etc.

Embora muitas dessas obrigações tenham surgido com prazo de vigência determinado; no entanto, as leis ou decretos, que os definiram, foram sendo modificados por novos instrumentos legais, e esses impostos e encargos foram se perpetuando no tempo.

De acordo com Salles (2008), especificamente no setor de energia elétrica, os impostos e encargos alcançaram, no Brasil, a marca de 46,33%, em 2006. Ver a Figura 1.9.

Figura 1.9 – Carga tributária na cadeia do setor elétrico: Brasil, 2006

Fonte: (Salles, 2008)

Na tributação da energia no Brasil, destacam-se duas especificidades. A primeira é o forte viés arrecadatório, em que esses setores se tornaram fonte de grande, e focalizada, base tributária para os três níveis de governo; pois, além dos estaduais e federal, mais explicitamente referidos nos tributos e encargos acima relacionados, não se deve ignorar o municipal, o qual se inclui na distribuição federal e na recepção dos *royalties* do setor de petróleo. Pelo alto custo que agrega ao setor elétrico, na prática, esse viés arrecadatório descaracteriza os princípios fundamentais de que a energia elétrica é um serviço público indispensável para a existência de um mínimo de qualidade de vida em qualquer extrato social, e a modicidade tarifária.

A segunda especificidade dessa tributação é o do tratamento não-isonômico da energia em relação a outros setores essenciais. Como exposto acima, existem alíquotas estaduais elevadas para a energia elétrica de forma geral, podendo ser, em alguns Estados, até, maiores que a de produtos não-essenciais, além da imposição de regime não-cumulativo para apuração de contribuições sobre o faturamento, como ocorre com as do PIS e CONFINS.

A ANEEL (2008) mostra como evoluiu a tarifa média de energia elétrica no Brasil, no intervalo de tempo de 2001 a 2006, especificando, separadamente, por agente de mercado, da oferta e do governo; isto é, considerando o parque de conversão, denominado de “geração”, a transmissão, a distribuição, e os encargos e tributos. Ver a Fig. 1.10.

Figura 1.10 – Evolução da tarifa média de energia elétrica no Brasil: 2001-2006
Fonte: (ANEEL, 2008)

A Fig. 1.10 expõe o aumento da tarifa média de energia elétrica no intervalo de tempo considerado, com o reajuste dos encargos e tributos, indicado. O aumento desses custos da energia elétrica deu-se de forma desconexa, e para cima, em relação à evolução dos demais custos, da inflação e da rentabilidade do conjunto da economia (abarcando os outros setores de atividade) do país.

Em relação à tarifa propriamente dita, antes dos tributos e encargos, Pamplona (2010), por meio de estudo desenvolvido pela Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres (ABRACE), demonstra que, na prática, o consumidor brasileiro paga uma das tarifas de eletricidade mais caras do mundo, ficando atrás apenas da Alemanha; ainda assim, neste país, a população (de alto poder aquisitivo) paga altas tarifas, enquanto a indústria recebe subsídios e incentivos. No Brasil, todos os setores (incluindo a indústria) pagam elevado nível comparativo de tarifa, a qual é maior do que nos EUA, Canadá, França, Inglaterra, México, etc.

Diante do cenário traçado, a eficiência energética é uma necessidade, que emerge das motivações técnicas, econômicas e socioambientais acima explanadas e, adicionalmente,

como fruto de uma nova dimensão ética, moral, a qual, progressivamente, adensa-se no seio da civilização atual. Essa nova dimensão está cada vez mais comprometida com os valores da preservação da vida, da convivência pacífica e de aprazimento do homem com a natureza, da construção e manutenção de uma sociedade saudável e responsável para com a própria qualidade de vida.

Em conjunto com a utilização das energias renováveis e o sequestro de carbono, a eficiência energética é globalmente interpretada como uma das alternativas estratégicas mais eficazes para mitigação das mudanças climáticas e melhoria das condições de vida no planeta. Os seus programas e projetos se difundem pelos hotéis, supermercados, grandes centros de compra, pelas comunidades de baixa renda, iluminação pública, hospitais, indústria, etc.

Outras inquietações do mundo atual também estão presentes na questão energia e sustentabilidade, tais como: aumento das desconfianças geopolíticas quanto às instabilidades política e econômica dos países exportadores de energia, surgimento de incentivos econômicos para substituição de sistemas/processos industriais energeticamente mais eficientes, maior vigilância da sociedade sobre produtos/serviços com flagrantes impactos socioambientais, etc. Na indústria, a energia deixou de ser um simples insumo a ser provido por qualquer um dos seus departamentos internos, tornando-se determinante em termos de competitividade e segurança energética do negócio. Como decorrência, a questão energia e sustentabilidade foi elevada ao nível da alta administração nas empresas industriais. Por conseguinte, sendo este o mais elevado nível de decisão corporativo, passa a ser indispensável um sistema de governança.

A governança corporativa institui o Conselho de Administração, o qual, no desempenho das suas funções, remove a ingerência de idiosincrasias e conflitos entre sócios na gestão do negócio, tendo o papel central no estabelecimento do profissionalismo na gestão empresarial, libertando o empreendimento das desavenças, diversificadas e tradicionais, às vezes, até, de origem familiar, que se imiscuem na administração, erodindo o clima organizacional e o desempenho do negócio. Assim, na governança corporativa, o Conselho de Administração viabiliza e estabelece a relação harmônica entre a propriedade (os sócios ou acionistas) e a administração da empresa.

Analogamente à governança corporativa, com a instituição do seu Conselho de Administração, a governança de energia na indústria institui o Comitê Interno de Governança e Racionalização de Energia (CIGREN), o qual, no desempenho das suas funções, elimina a ingerência dos conflitos interdepartamentais na gestão da problemática energia e sustentabilidade na organização. Esses conflitos resultam de diferentes interesses departamentais, como, por exemplo, de objetivos próprios de orçamento e investimentos, disputas por poder, etc., e também são permeados por idiossincrasias pessoais, evasivas de responsabilidade, dentre outras motivações.

O CIGREN passa a ser o instrumento central da governança de energia na indústria, que estabelece a relação harmônica no contexto das interfaces gerenciais e eleva as questões concernentes à problemática energia e sustentabilidade à alta administração da empresa. Atuando nesse nível organizacional e pertencendo a ele, o CIGREN viabiliza e opera os instrumentos de governança de energia (o “governo” da energia) na indústria.

1.2. Objetivo da dissertação

Objetivando a busca de soluções para a problemática acima traçada, a presente dissertação focaliza seus estudos e pesquisas na eficiência energética na indústria; isto é, nos sistemas e processos industriais. No mundo e no Brasil, a indústria é o maior usuário de energia.

Assim, este trabalho de pesquisa tem o objetivo de criar um modelo de governança de energia para indústria, o qual, para sua completeza e atualidade, contempla a questão energia e sustentabilidade de forma integrada. Esse objetivo engloba a produção de um conjunto consistente de instrumentos (ferramentas) gerenciais, que componha e dê suporte a esse modelo de governança de energia.

Ao desenvolver seu modelo de governança de energia para a indústria, este trabalho está atento ao fato pragmático de que os diversos setores industriais apresentam características e estruturas competitivas diferentes entre si. As próprias empresas atuantes num mesmo setor ou segmento, contêm espécies de tecnologia, processos, produtos, graus de rivalidade, escopo geográfico, cultura e modelo de gestão, que também podem apresentar grandes diferenças

entre si. São assimetrias indissociáveis da variedade de configurações, típicas dos setores e segmentos industriais, e das empresas em geral.

Portanto, para o uso eficaz dos instrumentos gerenciais, que compõem o modelo de governança de energia proposto, essas assimetrias devem ser consideradas.

Inseridos nesse ambiente, os instrumentos gerenciais de governança de energia, estabelecidos no presente trabalho de pesquisa, almejam ser um guia básico, norteador, o qual pode inspirar as empresas industriais interessadas em eficiência energética quanto à concepção, ao planejamento e à implementação das suas políticas e gestão da energia, sob requisitos de sustentabilidade. São instrumentos-guia delimitadores de um modelo de governança de energia para a indústria.

1.3. Metodologia da pesquisa

Objetivando fundamentar a importância da implementação de programas de eficiência energética, inicialmente é feita uma análise sobre as inevitáveis implicações socioambientais dos sistemas energéticos; a evidência objetiva de que, no mundo e no Brasil, a indústria é o maior usuário de energia; e a evolução dos custos da energia, os quais incorporam elevados encargos e tributos, no país. Para essa contextualização, são pesquisadas bibliografia e publicações institucionais reconhecidas, como as da IEA, EPE, ANEEL, etc.

Em seguida, é feita uma revisão bibliográfica acerca da eficiência energética na indústria, em que são estudados vários dos seus autores principais. Outros autores/obras, os quais, embora não tratem diretamente do tema, mas por contribuírem para o esclarecimento de aplicações do mesmo na indústria, também foram estudados. Igualmente, são examinados estudos acerca do conceito universal de governança e de governança corporativa, e feita uma análise da evolução dos respectivos códigos no mundo e no Brasil.

No contexto dessa revisão bibliográfica, é introduzido um resumo acerca da evolução da eficiência energética no Brasil, onde se relatam os elementos significativos do seu marco institucional e do seu mercado; nessa parte, além do PROCEL, do Programa Nacional da

Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), etc., também é sintetizado o marco legal da eficiência energética: lei nº 9.991, de incentivo aos programas de eficiência regulados pela ANEEL, e a lei nº 10.295, conhecida com a lei de eficiência energética do país.

Ao se examinar o desenvolvimento do mercado brasileiro de eficiência energética, constata-se que, em paralelo aos seus indutores de natureza legal, tecnológica e econômica, ele também tem recebido influência sistemática de outros elementos determinantes: legislação ambiental do país; normas de gestão ambiental, como as da série ISO 14.000; avanço da consciência da sociedade quanto às implicações socioambientais da energia; etc. Ante essa evidência objetiva, também é feito um exame sobre o comportamento do mercado autônomo de eficiência energética (MAUFE) do país.

Em seguida, a eficiência energética é definida, estabelecendo-se suas interfaces com as energias renováveis e a sustentabilidade, e aclarados seus objetivos na indústria. A concepção da gestão da energia na indústria também é formulada, juntamente com os seus instrumentos de controle. Na sequência, faz-se uma análise das variáveis, hoje, determinantes da disponibilidade de energia, tais como, desconfiança geopolítica em relação às instabilidades política e econômica dos países exportadores de energia, redução da energia útil dos sistemas energéticos em geral, percepção social crescente das externalidades negativas da energia, etc., as quais têm origem e implicações nacionais e internacionais. Diante desse elevado patamar de complexidade, com seus desdobramentos sobre os custos e a segurança energética, o nível da questão energia e sustentabilidade na empresa industrial é elevado à sua alta administração, demonstrando-se a necessidade de governança para a energia.

Assim, com base nos conceitos de eficiência energética e gestão da energia, é proposto um modelo de governança de energia para a indústria, contemplando requisitos de sustentabilidade. Finalmente, coligindo essas diversas partes do trabalho, são emitidas conclusões e recomendações, as quais dão consistência e incentivam aplicações bem-sucedidas do modelo de governança de energia, proposto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contempla os principais autores da área de eficiência energética na indústria. Ainda que alguns deles tenham publicações mais amplas sobre o tema, para efeito do presente trabalho, foram consideradas as relativas ao setor industrial. Outros autores/obras, os quais, mesmo não tratando diretamente do tema, por contribuírem para o esclarecimento de aplicações do mesmo na indústria, também foram estudados.

Para contextualização da eficiência energética industrial em um sistema de governança de energia, foram estudados autores da área de governança e os principais códigos de governança corporativa no mundo e no Brasil, cujas análises estão incluídas neste capítulo.

Na parte final desta revisão bibliográfica, também é feito um resumo acerca da evolução da eficiência energética no Brasil, onde se relatam os elementos significativos do seu marco institucional e do seu mercado.

2.1. Eficiência energética na indústria

Ao tratar da eficiência energética, Salazar (1992) faz uma interessante provocação para a época da sua publicação, na qual questiona o entendimento do tema como “conservação” ou “racionalização” de energia, e já expõe sobre a falta de definição precisa da primeira expressão sob o ponto de vista termodinâmico; referindo-se ao termo “conservação”, ele exprime que: “não apresenta sentido prático, uma vez que pela Primeira Lei da Termodinâmica a energia sempre se conserva, não havendo porque investir qualquer esforço nesse sentido”. Ele também esclarece que, para uma abordagem mais conveniente do assunto, em lugar da designação “conservação” de energia, “deveriam ser utilizados os conceitos de conservação de disponibilidade, conservação de exergia ou conservação de energia útil”.

Nesse trabalho, está registrada a origem do diagnóstico energético, que foi introduzido pelo PROCEL, em 1987. O projeto precursor de auditoria energética, por sua menção explícita à “auditoria”, provocou desagrado geral nas empresas clientes, as quais se sentiam

desconfortáveis em serem abordadas pelas concessionárias e permissionárias de serviços públicos de energia elétrica da época. As empresas usuárias de energia, tinham a sensação de estarem sendo auditadas. Assim, a abordagem era dificultada. Como alternativa a essa situação, surgiu o diagnóstico energético.

Salazar (1992) expõe acerca das vantagens e desvantagens do diagnóstico energético e esclarece que no final da década de 1980, ele alcançou cerca de 2.300 empresas e, ao mesmo tempo, o PROCEL passava a ter uma visão global da situação do setor industrial relativa à utilização de energia. Na sequência do diagnóstico energético, surgiu o estudo de otimização energética, adotando “uma filosofia de gestão energética” (gestão da energia), cuja metodologia se fundamentou na da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

Em adição a considerações relevantes acerca da gestão da energia sob o ambiente estatizado da sua época; do foco em energia elétrica; da visão deformada em que as demais formas de energia eram percebidas como concorrentes desprestigiadas da eletricidade; da perda de tempo do Brasil em relação às nações industrializadas, onde os programas de eficiência energética se proliferavam rapidamente; etc., Salazar (1992) estabelece uma conceituação clara acerca do diagnóstico energético e do estudo de otimização energética, tanto no nível da empresa como no do setor, com seus fatores e organizações influentes, e suas características de desenvolvimento daquele tempo.

Deve-se observar que, embora essa obra faça menção às primeira e segunda leis da Termodinâmica e ao balanço de exergia, diferentemente de Oliveira Junior (2009), e Milanez e Gallo (1992), mencionados adiante, não há um desenvolvimento mais elaborado da questão da qualidade de energia. Entretanto, o trabalho é compatível com o de Nogueira (2007). Este apresenta o aumento notável da utilização de energia pela sociedade moderna, a dispersão das cargas através de grandes extensões geográficas e, ao mesmo tempo, enormes aglomerações urbanas, requerendo, em consequência, a existência de sistemas energéticos de dimensões e complexidade excepcionais.

Segundo Nogueira (2007), as sociedades primitivas dispunham de sistemas energéticos simples para apoio às atividades humanas, como a lenha disponível nas proximidades do próprio local de uso, eventualmente, complementada por outras fontes, como pequenas quedas d'água e pelo vento. Enquanto a sociedade atual nem chega a conhecer, com

completeza, de onde vêm as formas primárias e secundárias de energia, que ela utiliza: desde os combustíveis fósseis transformados em energia mecânica para mover seus automóveis, até, a eletricidade utilizada nas residências e locais de trabalho, para iluminação, conforto ambiental, conservação de alimentos, etc.

Na mesma linha de raciocínio de Salazar (1992), o artigo qualifica como “ocioso” a busca pela conservação da energia, pois, pela primeira lei da Termodinâmica, essa condição já está assegurada. Nogueira (2007) levanta a questão da degradação da energia pela segunda lei, citando exemplos, como o calor liberado pelos condensadores das termelétricas e pelas torres de resfriamento dos sistemas de ar condicionado, as perdas nos motores elétricos, etc.

Nesse contexto, o artigo esclarece a existência de perdas irreversíveis e intrínsecas aos sistemas energéticos, as quais decorrem de imposições de ordem técnica e econômica, devendo ser mantidas em níveis mínimos, toleráveis, qualificando suas causas. Em seguida, o autor classifica os mecanismos de fomento à eficiência energética em dois grandes perfis: mecanismos de base tecnológica e de base comportamental.

Citando PROCEL (2006) e limitando-se à eletricidade, o autor menciona que, abarcando todos os setores de atividades, mas com destaque para o residencial, o Brasil poderia economizar de 15% a 30% de energia elétrica, simplesmente, pela mudança de hábitos da população, tais como: preocupar-se sistematicamente com o ajuste dos termostatos das geladeiras, uso do ferro elétrico de passar e máquinas de lavar, etc.

O artigo conecta a “racionalização” de energia com o conceito de eficiência energética, expondo que desta resulta a completa disponibilidade dos mesmos bens/serviços finais produzidos e no mesmo grau de qualidade, utilizando-se menor quantidade de energia. Esse fenômeno decorreu, exclusivamente, da racionalização da energia de entrada ao longo do uso final respectivo, acrescentando que essa racionalização equivale a usinas virtuais de energia.

É feito um resumo sobre a evolução do marco institucional no Brasil e no mundo concernente ao uso racional da energia; descreve sobre o aparecimento e a trajetória dos programas PROCEL e CONPET, além dos PEEs gerenciados pela ANEEL; etc.

Nogueira (2007) faz considerações acerca do valor da cogeração na indústria para a eficiência energética em setores, tais como, químico, têxtil, alimentos, sucroalcooleiro, etc.; e, citando IEA (2006), indica que para cada US\$1,00 investido em eficiência energética se economiza US\$2,00 em sistemas de conversão e distribuição de energia. Finalmente, o autor chama a atenção para um desenvolvimento energético mais saudável, o qual não se deve fundar apenas numa visão obsessiva de aumento da oferta.

Observa-se, assim, o avanço dessa obra em relação a Salazar (1992) e a sua compatibilidade com PROCEL (2006, 2007), além de apresentar relações de conteúdo com as de Patterson (1996) e Oliveira Junior (2009) referenciados adiante.

PROCEL (2006, 2007) são obras intimamente relacionadas. Em PROCEL (2006), a racionalização de energia é tratada como “conservação” de energia e se processa por duas vertentes principais: a mudança de hábitos e a eficiência energética. A eficiência energética é definida em função dos aspectos técnicos e tecnológicos; isto é, pelo emprego de tecnologias de equipamentos, processos e sistemas energeticamente mais eficientes, além de incorporarem os aspectos socioambientais relacionados à energia.

Essa obra também questiona a concepção tradicional de “conservação” de energia. Por exemplo, ela indaga sobre a efetividade da preocupação em “conservar” energia, se a primeira lei da Termodinâmica assegura que a energia não se cria nem se destrói, permanecendo constante no universo.

PROCEL (2006) expõe que a operacionalização da eficiência energética exige, necessariamente, uma estrutura gerencial mínima, compatível com a da empresa, devendo abranger atividades, tais como, identificar, quantificar, modificar a situação existente e acompanhar a implementação, as ações corretivas e os resultados alcançados. As tarefas de identificar e quantificar são definidas como essenciais na auditoria energética. Dessa forma, para a eficácia do processo de eficiência energética, é indispensável diagnosticar e conhecer a realidade energética da instalação industrial em causa para, então, estabelecer a visão e o relato das necessidades, definir as prioridades, implementar os projetos de redução do uso (e de perdas) de energia e, finalmente, medir e acompanhar os resultados.

Citando Nogueira (1990), a obra apresenta as condições e os métodos aplicáveis à realização da auditoria energética, cuja sequência de atividades passa pelo levantamento de dados gerais da empresa em causa, estudo dos fluxos de materiais e produtos, caracterização do consumo energético, avaliação das perdas de energia, elaboração dos estudos técnico-econômicos atinentes às alternativas a serem implementadas, etc., alcançando a utilização dos diagramas de Sankey e o formato do relatório de registro de resultados.

Numa abordagem similar à de Rajan (2003) referenciado adiante, PROCEL (2006) busca responder a questões essenciais, respeitantes à eficiência energética, tais como:

- Quanta energia está sendo utilizada?
- Quais sistemas estão utilizando mais energia?
- Com que eficiência se está utilizando energia?

A obra desenvolve a lei da conservação da energia, visando a sua aplicação na quantificação de fluxos energéticos, elaboração de balanços energéticos, determinação das perdas e da eficiência de sistemas energéticos (η), estabelecendo relações entre o efeito útil e a energia utilizada pelo sistema. Ver a Fig. 2.1, adaptada dessa obra.

Figura 2.1 – Sistema energético genérico
Fonte: (PROCEL, 2006)

Nessa figura, a energia utilizada é a necessária para o funcionamento normal do sistema energético representado, cuja eficiência (η) é calculada por:

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{utilizada}}} = \frac{E_{\text{utilizada}} - \text{Perdas}}{E_{\text{utilizada}}} = 1 - \frac{\text{Perdas}}{E_{\text{utilizada}}} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Ainda que haja consideração às perdas e, portanto, à segunda lei da Termodinâmica, vê-se que a Eq. 2.1 se fundamenta na primeira lei. São feitos esclarecimentos acerca das limitações presentes nas transformações energéticas que envolvem calor, abrindo caminho para a questão da qualidade de energia, embora esta seja levantada apenas de forma restrita.

No que se refere à justaposição da cadeia de valores da energia com a socioambiental, PROCEL (2006) inova significativamente o conceito de eficiência energética. Essa inovação se consubstancia no seguinte:

- reconhecimento da problemática dos custos socioambientais decorrentes da conversão e utilização de energia, fazendo uma descrição sobre o crescimento e aglomeração, contínuos, da população mundial, com demandas cada vez maiores de energia, exigindo a formulação de diferentes estratégias de desenvolvimento sustentável para distintos países;
- ênfase na problemática da poluição ambiental, com o estresse provocado sobre os ecossistemas remanescentes, além do desperdício de energia elétrica, o qual, no caso do Brasil, informa ser da ordem de 20%.

Fundamentado e sendo uma continuidade de PROCEL (2006), PROCEL (2007) desenvolve métodos para implementação da lei de eficiência energética, através da realização de projetos de eficiência em sistemas mecânicos acionados por motores elétricos, iluminação, ar condicionado, ar comprimido, etc.

Como instrumentos de gestão da energia, essas obras citam a auditoria e o diagnóstico energéticos, a emissão e publicação dos respectivos relatórios, a criação do referencial analítico, a sistemática de avaliação de resultados, o treinamento de pessoal e a contínua retroalimentação das informações e indicadores produzidos.

Também inspirados na primeira lei da Termodinâmica, com o conceito de processo reversível, Goldemberg e Lucon (2008) definem a eficiência das máquinas térmicas (η) numa construção análoga à de PROCEL (2006).

Com o objetivo de descortinar o potencial existente de eficiência energética, essa obra apresenta cinco potenciais disponíveis. O primeiro é o “potencial teórico”, representado pela

eficiência que pode ser atingida em base termodinâmica pura, através da qual os serviços decorrentes do uso da energia, como, por exemplo, o ar condicionado e a produção industrial, não são reduzidos, mas a demanda por energia e as perdas são minimizadas por meio de processos de substituição, reutilização de materiais e calor, etc. O segundo é o “potencial técnico”, que resulta da utilização de aparelhos e equipamentos energeticamente mais eficientes, disponíveis no mercado para aquisição. Em seguida, vem o “potencial de mercado”, que tem relação direta com os preços da energia, as preferências dos consumidores e as políticas públicas voltadas à energia. Do ponto de vista econômico, esse potencial reflete os obstáculos e imperfeições de mercado, que fazem prorromper desafios próprios do ambiente de negócios, e tecnológicos, provocando a evolução do potencial técnico citado.

Em quarto lugar, vem o “potencial econômico”, que representa a economia de energia alcançada na hipótese de que todas as adaptações e substituições sejam feitas, utilizando-se as tecnologias mais eficientes e economicamente compatíveis com os preços da energia no mercado. Para que esse potencial seja realizado, faz-se necessário um adequado ambiente competitivo entre investimentos em oferta e demanda de energia, além de que as informações indispensáveis ao processo de tomada de decisão também estejam disponíveis.

Finalmente, vem o “potencial social”, o qual representa as ações de eficiência energética, impostas pelas externalidades negativas produzidas pelos processos de conversão/transmissão/distribuição/uso da energia, como a poluição do ar, com seus danos à saúde humana, e outros impactos socioambientais. Ao serem ponderadas nos custos da energia, essas externalidades despertam e viabilizam, economicamente, esse potencial.

A obra indica um potencial global de eficiência energética de cerca de 37% e que, nos próximos 20 anos, nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), sejam conseguidas melhorias entre 25%-35%; nos países em desenvolvimento, estimam-se ganhos maiores, entre 30% e 45%.

Em paralelo, deve-se ressaltar que essa obra acrescenta uma contribuição elevada no despertar da questão socioambiental implícita na energia e suas relações com um modelo sustentável de desenvolvimento humano. Quanto ao conceito dos potenciais de eficiência energética, Goldemberg e Lucon (2008) são congruentes com EPE (2007) referenciada adiante.

Avançando na perspectiva termodinâmica, Patterson (1996) introduz a preocupação com a qualidade de energia num modelo de análise energética, que contempla unidades de energia diferentes, respeitantes a fontes primárias e formas secundárias de energia, distintas, as quais, ainda, com diferentes usos finais, produzem bens e serviços também dessemelhantes. Em condições de análise permeadas por tantas, e tão distintas, variáveis, será que as medidas de eficiência energética serão definidas de forma correta? Essa é a questão central desta obra.

A dificuldade da definição de eficiência energética é abordada e se ressalta, principalmente quando ela é definida de forma ampla como trabalho útil/energia de entrada requerida. Essa interpretação da eficiência energética, que está baseada na primeira lei da Termodinâmica, torna-se frágil quando os efeitos ou produtos finais não sejam medidos em termos de trabalho; por exemplo, podem ser mensurados como preços de mercado, ou como a razão da utilização total de energia de um país pelo seu PIB (que também é adotada como medida de eficiência energética) ou a razão contrária (empregada como dimensão da intensidade energética), etc.

Destarte, são apresentados quatro tipos de indicadores a serem adotados na análise energética: os indicadores termodinâmicos, os físico-termodinâmicos, os econômico-termodinâmicos e os econômicos.

Os indicadores termodinâmicos são aqueles especificamente derivados da Termodinâmica. Podem ser constituídos por razões ou proporções e representam medidas especializadas do uso de energia em relação a um processo ideal. Segundo o autor, os indicadores termodinâmicos são de grande atratividade científica e tecnológica, pois expressam a eficiência energética em termos de “função de estado” de um dado processo no contexto de um ambiente particular, o qual, por sua vez, é definido em função de propriedades termodinâmicas, tais como, temperatura, pressão, composição química, etc. No uso desses indicadores, é comum que a eficiência energética seja definida em termos da entalpia, fisicamente interpretada pela primeira lei da Termodinâmica.

Aqui, são feitas observações relevantes acerca das limitações dessa lei, em termos da eficiência “entálpica” como medida da totalidade da energia que permeia o processo. Se, por exemplo, uma lâmpada incandescente, com rendimento de apenas 6% na conversão da eletricidade em luz, desperdiça os outros 94% na forma de calor irrecuperável (energia degradada) no ambiente, de acordo com a primeira lei da Termodinâmica, a qual estabelece a

conservação da energia, a eficiência “entálpica” foi mantida. Nesse exemplo, observa-se a limitação fundamental da primeira lei ao não contemplar as diferenças expressivas de qualidade, embutidas nos dois tipos de energia final referidos, e entre estes e a inicial (energia elétrica).

Em seguida, o autor estabelece as vantagens e as limitações de cada um desses indicadores. À semelhança de Oliveira Junior (2009) mencionado adiante, no que se refere à qualidade de energia, Patterson (1996) esclarece que o método exergético é o que fornece resultados realistas, pois contabiliza a degradação da energia ocorrida nos processos reais.

Diante das vantagens e restrições apresentadas para cada um dos indicadores, o artigo aclara que os termodinâmicos são os mais seguros, pois, por exemplo, uma eficiência de 20% de um determinado processo em 1960, medida pela primeira lei da Termodinâmica, permanece com esse mesmo valor em qualquer tempo futuro para o mesmo processo e condições. Essa característica é igualmente válida para a eficiência exergética, ponderando-se os balanços de energia e entropia (combinação das primeira e segunda leis da Termodinâmica). Entretanto, o autor indica que, no nível da análise energética fundamental, de forma generalizada, persiste a definição de eficiência energética (η) de acordo com:

$$\eta = \frac{W_f}{E_i} = \frac{Bens / Serv_f}{E_i} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

onde: W_f é o trabalho útil, representado pelos bens e/ou serviços finais produzidos ($Bens/Serv_f$)

E_i é a energia inicial, de entrada, necessária para o desenvolvimento do processo ou sistema

O artigo esclarece acerca da dificuldade de se obter medidas exatas de eficiência energética em sistemas econômicos complexos, nacionais, nos quais participam diferentes fontes, formas e usos finais de energia, alertando para o fato de que, nesses sistemas, as medidas (ou indicadores) sob interesse devem ser, preventivamente, contabilizadas e ajustadas em termos de qualidade de energia; isto é, de exergia.

Ao demonstrar a importância da qualidade de energia na contabilidade energética, Patterson (1996) avança significativamente em relação a Salazar (1992), a Goldemberg e Lucon (2008) e a PROCEL (2006), apresentando ampla compatibilidade com Nogueira (2007) e uma forte conexão com Oliveira Júnior (2009) e outros autores mencionados adiante. Patterson (1996) é uma continuidade de Patterson (1983), onde este autor, por meio do método estatístico (e não do exergético), desenvolve a questão central da qualidade de energia, oculta nas medidas de eficiência energética.

Na prática da análise e do planejamento energéticos, é comum que a energia e a eficiência energética sejam expressas em termos de entalpia. Ante a problemática acima traçada, pelo fato dessas dimensões não ponderarem as diferentes qualidades presentes em distintas fontes e formas de energia utilizadas, variadas espécies de usos finais e diferentes bens/serviços produzidos, não é surpreendente que muitas das estatísticas disponíveis contenham informações equivocadas.

Ante essa evidência, Patterson (1983) propõe uma metodologia de cálculo da energia e da eficiência energética num universo, que se estende desde um simples processo de conversão até complexos sistemas econômicos. O primeiro passo é identificar as fontes primárias e formas secundárias de energia utilizadas na entrada (pacote de energia de entrada), os usos finais e os bens/serviços produzidos na saída do sistema/processo sob interesse. O segundo é estabelecer a relação entre a energia de entrada e os bens/serviços finais, por meio de rotas de conversão, as quais podem apresentar múltiplas opções (implicando solução por regressão linear múltipla), devendo, portanto, ser estabelecidas em fluxogramas adequados. Finalmente, como último passo, a metodologia prevê a identificação e a contabilidade, em unidades de entalpia, de toda a energia, tanto direta como indireta, presente em cada rota de conversão adotada.

Face à extensão dos sistemas/processos que podem estar envolvidos e a natureza estatística do método, o artigo esclarece que, objetivando medidas finais confiáveis de eficiência energética, o analista deve acautelar-se, tomando cuidados especiais, quanto ao seguinte: exatidão na especificação do pacote de energia de entrada e dos bens/serviços produzidos, considerando suas formas de uso; definição das rotas de conversão; e adoção de indicadores de eficiência reconhecidos para as tecnologias disponíveis. Com essa multiplicidade de variáveis presentes

na metodologia, é introduzida a técnica de regressão linear múltipla para solução do problema.

A metodologia proposta pelo autor permite exprimir diferentes fontes primárias e formas secundárias de energia em termos de uma escala, que classifica as respectivas qualidades de energia. Os coeficientes de qualidade de energia auxiliam na correção de eventuais defeitos de planejamento energético baseado em estatísticas derivadas de cálculos convencionais de entalpia. Além da versatilidade, poder converter energia de entrada e saída do sistema/processo, com seus diferentes produtos finais, para unidades comuns de energia, é outra vantagem dessa metodologia. Ela é uma ferramenta de grande utilidade para a análise energética e a tomada de decisão dos formuladores de políticas públicas.

Patterson (1983) estabelece uma visão ampla da questão da qualidade de energia, com aplicação extensa, a qual pode incluir, até, um sistema de produção nacional, utilizando o método estatístico (regressão linear múltipla). Pela grande extensão da aplicação e a natureza estatística do método, Patterson (1983) produz indicadores amplos, nacionais, com largos limites de tolerância, apresentando analogia com o MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) (2005), o qual também constroi medidas equivalentes (em nível Brasil), relativos à energia útil.

Na sua metodologia de balanço de energia útil, MME (2005) define a energia final como aquela fornecida na entrada do setor ou sistema de conversão/produção sob interesse; enquanto que, a energia útil é aquela quantidade de energia “gerada” pela final, antes referida, num determinado setor e aplicada a um uso final específico.

Essa publicação ainda define os diversos setores usuários, em nível nacional, de acordo com o balanço energético nacional e, no caso da indústria, são classificados e contemplados 22 setores industriais, com seus segmentos, como o siderúrgico, incluindo ferro-gusa e aço, e ferro ligas; papel e celulose; cimento; alimentos e bebidas; química; sucroalcooleiro; etc. Quanto aos usos finais, foram estabelecidos sete: força motriz, calor de processo, aquecimento direto, refrigeração, iluminação, eletroquímica e outros usos. Na sequência, também são especificadas 18 fontes e formas de energia de entrada, tais como, o gás natural, os produtos da cana, a eletricidade, o carvão vegetal, a gasolina, o gás liquefeito de petróleo (glp), etc.

Com base em estudos de organizações de ensino e pesquisa, como o Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE/USP), o PROCEL, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE); de organizações setoriais representativas; etc., MME (2005) estima os coeficientes de distribuição da energia final nos diversos setores e segmentos citados; e, por meio dos fabricantes de equipamentos e sistemas, dos fornecedores de tecnologia e da bibliografia especializada, são caracterizadas as tecnologias disponíveis e estimados os coeficientes de eficiência energética média dos sistemas/processos de suporte aos usos finais aludidos.

Com esses dados de entrada e programas específicos de computador, de forma análoga à de Patterson (1983), MME (2005) estabelece os coeficientes médios de eficiência no balanço de energia útil nacional, por setor e uso final. Quanto aos bens/serviços finais produzidos, preconizados na metodologia expressa por aquele autor, MME (2005) admite a premissa de que, ao se ponderar os usos finais nos distintos setores e segmentos da indústria, automaticamente, aqueles elementos estão contemplados.

Com a metodologia adotada e abrangência nacional, os indicadores apontados em MME (2005) têm pouca precisão. No exemplo que se segue, são demonstrados os rendimentos de motores estacionários de grande porte mais utilizados no setor energético e naqueles propícios à cogeração e à autoprodução de energia, como os de papel e celulose, sucroalcooleiro, etc. Ver a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Rendimento e aplicação de motores estacionários a combustíveis

combustível	setores de aplicação	rendimento energético: η
gás natural	setores energético, papel e	0,48
óleo diesel	celulose, sucroalcooleiro,	0,48
óleo combustível	metais não ferrosos	0,48
gasolina		0,28
bioetanol	todos os demais setores	0,34
óleo diesel		0,43

Fonte: MME, 2005

Na Tabela 2.1, verifica-se a pouca precisão dos indicadores em que, por exemplo, motores de grande porte a óleo combustível e a gás natural apresentam o mesmo rendimento. Consta-se como esses indicadores amplos, nacionais, forneceriam informações distanciadas das condições operacionais de uma unidade industrial, particularmente. Em MME (2005) vê-se a folga dos limites de tolerância, típica dos indicadores médios estimados com amplitude nacional, abrangendo setores/segmentos industriais amplos e distintos, com características operacionais díspares, etc. Essa constatação também é óbvia em Patterson (1983).

Considerar esse aspecto típico dos indicadores de eficiência nacionais é de grande relevância quando se busca aplicação na indústria. Nesta, deve-se levar em conta a multiplicidade de usos finais e de tecnologias disponíveis na planta industrial de interesse, além dos diversificados bens e serviços produzidos. A aplicação direta dos indicadores nacionais a um setor/segmento ou unidade industrial, especificamente, poderá trazer equívocos de grande monta no planejamento energético da instalação.

MME (2005) também reúne indicadores de eficiência combinados entre diversos setores e usos finais, registra a evolução positiva deles ao longo das décadas de 1980 e 1990, concluindo com o aumento do rendimento verificado na indústria brasileira em termos de energia útil, no intervalo de tempo de 1984 (quando foi feito o primeiro balanço) a 2004.

Numa abordagem diferente das de Patterson (1983) e MME (2005), Oliveira Junior (2009) trata da análise exergética e termoeconômica de processos. Com caráter físico e matemático, estruturado, esse autor aprofunda os conceitos de exergia, qualidade e eficiência, em aplicações que ressaltam o potencial de utilização do método exergético na avaliação e otimização sustentável da energia, incluindo eficiência de conversão, custos de produção e impactos ambientais.

Valendo-se de tal contexto, torna-se possível aprofundar e esclarecer o conceito de qualidade de energia, conforme já explicitamente tratado por Patterson (1983, 1996), e Milanez e Gallo (1992) referidos adiante. Esse conceito é essencial na determinação da eficiência de sistemas/processos industriais ao ponderar, em conjunto, as primeira e segunda leis da Termodinâmica.

O autor define a qualidade de energia como o potencial ou capacidade, máximos, de uma fonte ou forma de energia provocar mudanças, transformações, ou realizar trabalho,

conduzindo, no final, ao resultado econômico e ambiental. Essa qualidade de energia é definida como exergia. Fazendo considerações físicas sobre processos reversíveis e reais, o autor estabelece a visão prática da existência das irreversibilidades, demonstrando o conceito, e a presença, da entropia. Com essa evidência, fica demonstrada a impossibilidade de conservação da exergia; esta diminui à medida que a entropia se manifesta e representa uma forma de expressão da degradação da energia.

A exergia específica também é aclarada como função de propriedades de dois estados termodinâmicos: um em que o fluxo mássico se encontra e o outro como aquele em que o fluxo mássico está em equilíbrio com o meio ambiente (estado de referência). Então, a exergia específica constitui uma propriedade termodinâmica especial, função de dois estados termodinâmicos, cujo valor representa um potencial de realização de trabalho. Não se considerando os efeitos nucleares, elétricos, magnéticos e de tensão superficial, a exergia é constituída de quatro componentes: as exergias cinética, potencial, física e química. Ver a Fig. 2.2, reproduzida do autor.

Figura 2.2 – Exergia total e suas componentes
Fonte: (Oliveira Junior, 2009)

Na Fig. 2.2, observa-se que a exergia química é a maior componente da exergia total. Dessa forma, já se visualiza a importância da escolha dos combustíveis a serem utilizados nos sistemas/processos industriais; essa escolha será um elemento essencial para a qualidade de energia e, em consequência, para a eficiência energética na indústria. Citando Kotas (1995), Oliveira Junior (2009) expressa a relação física (ϕ) entre a exergia química e o poder calorífico inferior (PCI) dos combustíveis normalmente utilizados na indústria.

Os conceitos de potencial termomecânico e termodinâmico, e suas relações com as tecnologias disponíveis na unidade industrial são plenamente desenvolvidos. A equivalência do balanço de exergia com a lei da degradação da energia também é esclarecida.

Após desenvolver os fundamentos do método exergético e, numa perspectiva mais ampla, da análise exergética e termoeconômica de processos, em combinação com outros indicadores de desempenho exergético ambiental e de sustentabilidade de sistemas/processos de conversão de energia, o autor faz aplicações em plantas de conversão termomecânica, com ciclo combinado e de cogeração ou trigeração; unidade produtora de acetaldeído; produção de bioenergia da cana-de-açúcar, incluída a produção de eletricidade a partir de coprodutos dessa biomassa; sistemas aeronáuticos; dentre outros.

Oliveira Junior (2009) traz revelações fundamentais. Por exemplo, a amplidão das variáveis de pressão, temperatura, grau de irreversibilidades presente nos sistemas/processos sob interesse, as quais, por sua vez, são dependentes das tecnologias disponíveis, têm influência decisiva no grau de destruição de exergia e, por conseguinte, na qualidade de energia na indústria. O estudo demonstra, inclusive, que, em função da maior ou menor eficiência operacional, os resultados, quer sejam os de realização de trabalho ou de poluição ambiental, podem ser significativamente alterados (comprometidos). Essa revelação corrobora evidência apontada anteriormente de que deve haver cautela na utilização dos dados genéricos, amplos, nacionais, preconizados, por exemplo, em Patterson (1983) ou MME (2005), pois as tecnologias de suporte disponíveis aos usos finais e os modelos de gestão operacional adotados na unidade industrial sob interesse são determinantes da qualidade de energia e, portanto, da eficiência energética da instalação como um todo.

Em congruência com Oliveira Junior (2009), Milanez e Gallo (1992) demonstram as diferenças entre a eficiência medida pela primeira lei da Termodinâmica (η) e pela segunda lei (ϵ). Em alguns casos elas podem ser muito próximas ou, até, iguais, enquanto que em outros podem apresentar valores bastante díspares. Ver Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Eficiências medidas pelas primeira (η) e segunda (ε) leis da Termodinâmica

sistema/equipamento	η	ε
usina termoeletrica (200 MW)	0,41	0,40
motor elétrico (5,0 HP)	0,70	0,70
aquecedor de água elétrico	0,93	0,08
pequena estufa elétrica	0,60	0,10
motor diesel (20000 HP)	0,40	0,40
caldeira (200 t/h)	0,90	0,50
turbina a vapor (50 MW)	0,90	0,85
sistema de cogeração (10 MW)	0,75	0,33
ar condicionado (COP 2,5)	-	0,17
bomba de calor (COP 3,5)	-	0,60

Fonte: Milanez e Gallo, 1992

A Tabela 2.2 aclara, por exemplo, o alto rendimento da eletricidade em motores elétricos (força motriz), que são densamente aplicados nos sistemas de acionamento mecânico na indústria, em que as eficiências, pelas primeira e segunda leis da Termodinâmica, além de serem elevadas, são iguais. Esta evidência deve-se ao fato da alta qualidade da eletricidade como forma secundária de energia. Atualmente, em motores de alto rendimento, tanto η como ε podem ter eficiência de até 95%. Entretanto, é marcante a inadequação da eletricidade para ser utilizada em aquecimento; o seu rendimento η cai para 60%, enquanto ε , que considera a degradação da energia, pode cair para menos de 10%.

Como ainda se observa na mesma tabela, para usos finais que utilizem calor, os combustíveis líquidos ou sólidos apresentam melhor rendimento e adequação, induzindo, em consequência, a uma análise mais apurada da qualidade de energia quando se trata da indústria, pois esta é intensa em sistemas térmicos.

Segundo Milanez e Gallo (1992), tratando-se de eficiência energética na indústria, as razões identificadas para as diferenças registradas na Tabela 2.2 podem ser rapidamente percebidas quando se considera uma planta de conversão para fornecimento de potência, a qual pode ter a dimensão de uma UTE de 1000 MW, um sistema de cogeração ou, até, um pequeno gerador de vapor integrado a um ciclo termodinâmico simples para fornecimento de calor de processo

de baixa temperatura. Nesses sistemas é comum se associar as perdas energéticas àquelas que ocorrem no condensador. Entretanto, as principais perdas de energia já ocorreram antes do fluido de processo alcançar o condensador: elas aconteceram na câmara de combustão ou no interior dos geradores de vapor onde muita entropia já foi produzida pelas irreversibilidades das reações químicas produzidas na conversão da energia química do combustível em calor (destruição de exergia química) e nas demais irreversibilidades dos sistemas/processos (destruição de exergia física), que dependem das tecnologias disponíveis como mencionado anteriormente. Na prática, até chegar no condensador, grande parte da energia já foi degradada (destruição de exergia) por conta da entropia.

Mesclando a visão densamente tecnológica acima tratada com outra mais gerencial, de acordo com Eastop e Croft (1990), a eficiência energética está contida numa concepção mais ampla de gestão da energia, abarcando quatro áreas principais de influência. A primeira trata da redução dos custos da energia por meio de negociações tarifárias, na qual não há redução do uso energético, apenas de custos. Nessa área, os autores expõem sobre as diversas fontes primárias e formas secundárias de energia, como o óleo combustível, o gás natural, a eletricidade, etc., com suas alternativas de negociações no mercado. Eles também consideram que, apesar da estrutura tarifária não suscitar, necessariamente, alterações na demanda de energia, no entanto, pelo fato dela apresentar opções variadas de preços em horários de pico (e fora de pico) de demanda, terminará por sugerir um modelo diferente de uso, podendo levar a um menor custo final da energia.

A segunda área de influência considerada é a racionalização do uso da energia na planta industrial. Nesse caso, faz-se necessário que o termo “racionalização de energia” seja de uso comum, pois, segundo os autores, é normal que ele surja apenas no ambiente em que a gestão da energia está em pauta. Nessa condição, as questões relacionadas à visão, ao planejamento e à implementação de ações de eficiência energética emergem de uma conscientização mais apurada acerca da necessidade de se economizar energia, que extrapola a primeira ideia dessa economia baseada unicamente no fator custo, ainda que este também seja contemplado.

Essa racionalização pode dar-se por medidas simples de redução da demanda energética, como, por exemplo, desligar equipamentos no momento certo, não se permitindo que operem em vazio; fechamento completo de válvulas em pontos específicos do processo, refletindo uma visão operacional integrada; intolerância quanto a vazamentos de vapor, gás, ar

comprimido, etc; melhoria nos sistemas de isolamento dos elementos de contenção e transporte de energia; etc. São fatores comandados por um aumento da consciência quanto à economia de energia e de uma gestão dos sistemas/processos (ainda sem alteração destes) mais efetiva quanto ao controle dos custos respectivos. Como resultado, a eficiência energética da planta industrial aumenta.

A terceira área de resultados é a que trata do aumento da eficiência energética pela melhoria dos processos industriais e da estrutura de gestão. Nessa hipótese, os autores consideram haver uma estrutura de gestão, que não se preocupa apenas com a prática das melhorias acima aludidas e o gerenciamento dos custos mensais da energia, mas, também, com a realização de atividades de engenharia de projeto e de construção e montagem para introdução de instrumentos de medição e teste nos sistemas/processos (controle de processo), permitindo que os fluxos e usos finais de energia da planta sejam medidos e monitorados. Essas ações levam à prática de auditorias energéticas, as quais, por sua vez, conduzem à análise energética sistemática da unidade de produção, resultando numa gestão competitiva da energia, com redução dos custos operacionais e aumento da produtividade.

Nessa estrutura mais robusta de gestão da energia, os autores registram que já há espaço para se introduzir indicadores e referencial analítico, contendo objetivos de melhoria contínua da eficiência energética e inclusão de elementos de gerenciamento, como a auditoria energética acima mencionada e a realização de diagnósticos energéticos periódicos, emissão de relatórios, avaliação de resultados e retroalimentação. Nessa perspectiva, a estrutura de gestão da energia na planta industrial se intensifica.

Finalmente, a quarta área de influência é a que determina o aprofundamento da racionalização de energia pela atualização ou substituição de sistemas/processos industriais. Essa forma de atuação evidencia uma estrutura de gestão da energia de alto nível, com elevado poder de decisão na empresa, implicando realização de investimentos, estabelecimento de taxas e tempo de retorno, grau de interferência das obras na capacidade de produção da planta, etc.

Como se verifica, as áreas consideradas como decisivas para a gestão da energia visam diretamente aos custos energéticos, à produtividade e à competitividade da planta industrial. No entanto, além desses aspectos, os autores também reconhecem a importância de outros, mais indiretos e subjacentes, como a cultura dos administradores quanto aos tipos de produtos

ou serviços fornecidos, a motivação e o treinamento do pessoal em relação à eficiência energética, etc.

Na linha de análise da eficiência energética respeitante, especificamente, à utilização de energia elétrica pela indústria, Jaccard, Nyboer e Fogwill (1993) buscam evitar a armadilha tradicional de se focalizar apenas em motores elétricos de alto desempenho, acrescentando, nessa análise energética, os seguintes aspectos:

- ainda que a mensuração da eficiência dos motores elétricos seja essencial, deve-se considerar que eles acionam bombas, compressores, ventiladores, transportadores, serras, refinadores, trituradores, dentre uma vasta gama de equipamentos mecânicos, cuja eficiência também é decisiva para a do conjunto da unidade industrial;
- os motores elétricos acionam esses equipamentos mecânicos por meio de conexões, tais como, sistemas de eixos de transmissão de potência, correias, engrenagens, redutores, dentre outros componentes dos sistemas mecânicos, em que o desempenho de cada um, individualmente, é determinante para a eficiência do conjunto;
- não obstante o controle eletrônico de processo para regulação automática de velocidade, adequação de vazão, tensão, corrente elétrica, rotação de motores/bombas, etc., seja essencial, seu desempenho depende do regime de carga;
- a mensuração da eficiência energética quanto à utilização da energia elétrica, nesses casos, deve ser do tipo “dinâmica”, isto é, ponderando não apenas a eficiência ante os equipamentos e respectivas tecnologias em uso – denominada de eficiência energética “estática” –, mas que, essas medidas devem ser combinadas com as atinentes às tecnologias emergentes (que devem ser pesquisadas), as quais, embora, casualmente, não estejam disponíveis na planta industrial sob interesse, possam vir a sê-lo – eficiência energética “dinâmica”.

De acordo com essa concepção, as medidas agregadas de eficiência energética, com ênfase nos motores elétricos, são pouco significativas; necessitam ser desagregadas em função dos sistemas/equipamentos conectados, e das tecnologias em uso e emergentes.

O artigo ainda insere a mensuração da eficiência energética num contexto de aplicação de programas de gestão da energia do lado da demanda (GLD), conferindo um caráter de

gerenciamento da energia como negócio, em adição aos aspectos técnicos, econômicos e comportamentais apresentados, por exemplo, por Nogueira (2007). Conquanto os desdobramentos da concepção deste, e de outros autores, repercutam-se em ação gerencial ampla, Jaccard, Nyboer e Fogwill (1993) tratam a GLD como condição básica, e de forma explícita, na sua definição de potencial total, viável, de eficiência energética na indústria.

Além de ser compatível com Nogueira (2007) e EPE (2007) referida adiante, os autores evidenciam que, na prática, o potencial total de eficiência energética industrial, respeitante à utilização de eletricidade, é uma função das alterações estruturais e de processos, sendo estas consideradas sob uma visão bem mais ampla do que a focalizada predominantemente nos motores elétricos de alto desempenho e respectiva instrumentação de controle. O artigo ainda recomenda que a mensuração da eficiência energética industrial seja feita de forma dinâmica; isto é, contemplando as tecnologias atuais, em uso, e as potencialmente disponíveis.

Em analogia com Nogueira (2007), Martins (1999) define a eficiência energética em termos das primeira e segunda leis da Termodinâmica, as quais permitem calcular, e distinguir, a energia utilizada para processamento do próprio sistema de geração e a útil, que resulta na energia disponibilizada para realização efetiva de trabalho; isto é, a energia despachada para os centros de carga. No seu conceito de despacho e energia útil, essa autora é compatível com MME (2005).

Nesse trabalho, em adição às áreas tradicionais de aplicação da eficiência energética, como os sistemas de iluminação, ar condicionado, cogeração, etc., a autora contempla, de forma explícita, a do Planejamento Integrado de Recursos (PIR), em que delega aos planejadores e reguladores do sistema energético nacional as tarefas de avaliação dos custos e dos benefícios globais da energia, sob as óticas da oferta e da demanda, de tal forma que esta importe no menor custo financeiro e ambiental.

A autora desenvolve uma conexão dos projetos de eficiência energética com os de inovação: ambos contêm requisitos de pesquisa, inovação incremental ou disruptiva, capacidade econômica e de gestão; e, de forma subjacente, para sua sustentação, esses requisitos se apoiam em complexas interações entre as forças tecnológicas, econômicas, sociais, institucionais e políticas. A partir dessa conexão, os projetos de eficiência energética também podem ser entendidos como de inovação tecnológica.

Esse trabalho faz uma análise comparativa da experiência brasileira em eficiência energética, essencialmente fundada no modelo do PROCEL, com as de outros países, como, por exemplo, as da UE, EUA e Canadá. Nessa comparação, são descritas as medidas institucionais tomadas pelos países da UE em favor dos programas regionais e nacionais de eficiência energética desde a década de 1970, com incentivos à inovação, à pesquisa e desenvolvimento, e à cooperação tecnológica entre os países do bloco.

Quanto à experiência norte-americana, a autora relata que as políticas de eficiência energética se iniciaram logo após o primeiro choque do petróleo em 1973 e já nasceram inspiradas em economia de energia e preocupação com a poluição nas grandes cidades dos EUA e sua influência nas mudanças climáticas. Dentre essas políticas, são mencionadas, por exemplo, a de desenvolvimento tecnológico para fabricação de equipamentos utilizados em grande volume no mercado, e energeticamente mais eficientes: refrigeradores com 20% de aumento de eficiência energética, 30% em condicionadores de ar centrais, 50% nas lavadoras de roupa, 40 % no consumo médio de combustíveis dos carros e dos pequenos caminhões, etc.

O trabalho também discorre sobre o programa canadense de eficiência energética, acerca do qual revela ser calcado na consideração dos aspectos socioambientais, incentivos governamentais e facilidade de financiamentos. A experiência canadense enfatiza a utilização das fontes renováveis de energia, além de possuir uma vertente de disseminação educacional muito forte.

A autora examina os principais desafios e obstáculos a serem transpostos para implementação de projetos de eficiência energética no Brasil, citando, dentre outros, os seguintes:

- tecnologia: mesmo que sejam conhecidas várias tecnologias energeticamente mais eficientes, diversas delas ainda não estão disponíveis no mercado;
- custo inicial: a sociedade é muito sensível aos custos iniciais de equipamentos mais eficientes;
- cultura: há carência de uma cultura de combate ao desperdício de energia;
- financiamento: há dificuldades para acessar condições atrativas de financiamento.

Nessa rota de investigação das barreiras que impedem ou atrasam medidas de eficiência energética na indústria, Palm e Thollander (2010) estabelecem uma perspectiva interdisciplinar, na qual, de forma similar a Martins (1999), Nogueira (2007) e EPE (2007) mencionada adiante, incluem questões de natureza técnica e econômica, relacionadas à engenharia e à economia. No entanto, eles adicionam outras perspectivas de espécies distintas, respeitantes à sociologia e à antropologia, com a criação de redes sociais para disseminação de tecnologia e informações, e a implementação de políticas públicas. É uma abordagem que, ao mesmo tempo, complementa e inova as anteriores.

Ao reconhecerem a existência das barreiras à eficiência energética, os autores estabelecem uma discussão quanto ao entendimento daquelas qualificadas como falha/imperfeição de mercado e barreira de mercado propriamente dita. Eles argumentam que, no caso da primeira, é normal que os formuladores de políticas públicas de energia busquem corrigi-la, por meio de regulação e incentivos, e citam atos regulatórios promovidos pela UE, a partir de 2006, que decorreram do crescimento da consciência da população quanto à influência da energia sobre a qualidade do meio ambiente, como, por exemplo, o *European Energy End-Use Efficiency*, a *Energy Service Directive* (ESD), etc.

Enquanto que a barreira de mercado propriamente dita decorre do entendimento dos agentes de mercado de que o progressivo avanço das tecnologias de eficiência energética implica, reciprocamente, em contínuo aumento de custos e, a partir dessa compreensão, o tolhimento da eficiência na indústria, gerando defasagem negativa, alarga-se.

Apoiando-se na constatação de que a eficiência energética tem elevado significado no controle das mudanças climáticas e que a indústria, na UE e no mundo, é o maior usuário de energia, cujos fatores combinados projetam sombras sobre a segurança energética dos países, Palm e Thollander (2010) adotam a abordagem da contextualização social e institucional, conjugada com a tecnológica, econômica e comportamental, para elaborar uma melhor compreensão da lacuna de eficiência energética industrial.

Essa abordagem foi assumida a partir de uma pesquisa realizada pelos autores em diferentes regiões e indústrias da Suécia, onde eles encontraram barreiras de natureza técnica, econômica, comportamental e organizacional. Elas foram diagnosticadas como falta de informação entre as empresas, desconhecimento dos custos ocultos da energia, falta de

influência dos gestores da energia, cultura organizacional que não reconhece a problemática socioambiental da energia, organizações centradas em estruturas de poder e dominadas pela área de rotina do desempenho gerencial, dificuldades de acesso a capital para investimento, dentre outras barreiras.

Dessa forma, segue-se a perspectiva interdisciplinar mencionada no título do artigo e se adensam as características social e institucional da problemática da eficiência energética na indústria, que, na sequência, os autores buscam explicar no campo sociocultural. Eles exprimem que o conhecimento técnico, as dimensões da engenharia e o conhecimento dos engenheiros, cujas disciplinas se relacionam diretamente com os usos finais da energia e com a eficiência energética, manifestam-se e geram frutos no contexto social, o qual se insere numa urdidura mais ampla e complexa de estruturas sociais, que é regulada por normas e comportamentos sociais.

Objetivando apresentar alternativas para uma percepção mais aguda e fixação de prioridades na adoção de medidas de eficiência energética na indústria, o artigo apresenta três níveis de ações: no nível da empresa, do setor e no nível dos formuladores das políticas de energia. Por exemplo, os autores conferem um papel de grande relevância ao nível das políticas públicas de energia, entendendo que elas orientam, criam incentivos, despertam pesquisas e provocam o surgimento de publicações de dados nacionais sobre eficiência energética. Como vetor de indução à eficiência energética industrial, as políticas públicas podem criar incentivos baseados em instrumentos de taxação; subsídios; criação de normas e regulamentos, que viabilizem a publicação de indicadores de eficiência; criação de redes sociais para circulação dessas informações e disseminação de tecnologias; etc.

Por meio dessa abordagem fundada em dimensões, tangíveis e intangíveis, da ciência, da tecnologia e do contexto sociocultural, que, na sigla em inglês, os autores denominam *science, technology and society* (STS), eles trazem uma contribuição à compreensão da problemática da eficiência energética na indústria, a qual se soma aos estudos mais tradicionais, baseados na abordagem técnica, econômica e comportamental. Deve-se registrar que o elemento comportamental preconizado na abordagem tradicional, como em PROCEL (2006) e suscitado em Nogueira (2007), não se encontra distante dessa abordagem STS de Palm e Thollander (2010); entretanto, deve-se, igualmente, reconhecer, que estes acrescentam elementos estruturais novos em relação àqueles já conhecidos.

Quanto ao grau de utilização de energia, Rajan (2003) estabelece que os sistemas/processos mais energointensivos são aqueles que contêm equipamentos térmicos, como fornos, caldeiras, etc., seguidos dos rotativos, como as turbinas, bombas e compressores. Segundo ele, no que se refere à eficiência energética de sistemas industriais, o monitoramento desses equipamentos é prioritário em relação aos demais, como, por exemplo, os motores elétricos.

Esse autor introduz métodos para otimização da eficiência energética industrial fortemente apoiados em programas de computador. Esses programas trazem grande vantagem à gestão da energia pela automação dos respectivos instrumentos gerenciais, tais como, o referencial analítico do desempenho energético da planta, controle dos custos da energia, monitoramento do desempenho dos sistemas/equipamentos envolvidos, análise quantitativa e gráfica dos indicadores, etc.

Em enfoque análogo ao de PROCEL (2006), Rajan (2003) estabelece um modelo de gestão da energia, que busca responder questões, tais como:

- Quais as plantas industriais, setores ou equipamentos consomem mais energia que o previsto em projeto?
- Que razões levam a esse consumo anormal?
- Como essa situação pode ser mudada?
- Qual o impacto dessa situação nos custos operacionais/produzitividade da planta industrial?

As opções de otimização energética dos equipamentos mais demandantes de energia, tais como, fornos, caldeiras, turbinas, compressores, etc., com detalhamento dos seus componentes comprometidos com a eficiência energética, são discutidos ao longo da obra. Igualmente, são descritas as formas de recuperação de energia térmica em degradação (que está sendo desperdiçada para o ambiente), com prioridade nas áreas de condensação de vapor e de lançamento na atmosfera, como na saída da chaminé e nos setores e sistemas que lançam vapor e água quente no ambiente.

Do ponto de vista da gestão operacional, esse autor descreve vários métodos de otimização da eficiência energética, abrangendo as diversas formas e graus de utilização dos sistemas/

processos disponíveis, o nível de severidade operacional, as condições físicas dos equipamentos, etc.

Rajan (2003) também adota instrumentos gerenciais, tais como: a auditoria energética, a distribuição de Pareto para identificação dos sistemas/equipamentos que utilizam mais energia, a emissão de relatórios de desempenho energético, a implementação das ações corretivas e a retroalimentação do modelo de gestão da energia adotado. Com essa visão da eficiência energética industrial, observa-se a proximidade de Rajan (2003) com PROCEL (2006, 2007), Nogueira (2007) e EPE (2007) mencionada adiante.

Evoluindo na prática gerencial da eficiência energética industrial e numa perspectiva nacional, Dyer et al (2008) fazem uma avaliação das tecnologias facilitadoras da redução da demanda de energia pela indústria na Inglaterra, com sua consequente diminuição nas emissões de carbono, numa perspectiva temporal que se estende até 2050.

O artigo menciona o plano introduzido, em 2007, para redução de carbono naquele país, por meio da adoção de medidas de eficiência energética e da utilização de energias renováveis. Dentre outros objetivos, esse plano prevê que, até 2010, 10% do suprimento de eletricidade será proveniente de energias renováveis, como, por exemplo, do recurso eólico e, até 2020, esse indicador passará a 20%; que, até 2010, as emissões de CO₂ serão reduzidas de 20% em relação às de 1990; etc.

A partir do primeiro choque do petróleo, na Inglaterra, o setor industrial foi o que apresentou maior redução no uso da energia (cerca de 40%), sendo que essa elevada queda resultou, principalmente, de ações de eficiência energética nos usos finais, de grandes alterações na estrutura da indústria e da troca do carvão mineral pelo gás natural na maioria dos seus processos.

Os autores também definem alguns métodos de avaliação da eficiência energética industrial: auditoria energética integrada dos sistemas/processos; modelo termodinâmico, no qual são contempladas as primeira e segunda leis da Termodinâmica, em relação às quais, citando Hammond e Stapleton (2001), são estabelecidas três categorias térmicas para os processos industriais (baixa temperatura, $T: T < 394K$, média temperatura: $394K \leq T \leq 692K$ e processos de alta temperatura: $T > 692K$); métodos de ACV de produtos e processos; e a

análise econômica de custo-benefício, a qual, quando encadeada à ACV, potencializa significativo valor aos projetos de eficiência energética.

Quanto às tecnologias industriais em uso, o artigo menciona que, no curto/médio prazo, elas devem evoluir nas seguintes direções: intensificação da cogeração; considerando que os setores de metalurgia, químico, celulose e papel, e alimentos e bebidas são os mais energointensivos, serão feitos esforços na integração dos respectivos processos, na melhoria da combustão e no desenvolvimento de novos materiais; melhorias nos níveis de projeto, fabricação e uso de equipamentos e processos de geração de vapor, motores elétricos; etc.

Na visão de longo prazo (até 2050), o estudo faz projeções dessas tecnologias em termos de redução de emissões de CO₂, e de forma a comparar os processos industriais com outras aplicações, as quais, nas condições específicas presentes na Inglaterra, também são largas emissoras desse GEE, como é o caso dos edifícios residenciais e não-residenciais. Nessas projeções, os sistemas/processos industriais irão contribuir com uma redução de 30% nas suas emissões de CO₂ no período de 1990 (tomado como data-base) a 2050 e os edifícios não-residenciais, com até 45%.

As projeções de evolução tecnológica implicam uma economia leve, energeticamente, com alto nível de reciclagem de resíduos e, conseqüentemente, mais baixas emissões. Para o seu alcance, outras capacidades intrínsecas devem ser desenvolvidas, como, por exemplo, o estabelecimento de fortes interfaces práticas entre as novas tecnologias, objetivando viabilizar competências em processamento multimaterial; novos softwares de projeto, construção e montagem; novas capacidades nas áreas de fundição e moldagem de metais, e engenharia de tratamentos superficiais; etc.

Quanto aos fatores propulsores dessas tecnologias na indústria, o artigo menciona: o alto custo da energia utilizada, o qual, no caso dos setores energointensivos, na Inglaterra, já atinge 50% dos custos operacionais, e a legislação ambiental; esta, naquele país, prevê elevadas multas para grandes emissores de CO₂. No que se refere aos obstáculos que a indústria enfrenta para adoção dessas tecnologias, o artigo dá destaque especial para a falta de especialistas em energia e de políticas pertinentes, esclarecidas e atuais, no âmbito da indústria.

Numa concepção mais ampla e moderna, EPE (2007) define a eficiência energética como o conjunto de medidas de redução da energia utilizada, sem perda na quantidade e qualidade dos bens e serviços produzidos, incluindo a substituição de fontes energéticas, que resultem em ganhos sistêmicos de eficiência.

O trabalho faz uma exposição acerca da evolução da eficiência energética no Brasil, em que discorre sobre o nascimento desta no setor elétrico, ressaltando o papel do PROCEL, do INMETRO, etc., e numa analogia com Martins (1999), PROCEL (2006), Dyer et al (2008), e Palm e Thollander (2010), também assinala algumas das principais barreiras à racionalização de energia no país: falta de informação, deficiências de conscientização e treinamento, desconhecimento das regras previstas nos contratos de performance, dificuldades de acesso às tecnologias atinentes, altos custos de transação, desconfiança quanto aos resultados dos projetos, dentre outras. Numa abordagem análoga à de Goldemberg e Lucon (2008), esta publicação estabelece cenários para criar um modelo de representação dos potenciais técnico, econômico e de mercado da eficiência energética no Brasil.

O cenário técnico é definido como aquele em que os usos da energia são substituídos por equivalentes dotados de tecnologias atuais, de alto desempenho, sem considerar seus custos ou eventuais barreiras de acesso. O cenário econômico é entendido como aquele que engloba o técnico, contemplando, especificamente, as tecnologias que são viáveis de implementação do ponto de vista econômico; neste caso, o trabalho se baseia na experiência mais tradicional do país, isto é, na eficiência energética no setor elétrico, utilizando dados, como, por exemplo, taxa de desconto e custo marginal de expansão, os quais justifiquem investir em evitar o uso da eletricidade antes de expandir o sistema. Finalmente, o cenário de mercado foi concebido como aquele em que os próprios agentes de mercado, com base nas suas óticas econômicas, próprias (taxas de desconto toleradas, tarifas de eletricidade, custos de adequação ou substituição de sistemas/processos industriais, etc.), decidem, livremente, implementar ações de eficiência energética.

À semelhança de Jaccard, Nyboer e Fogwill (1993), EPE (2007) considera que, adicionalmente à eficiência dos motores elétricos de alto desempenho, a relativa aos sistemas mecânicos acionados é de fundamental importância para a eficiência energética global na indústria. Reconhecendo dados de pesquisa de vários autores, é apresentada uma longa série de indicadores de eficiência concernentes a sistemas/equipamentos industriais, tais como,

bombas, ventiladores, sistemas de refrigeração e ar comprimido, além de processos eletroquímicos, dentre outros. Por exemplo, essa autora indica que em sistemas de bombeamento, adequar a bomba à carga, combinando essa iniciativa com a eliminação de malhas de *by-pass* e outros fluxos desnecessários, pode-se aumentar a eficiência desse bombeamento entre 10% e 50%; num sistema complexo de tratamento d'água, a redução de depósitos na tubulação pode incrementar a eficiência do conjunto em até 20%; etc.

Ao incluir a “substituição de fontes energéticas, que resultem em ganhos sistêmicos de eficiência” na sua definição de eficiência energética, EPE (2007) também determina que, no setor industrial, a geração distribuída (GD), a cogeração e as fontes renováveis de energia ganham relevância. Segundo essa autora, consistindo-se em conversão de energia nas proximidades das unidades de uso, a GD está intimamente comprometida com a eficiência energética, além de ser eficaz em termos da segurança energética e do desenvolvimento sustentável. Esses elementos favoráveis da GD decorrem de fatores, tais como: geração próxima da carga; flexibilidade de operação, permitindo atuação direta na base, na ponta ou como reserva próxima à carga; possibilidade de cogeração, com o uso de resíduos locais; atendimento a áreas remotas, com baixa densidade de carga, de forma técnica e economicamente viável; etc.

2.2. Governança corporativa

Em se tratando de conduzir a questão energia e sustentabilidade ao nível da alta administração da organização, faz-se necessário um sistema de governança. De acordo com Lodi (2000), o conceito de governança preconiza um sistema de gestão em que um órgão central, como, por exemplo, o Conselho de Administração na governança corporativa, estabelece e lidera o relacionamento harmônico entre os acionistas, auditores independentes, Diretoria Executiva da empresa e demais *stakeholders*.

Os *stakeholders* são todas as pessoas, grupos e instituições, que recebem ou produzem algum tipo de impacto expressivo pela realização das atividades da empresa ou pela consecução dos propósitos desta no mercado. Os principais *stakeholders* são os “participantes” do setor, tais como, os clientes, fornecedores, os empregados, distribuidores, prestadores de serviço,

concorrentes e acionistas; e, os chamados “externos” ao setor: o governo, os grupos comunitários, grupos e associações de defesa do meio ambiente e dos consumidores, associações industriais e comerciais, e um inumerável aparato de agências e organizações não-governamentais cada vez mais influentes na conduta e no desempenho das empresas.

No passado recente, nas empresas privadas e familiares, os acionistas eram os gestores do negócio. Nesse sistema, havia muita interferência e uma mescla inseparável dos direitos de propriedade com a administração da empresa. Era usual a ingerência de idiosincrasias e especificidades de personalidade das pessoas detentoras da propriedade na gestão do negócio. Diante dos processos de profissionalização organizacional e globalização dos mercados, com a internacionalização das empresas em geral e a busca de novos patamares de desempenho competitivo, as famílias se afastaram da linha de frente da gestão e a governança corporativa instituiu o Conselho de Administração entre a propriedade e a administração do negócio.

Nesse novo modelo, a missão do Conselho de Administração é proteger o patrimônio e maximizar o retorno do investimento dos acionistas, agregando valor ao empreendimento. Essa missão é definida com precisão, por meio de quatro termos originários da língua inglesa: *fairness*, *disclosure*, *accountability* e *compliance*. *Fairness* busca traduzir o senso de justiça e equidade para com os acionistas minoritários, contra eventuais transgressões e abusos de majoritários e gestores do negócio. O termo *disclosure* significa a transparência, que é necessária e devida pelos gestores do negócio aos seus acionistas e demais *stakeholders*, com a produção e divulgação de dados acurados, registros contábeis reais, sem dissimulações, e relatórios claros e concisos, entregues nos prazos preestabelecidos. O vocábulo *accountability* representa a responsabilidade pela prestação de contas por parte dos que tomam as decisões de negócio; enquanto que, o elemento *compliance* se refere à obediência e ao cumprimento das leis do país em que a empresa opera.

Na concepção da governança corporativa, a gestão se dedica, essencialmente, ao planejamento e à execução de atividades operacionais e estratégicas, que antecipem e promovam as mudanças, conjunturais e estruturais, inevitáveis no novo cenário de negócios permeado por contínuas transformações. Além do aumento da capacidade de resposta e mudança, peculiar à dinâmica da competição, o século XXI trouxe uma delegação crescente de responsabilidades à organização produtiva em relação aos ambientes social e político que a

cercam (educação, segurança, meio ambiente, etc.). Esse conjunto de fatores aumentou a necessidade de sistemas de governança na empresa de hoje.

O autor relata como começou a governança corporativa, desde a publicação do Relatório Cadbury, em 1992, na Inglaterra, com a sua inspiração na prática do mercado de capitais norte-americano, considerado o mais avançado do mundo, e que se caracteriza por conter grandes blocos de ações em mãos de Fundos de Pensão e Fundos de Investimentos, minoritários muito ativos e com grande capacidade de se fazerem ouvir, escritórios de advocacia agressivos e capazes de validar a condição de equidade entre os acionistas, Conselhos de Administração atuantes e exigentes, e a natureza reconhecidamente reivindicatória daquela sociedade.

Esse modelo representou uma grande inovação, pois contrariamente a ele, na Inglaterra do final da década de 1980 subsistia o sistema conhecido como *Old Boys Network*, ou Clubes de Conselheiros, os quais, de forma cruzada, participavam de conselhos de companhias uns dos outros, trocando interesses, informações e favores, criando dificuldades para os minoritários e o mercado de capitais daquele país.

Dentre as inovações introduzidas pelas práticas de governança corporativa inspiradas no modelo americano, foram apontadas, por exemplo: divisão de responsabilidades claramente aceita na direção da empresa, que assegurasse o equilíbrio de autoridade e evitasse que qualquer pessoa pudesse dispor de poder de decisão irrestrito; quando o presidente do Conselho fosse também o presidente da Diretoria Executiva ou principal executivo da companhia, seria indispensável a presença de um elemento forte e independente no Conselho, reconhecidamente um membro sênior, que equilibrasse credibilidade e poder nos processos de tomada de decisão, com aquele presidente; maior número de conselheiros não-executivos, independentes, dotados de capacidade de julgamento isento sobre assuntos críticos do negócio, como estratégia, desempenho, utilização de recursos escassos, etc.

Na Inglaterra, França, Espanha e em outros países de mercado aberto, com o objetivo de atrair cada vez mais capitais de risco, são muitas as iniciativas de modernização e adoção das práticas de governança corporativa. Mesmo na Alemanha, com o seu sistema de dois níveis de conselhos, o diretor e o supervisor, em que há participação de representante dos trabalhadores,

estão sendo desenvolvidos esforços de atualização das práticas; por exemplo, a Bolsa de Frankfurt adota princípios da norte-americana NASDAQ.

A OCDE já emitiu dois relatórios sobre o tema, destinados às empresas dos seus países constituintes, intitulados Princípios da OCDE para a Governança da Sociedade Empresarial, sugerindo aspectos, tais como: tratamento equitativo dos acionistas, função dos *stakeholders*, comunicação e transparência na contabilidade, e função do Conselho de Administração. Na Ásia e no Japão, de uma forma geral, essas práticas se encontram em estágio inicial.

Apesar dos Conselhos de Administração serem obrigatórios apenas em alguns tipos de sociedades, como as de capital aberto, eles são muito utilizados em várias outras de capital fechado e nas Limitadas.

O Instituto Brasileiro de Governança Corporativa (IBGC) (2009) define essa governança como sendo o sistema que assegura aos sócios-proprietários o governo estratégico da empresa e a efetiva monitoração da Diretoria Executiva. A relação entre propriedade e gestão se dá através do Conselho de Administração, da auditoria independente e do conselho fiscal, que são os instrumentos essenciais para o exercício do controle.

No Brasil, o IBGC e a Bolsa de Valores de São Paulo (BOVESPA) lançaram o primeiro código brasileiro, em maio de 1999. Mas, também, aqui, o tema avançou rapidamente: bancos como o BNDES e o BANCO DO BRASIL, já fazem exigências das práticas de governança na concessão de créditos às empresas. As ações de organizações administradas em conformidade com essas práticas também apresentam valoração superior nos pregões da BOVESPA.

Compete ao Conselho de Administração fixar e aprovar as políticas, as estratégias e a hierarquia de metas da sociedade e cuidar pelo seu fiel cumprimento; sua presença na empresa dever ser percebida como um organismo permanente de disciplina e de avaliação da Diretoria Executiva. O Conselho de Administração é composto por um presidente e um número de conselheiros, que pode variar de seis a nove membros, todos eleitos em Assembléia.

Os deveres e responsabilidades do Conselho de Administração abrangem a discussão, aprovação e monitoramento de decisões sobre: estratégia; estrutura de capital; apetite e tolerância ao risco, definindo o perfil de risco do negócio; operações de alianças estratégicas,

fusões & aquisições; contratação, dispensa, avaliação e remuneração da Diretoria Executiva; processo sucessório dos conselheiros e executivos; práticas de governança corporativa; etc.

Os membros do Conselho de Administração devem apresentar desempenho satisfatório nos requisitos de competência, ética, embaixada, independência, preparo, prática, atividades em Comitês, desenvolvimento, participação, presidência do Conselho e serviço especial. Por exemplo, no item competência, o conselheiro deve ajustar-se bem e com distinção; ser pessoalmente competente; experiente; influente; respeitado; ter destaque entre os pares na profissão, nos negócios ou na comunidade; ter a habilidade e a experiência exigidas; bom comunicador; ideologicamente orientado; e apoia a filosofia sócio-econômica relevante para o bem-estar da empresa.

O Conselho de Administração é o instrumento central (ferramenta principal) do sistema de governança corporativa, tendo a missão de proteger o patrimônio e maximizar o retorno dos investimentos, agregando valor ao empreendimento.

2.3. Evolução da eficiência energética no Brasil

Nesse capítulo de revisão bibliográfica, também se faz necessário um resumo acerca da evolução da eficiência energética no Brasil, registrando-se os elementos significativos do seu marco institucional e de como se tem desenvolvido o seu mercado.

As preocupações e os primeiros eventos visando à eficiência energética no Brasil remontam aos primeiro e segundo choques do petróleo, respectivamente, em 1973 e 1979. Segundo Skidmore (2000), no início da década de 1970, o Brasil importava 80% do petróleo que necessitava. No primeiro choque, o preço médio do barril colocado no país, passou de US\$3.86, em 1973, para US\$12.55 em 1974. A dependência do Brasil era de tal ordem que, ao longo do ano de 1974, a dívida externa do Brasil quase dobrou, aumentando de US\$6,2 bilhões para US\$11,9 bilhões.

Naquela época, a Petróleo Brasileiro S. A. (PETROBRAS) produzia petróleo predominantemente em terra, nas regiões de Lobato e Candeias, no Estado da Bahia, quando

ainda sob a jurisdição do então Conselho Nacional do Petróleo (CNP). Devido aos altos custos e riscos da produção no mar, até o início da década de 1970, a PETROBRAS apenas tinha descoberto o campo *offshore* de Guaricema no litoral de Sergipe.

De acordo com Leite (2007), a dimensão do problema energético nacional, em 1982, na esteira do segundo choque, era de tal monta que a conta petróleo, isoladamente, ocupava cerca de 50% de todas as divisas de exportação do país. Esse autor expõe que, sob a liderança do general Geisel, o qual, antes de assumir a presidência da república, havia sido presidente da PETROBRAS, logo após o primeiro choque do petróleo, esta empresa avançou para a prospecção no mar. Após o campo de Guaricema, teve início uma sucessão de descobertas marítimas significativas, como as do campo de Garoupa, em 1974, Namorado, em 1975, Cherne e Enchova, em 1976, etc., resultando na Bacia de Campos. Em seguida, as pesquisas se deslocaram para os litorais dos estados do Ceará, Espírito Santo e São Paulo, prosseguindo para o grande êxito das descobertas *offshore* do Brasil, que se mantém até hoje.

Em 1975, por meio do Decreto Nº 76.593, de 14/11/1975, o Brasil criou o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), focado na mistura do álcool anidro à gasolina. Segundo Coelho (2009), a primeira fase desse programa, posta em marcha em novembro de 1975, foi caracterizada pela intensificação do programa de mistura do álcool anidro à gasolina, que já era modestamente praticado desde 1931 – marco temporal mais antigo dos programas do bioetanol da cana-de-açúcar no Brasil –, acrescido da utilização do álcool hidratado em total substituição da gasolina.

No final dos anos de 1970, após essas várias iniciativas destinadas a equacionar os dois choques do petróleo, o Brasil começava a visualizar o alto nível de desperdício de energia existente, em relação ao qual havia significativas economias a serem alcançadas. Uma medida governamental drástica da época obrigou as indústrias a uma redução de 10% no uso do óleo combustível em seus sistemas produtivos, sem prejuízo da quantidade nem da qualidade dos bens e serviços produzidos. Mesmo sendo uma medida de “acionamento” e não de “racionalização” de energia, como a meta foi rapidamente atingida, despertou-se, finalmente, para a viabilidade de programas de racionalização de energia, os quais, na época, foram cunhados de “programas de conservação de energia”. Assim, na transição entre as décadas de 1970/1980, abria-se o caminho para o primeiro programa institucional de conservação de energia do país, dedicado ao setor industrial: o “CONSERVE”.

2.3.1. O CONSERVE

Por meio da Portaria Nº 46, de 23/02/1981, o então Ministério da Indústria e do Comércio (MIC) lança o Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial (CONSERVE). Esse Programa deveria atingir os seguintes objetivos: promover a redução do uso de energia no setor industrial, principalmente nos de maior intensidade energética, como cimento, siderurgia, e papel e celulose; fomentar a substituição dos combustíveis importados na indústria por fontes alternativas nacionais; e estimular o desenvolvimento de novos processos e produtos industriais, que proporcionassem maior eficiência energética.

Segundo Jannuzzi, Danella e Silva (2004), ao longo do seu curso, o CONSERVE foi desviado da sua diretriz principal de conservação de energia para a simples substituição de combustíveis importados por energia elétrica, resultando na perda do foco em eficiência energética. Segundo esses autores, entre 1981 e 1985, 79% das operações aprovadas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), especificamente para projetos enquadrados no CONSERVE, foram aplicadas na substituição energética, com intensificação do uso da eletricidade; enquanto que, o volume de operações destinadas à conservação de energia no período considerado alcançou apenas 21%.

Ainda que ganhos tenham ocorrido, porém a crescente utilização da eletricidade para fins térmicos no setor industrial, significativamente promovida pelo CONSERVE, resultou numa transferência de responsabilidade pela conservação de energia para o setor elétrico.

Diante do avanço em direção ao estrangulamento da capacidade de fornecimento de energia elétrica e as reiteradas evidências acerca do elevado potencial de eficiência energética, em 11/07/1985 foi criado um grupo de trabalho, formado pelos MME e MIC, para estudar e propor medidas de conservação de energia. Como resultado das atividades desse grupo, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

Nesse entremeio, também se deve registrar que, desde 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) havia feito parceria com a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) e criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Com esse programa, o INMETRO havia posto em marcha um sistema de etiquetagem, indicando o grau de eficiência energética de eletrodomésticos,

motores elétricos, dentre outros dispositivos e equipamentos utilizados pelos consumidores em geral. Para o desempenho satisfatório do PBE, o INMETRO passou a realizar as atividades de avaliação e qualificação de laboratórios de ensaios, além de extensa parceria com os fabricantes e fornecedores.

2.3.2. O PROCEL

Nessa sequência, em 30/12/1985, com publicação no Diário Oficial da União de 31/03/1986, a Portaria Interministerial (MME e MIC) Nº 1877 criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Como se verifica, no que respeita à racionalização de energia, a partir desse momento, o Brasil passa a ter foco específico na energia elétrica, e com a designação de “conservação” de energia.

A criação do PROCEL contemplou vários aspectos estratégicos do planejamento energético do país, como a determinação do potencial de conservação de energia, a necessidade de integrar e articular um amplo conjunto de recursos num esforço nacional visando à racionalização de energia elétrica e a diminuição do estresse que a utilização crescente da eletricidade provocava no parque desses conversores.

Para implementação e gestão desse Programa, foi criado o Grupo Coordenador de Conservação da Energia Elétrica (GCCE), o qual era formado por vários executivos de órgãos e departamentos dos MME e MIC, da então Secretaria de Planejamento da Presidência da República (SEPLAN), representantes da Confederação Nacional da Indústria (CNI), membros da Confederação Nacional do Comércio (CNC), etc. A Centrais Elétricas Brasileiras S. A. (ELETROBRAS) recebeu a incumbência de “assegurar o necessário suporte técnico e administrativo ao GCCE”. Dessa forma, desde a criação do Programa, até hoje, a ELETROBRAS é a responsável pela operação do PROCEL.

No entanto, a partir dessa altura da década de 1980, deu-se início a fase mais acentuada de redução dos preços internacionais do petróleo, cujo contrachoque se processava desde 1982. Nessas condições, muitas inquietações com a oferta e demanda de energia foram arrefecidas, apesar de que permanecia em destaque o enorme potencial de conservação de energia do Brasil. No período 1990-1991, por motivo da reforma administrativa instaurada no início do

governo Collor e da decorrente descontinuidade dos investimentos, o PROCEL perde prioridade e entra em estagnação.

Apesar desses empecos, em 1991, ele foi revitalizado por meio do decreto presidencial de 18/07/1991, que o removeu do âmbito dos MME e MIC, transformando-o em programa federal e alargando seus objetivos e abrangência. Em seguida, foi emitido o decreto presidencial de 08/12/1993, que dispõe sobre a instituição do Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional da Energia, o qual ensejou a criação do selo PROCEL de economia de energia: SELO PROCEL.

O SELO PROCEL passou a orientar o mercado consumidor em geral quanto à eficiência energética de dispositivos e equipamentos, tais como: refrigeradores, produtos de iluminação, aparelhos de ar-condicionado, máquinas de lavar roupas, motores elétricos, sistemas de aquecimento solar, etc. De acordo com ELETROBRAS (2010a), hoje, esse selo alcança 28 categorias de produtos, que, quando combinadas com diversas marcas de fabricantes, e distintos modelos para cada fabricante, atingem mais de 3.000 produtos no país. E, segundo ELETROBRAS (2010b), nos seus últimos 22 anos de existência, o PROCEL contribuiu com uma economia de energia de $28,5 \cdot 10^6$ MWh, a qual, ponderando o fator de capacidade médio nacional para a conversão hidroelétrica, equivale a uma potência instalada de cerca 6,9 GW.

Sendo o PROCEL um programa destinado à conservação de energia elétrica, em 1.991 foi lançado o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET).

2.3.3. O CONPET

Por meio do Decreto de 18/07/1991, o governo federal instituiu o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET). O principal objetivo do CONPET é desenvolver e integrar as ações de incentivo ao uso eficiente do petróleo e do gás natural no transporte, nas residências, no comércio, na indústria e na agropecuária, de forma congruente com o Programa Nacional de Racionalização da Produção e do Uso de Energia.

O Decreto acima mencionado cria o Grupo Coordenador do CONPET (GCC), o qual, após a fragmentação de vários Ministérios e a criação de novos, passou a ser composto pelos: Diretor do Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético do MME, que exerce a função de Coordenador; Diretor Industrial da PETROBRAS, na condição de Secretário-Executivo; e do Coordenador-Geral de Sistemas Energéticos do Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético do MME. Além desses participantes, que são qualificados como membros natos, também fazem parte do GCC representantes do Departamento Nacional de Combustíveis do MME; do Centro de Pesquisas da PETROBRAS; dos Ministérios dos Transportes, e da Ciência e Tecnologia (MCT); do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC); do Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal; da Confederação Nacional dos Transportes (CNT) e da CNI. Analogamente ao papel conferido à ELETROBRAS para com o PROCEL, aqui, é outorgado à PETROBRAS para com o CONPET.

Em decorrência do decreto presidencial de 08/12/1993, que instituiu o Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional da Energia, de forma análoga ao SELO PROCEL em relação ao nível de utilização de energia elétrica, foi criado o SELO CONPET, destinado à certificação de dispositivos e equipamentos que utilizam derivados de petróleo e do gás natural. O SELO CONPET orienta o mercado consumidor em geral quanto à eficiência energética de dispositivos e equipamentos, como fogões a gás, aquecedores de água a gás, autoveículos, etc.

2.3.4. O PBE

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) é um programa de conservação de energia, que funciona por meio de sistema de etiquetagem informativo sobre a eficiência energética de aparelhos e equipamentos (motores, eletrodomésticos, coletores solares, etc.), além de autoveículos, fabricados e comercializados no país. Esse Programa foi legalmente instituído após a promulgação da lei nº 10.295, de 17/10/2001, que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia. Entretanto, na prática, conforme citado anteriormente, o PBE já operava no mercado desde 1984, numa parceria do INMETRO com a ABINEE.

O principal produto do PBE é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), a qual estabelece níveis de eficiência energética, que se escalam, em ordem decrescente de “A” a “E” para autoveículos e de “A” a “G” para os demais equipamentos testados, todos fornecidos

ao mercado consumidor em geral. Por força da legislação, o INMETRO é responsável pelas atividades de avaliação e qualificação dos laboratórios de ensaios, pela adoção dos níveis máximos de utilização de energia, além da respectiva fiscalização e avaliação de conformidade. Nesse escopo legal, o INMETRO faz a certificação da qualidade para os selos PROCEL e CONPET, dando suporte e consistência aos principais programas institucionais de eficiência energética do país.

Na sequência desse marco institucional, a partir do início do presente século, surgiram novas iniciativas de racionalização de energia no Brasil, fundadas em leis específicas de eficiência energética: leis nº 9.991 e nº 10.295.

2.3.5. Lei Nº 9.991

A lei nº 9.991, de 24/07/2000, dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, e em eficiência energética, por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. Essa lei estabelece que 1% da Receita Operacional Líquida (ROL) dessas empresas seja destinado à pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e a programas de eficiência energética (PEEs), partilhados em 75 % e 25% desse valor, respectivamente. A lei também prevê que até 31/12/2005, essa partilha é igual, com 50% daquele valor (1% da ROL) para cada uma dessas aplicações.

Essa situação foi sendo prorrogada até hoje. Atualmente, a lei nº 12.212, de 20/01/2010, prorroga esses incentivos até 31/12/2015 e estabelece que, no mínimo, 60% dos recursos dos PEEs sejam aplicados em unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social. Esses PEEs são realizados pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica sob regulação e fiscalização da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

De acordo com ANEEL (2007), apenas no ciclo 2006/2007, os PEEs alcançaram R\$ 300 milhões de investimentos, com 60% dirigidos aos consumidores de áreas carentes, resultando na substituição de 2,9 milhões de lâmpadas incandescentes comuns por fluorescentes compactas, troca de 34,1 mil geladeiras antigas por modelos novos e mais eficientes, realização de obras de correção nas instalações internas de 121,9 mil residências, troca de chuveiros elétricos por 18,7 mil sistemas de aquecimento solar e que foram regularizadas as

instalações de medidores de consumo de energia em 94,8 mil moradias nas regiões mais pobres das áreas de atribuição das concessionárias.

ANEEL (2010) informa que, por meio das atuais 93 permissionárias de distribuição de energia elétrica atuantes no território nacional, 842 PEEs se encontram em andamento no país; é notável constatar haver apenas 15 deles dedicados à indústria. Esses PEEs estão concentrados no Poder Público, como prédios da administração pública, nos três níveis de governo; em serviços públicos, como hospitais e escolas públicas; muitos outros se aplicam no ambiente rural (irrigação); e a grande maioria se destina a comunidades de baixa renda.

2.3.6. Lei Nº 10.295

Em outra vertente da busca por racionalização de energia, a lei nº 10.295, de 17/10/2001, dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia. Ela estabelece os níveis máximos de utilização específica de energia (ou mínimos de eficiência energética, na linguagem da lei) para máquinas e aparelhos fabricados e comercializados no território nacional, e institui um programa de metas para a evolução progressiva dos seus índices de eficiência energética.

Como consequência prática dessa lei foi emitido o Decreto Nº 4.508, de 11/12/2002, dispondo sobre a regulação específica que define, na linguagem da lei, os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil. Em seguida, foi editada a Portaria Interministerial Nº 132, de 12/06/2006, que regula a eficiência energética para lâmpadas fluorescentes compactas, contendo requisitos técnicos, métodos de ensaio, etc.

Portanto, essa fase do marco institucional da eficiência energética no Brasil também está conectada com o INMETRO, por força do papel deste em qualificar e acreditar laboratórios de ensaios, acompanhar e reconhecer indicadores de desempenho energético de dispositivos e equipamentos, e prover a sua etiquetagem.

Nessa evolução, também se considera que o progresso da consciência ambiental produziu, nas empresas, a percepção de que ter os seus processos e produtos/serviços associados ao respeito ao meio ambiente e à melhoria qualidade de vida, e dessa forma serem reconhecidos pela

sociedade, pode resultar em maiores lucros. Unindo essa percepção à evidência dos custos crescentes da energia e ao surgimento de incentivos e recursos subvencionados, dentre outros mecanismos de fomento, várias medidas de racionalização passaram a ser implementadas por iniciativa própria de muitas empresas industriais, fazendo despontar no Brasil um mercado autônomo de eficiência energética (MAUFE), o qual foi assim cunhado por Godoi (2008).

2.3.7. O MAUFE

De acordo com Godoi (2008), o mercado autônomo de eficiência energética (MAUFE) é aquele cujas operações de negócio fluem sob interesse exclusivo das empresas e atores correlacionados, como bancos e agências de fomento, fornecedores de tecnologia, etc., sem dependência de políticas públicas ou ações compulsórias previstas em lei. Normalmente, esse mercado se manifesta com base em indutores de eficiência energética, que decorrem da dinâmica competitiva intrínseca de cada setor ou por motivações de programas e ações de racionalização de energia já em uso no país, reconhecidas como favoráveis em termos de produtividade e lucro.

Os indutores de eficiência energética inerentes à dinâmica competitiva de cada setor compreendem fatores, tais como: reposição tecnológica provocada pelo término da vida útil de equipamentos e sistemas energointensivos; mudança de atitude comportamental em direção a uma gestão energética eficaz; pressões competitivas; ações no sentido de minimizar impactos socioambientais; etc. Outros indutores do MAUFE abarcam a inércia dos programas e ações de racionalização de energia já em uso no país, como, por exemplo, a utilização de linhas de financiamento especiais para equipamentos novos e energeticamente mais eficientes; incentivos à eficiência energética por meio do uso de fontes renováveis de energia; acordos voluntários de mercado; etc.

Um dos principais atores do MAUFE são as ESCOs, as quais passaram a evoluir com maior velocidade no mercado a partir do início dos anos 2000, principalmente, por meio da execução dos PEEs e respectivos recursos financeiros, previstos na lei nº 9.991 acima mencionada.

Outra vertente de peso para a intensificação do MAUFE, a partir da década de 1990, foi o conhecimento cada vez mais apurado acerca dos impactos socioambientais provocados pelos

sistemas energéticos e seus reflexos diretos nas mudanças climáticas. Nesse conjunto de evidências, a própria emissão das normas da série ISO 14.000, que dispõem sobre sistemas de gestão ambiental, à medida que a sua implementação nas empresas foi se difundindo, também passaram a influenciar a dinâmica dos projetos de eficiência energética e a operar como um dos seus vetores. Recentemente, novas normas voltadas especificamente à gestão da energia, como a BS EN 16001 (britânica) e a ISO 50001 (internacional) foram emitidas.

Quanto à indução decorrente do setor bancário, por exemplo, o BNDES oferece um programa de apoio à eficiência energética, o Proesco. Esse programa financia as ESCOs; usuários finais de energia; empresas de conversão, transmissão e distribuição de energia; etc. Essas opções estão sendo disponibilizadas por outras instituições de crédito, como o BANCO DO BRASIL e a CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Organismos internacionais de financiamento, como a *International Finance Corporation* (IFC) do Banco Mundial, e fundos de investimento relacionados ao desenvolvimento sustentável, também incentivam projetos de eficiência energética.

Outro elemento novo, que promete contribuir com as empresas industriais na difusão do MAUFE, é a lei nº 10.973, de 02/12/2004, a qual dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo. Trata-se da conhecida “lei de inovação”. Com respaldo nessa lei, a partir de 2006 surgiram capitais subvencionados (recursos não-reembolsáveis), os quais, sob gestão da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), passaram a ser ofertados às empresas. De acordo com FINEP (2009), em 2009, foram ofertados R\$450 milhões de subvenção a projetos de inovação de diferentes áreas do conhecimento e, deste volume de recursos, R\$80 milhões se destinaram ao setor de energia.

Mesmo se constatando que o MAUFE depende mais diretamente da dinâmica competitiva intrínseca aos respectivos setores/segmentos de indústria, também se deve reconhecer que ele é estimulado por políticas públicas eficazes, como as de incentivos econômicos (embora ainda tímidas no país) acima exemplificadas, emanadas de organismos como FINEP, BNDES, etc.

Sendo assim, ainda que um sem-número de obstáculos, culturais, tecnológicos, tributários e financeiros, restem para ser ultrapassados, já desponta, e evolui, um mercado autônomo de eficiência energética no Brasil.

3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GOVERNANÇA DE ENERGIA NA INDÚSTRIA

O presente capítulo se desenvolve em três partes. Na primeira, são expostos o conceito de eficiência energética, suas interfaces com as fontes renováveis de energia e a sustentabilidade, e seus objetivos na indústria. Na parte seguinte, são apresentados o conceito e a estrutura de gestão da energia de sistemas/processos industriais, com respectivos instrumentos gerenciais. Na terceira parte, englobando os conceitos e a estrutura, desenvolvidos nas duas primeiras, é proposto um modelo de governança de energia para a indústria, contemplando requisitos de sustentabilidade.

3.1. Eficiência Energética

Eficiência energética significa racionalização de energia. Compreende ações ou medidas comportamentais, tecnológicas e econômicas, as quais, ao serem realizadas sobre sistemas e processos de conversão/produção, resultem em diminuição da demanda energética, sem prejuízo da quantidade ou da qualidade dos bens e serviços produzidos.

As medidas tecnológicas são aquelas de mais simples visualização, consistidas por atualização tecnológica, com substituição parcial ou total de sistemas/processos industriais existentes por novos energeticamente mais eficientes; substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas (LFCs), ou eventual uso da conversão fotovoltaica, combinada com sistemas de iluminação natural e de alto desempenho, com o uso dessas (LFCs) ou dos *light-emitting diode* (LEDs), utilizando-se sistemas de acumulação por baterias, tendo como efeito final, a economia de eletricidade; etc.

Ante as necessidades do aporte de recursos econômicos para a realização das medidas tecnológicas acima exemplificadas, observa-se como elas estão imbricadas com as de natureza econômica. Entretanto, também se deve reconhecer a ocorrência de eficiência energética decorrente de medidas puramente econômicas; por exemplo, aquelas resultantes de alterações introduzidas no planejamento de produção, objetivando reduzir ou eliminar uso de eletricidade comprada nos horários de pico (com custos elevados). A priori, essas são medidas

apenas de redução de custos e não de eficiência energética; no entanto, elas podem ter dois desdobramentos: no primeiro, podem resultar na introdução de novos sistemas/equipamentos de substituição energética para esses horários, o que implica medida tecnológica complementar. No segundo tipo de desdobramento, as alterações introduzidas no planejamento de produção podem ensejar opções diferenciadas nos usos finais da indústria, as quais resultem em racionalização de energia, sem a necessidade de sistemas/equipamentos de substituição energética.

As medidas comportamentais se apoiam em mudanças de hábitos e padrões de uso, que levam à diminuição da utilização de energia, sem qualquer alteração nos sistemas/processos sob interesse: desligar lâmpadas, equipamentos e dispositivos fora de horário estrito de uso; não tolerar isolamento térmico defeituoso, operação de equipamento fora das suas condições específicas de balanceamento, etc; não conviver com defeitos crônicos de equipamentos operando fora dos indicadores de eficiência especificados nas respectivas tecnologias; etc. São medidas de natureza comportamental, que podem conduzir a resultados significativos de eficiência energética na indústria; os seus níveis de aplicação e resultados dependem da cultura corporativa.

Por serem de espécie comportamental, essas medidas também estão conectadas às formas de pensar e às visões de mundo das pessoas: a cultura. Por exemplo: subir ou descer até três pavimentos, nas instalações industriais ou nos escritórios da empresa, sem o uso do elevador é uma medida que resulta diretamente em eficiência energética; ela é fortemente relacionada ao conhecimento tácito e às visões de mundo próprias de cada pessoa, e independente do conhecimento explícito ou da cultura corporativa.

Embora as medidas comportamentais sejam as que apresentam maior visibilidade quanto às relações com a cultura, as tecnológicas e econômicas igualmente dependem de um ambiente corporativo culturalmente favorável. Estas ficariam significativamente prejudicadas numa cultura corporativa, por exemplo, negligente quanto aos custos da energia ou avessa à atualização tecnológica e a investimentos, ou que adotasse uma sistemática de tomada de decisão apenas sob intensas pressões competitivas, quando essas medidas estivessem relativamente atrasadas na dinâmica setorial.

Portanto, para quaisquer ações ou medidas de eficiência energética requer-se a predominância de um ambiente cultural, que lhes seja favorável, o qual também permita a formação de redes sociais de indução à eficiência energética industrial, no interior da organização e do setor.

Essas redes sociais trocam e divulgam informações relevantes acerca dos indicadores de eficiência, e das tecnologias disponíveis e emergentes energeticamente mais eficientes, projetos inovadores e experiências realizadas, etc. Elas são formadas por engenheiros, técnicos, gestores e tomadores de decisão pertinentes ao ambiente da indústria, estendendo-se e operando nos níveis organizacional, do setor/segmento e dos atores determinantes da dinâmica competitiva setorial: fornecedores de tecnologia, laboratórios de ensaios, instituições de pesquisa, bancos e agências de fomento, governo (e respectivas políticas públicas), agências reguladoras, organizações certificadoras e normativas, etc.

Em tal contexto, as redes sociais de indução à eficiência são indispensáveis às etapas de aprendizado, realização e avanço progressivo de sistemas/processos industriais energeticamente eficientes, reduzindo as assimetrias de conhecimento no interior da organização e do setor.

No universo das medidas de eficiência energética acima mencionadas, também se inclui a substituição de fontes primárias e formas secundárias de energia, que resultem em ganhos sistêmicos de eficiência. Sob requisitos de viabilidade geopolítica, tecnológica e econômica, a presença das fontes renováveis de energia é prioritária nessa opção de substituição. Esse componente renovável decorre da relação direta da eficiência energética com a sustentabilidade. Por exemplo, é inquestionável o ganho sistêmico de eficiência das unidades sucroalcooleiras, que, além de já utilizarem o bagaço de cana-de-açúcar em regime de cogeração, também o fazem como GD. Processos de racionalização de energia com preferências por uso de eletricidade e calor de fontes renováveis também são exemplos de substituição energética comprometida com a sustentabilidade.

Ponderados os requisitos de viabilidade acima citados, a participação das renováveis nos projetos de eficiência energética deve ser no maior nível permitido, não havendo definição de percentual mínimo. A eficiência energética, portanto, concerne a processos planejados de racionalização de energia, os quais, em concomitância com a diminuição do uso da energia, também produzam e propaguem consequências positivas na sustentabilidade socioambiental.

Na impossibilidade da participação das renováveis, o projeto de eficiência energética prosseguirá e ficará circunscrito à racionalização de energia em conformidade com o conceito original do sistema/processo sob interesse. Na prática, ao disponibilizar energia antes utilizada, a eficiência energética equivale a usinas virtuais “produtoras” de energia nova.

Quanto ao seu dimensionamento, a eficiência energética (η) é medida em indicadores termodinâmicos e se apoia, para fins de análise fundamental, no balanço de energia expresso pela primeira lei da Termodinâmica, aplicada a um sistema energético. Ver a Fig. 3.1.

Figura 3.1 – Sistemas de conversão de energia: eficiência energética

A partir da Fig. 3.1, tem-se que:

$$\eta = \frac{E_u}{E_i} = \frac{E_i - P}{E_i} = 1 - \frac{P}{E_i} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

De acordo com o interesse da empresa, considerando o setor em que ela atua e seus segmentos de produtos/serviços, esses indicadores termodinâmicos poderão ser convertidos para físico-termodinâmicos, econômico-termodinâmicos ou econômicos.

Entretanto, como expresso nas Fig. 3.1 e Eq. 3.1, deve-se estar alerta para a sua limitação à primeira lei da Termodinâmica. Em função da complexidade das tecnologias disponíveis na unidade industrial e dos níveis de potencial termodinâmico presentes ou a serem adquiridos, sendo necessária a determinação da qualidade de energia, essa medida de eficiência energética (η) deve ser corrigida pela segunda lei. Nessa hipótese, o balanço de entropia e os cálculos de

exergia são acrescentados. Quando aplicáveis, esses cálculos devem ser feitos de acordo com o método exergético. As questões da adequação dos combustíveis a serem utilizados e dos potenciais de eficiência das tecnologias disponíveis ou a serem adquiridas também devem ser resolvidas com base nesse método.

Na indústria, cada sistema e cada unidade de produção tem suas especificidades, tanto em relação aos seus parâmetros de processo quanto às tecnologias disponíveis; adicionalmente, ainda podem ser encontrados os mesmos usos finais de uma mesma planta industrial ou de diferentes unidades da mesma organização, que dispõem de tecnologias diferentes.

Além dessas especificidades, o gestor da energia deve visualizar o uso final sob interesse, e os bens e serviços produzidos. Por exemplo: se um gerador de vapor moderno satisfaz a um elevado indicador de eficiência energética, ainda cabe discernir se ele próprio, as opções de fontes de energia de entrada e o processo envolvido são os mais adequados quando submetidos a uma visão tecnológica contextual do sistema ou subsistema industrial como um todo. Essa visão deve respaldar a decisão em termos de qualidade de energia, disponibilidade geopolítica das fontes, custos de mercado, produtividade, segurança energética e meio ambiente. Orientado por esse entendimento interdisciplinar, o gestor da energia considera não apenas a eficiência e o custo de mercado do equipamento, especificamente, mas, também, o seu desempenho no contexto maior da produtividade da sua unidade de produção.

Sendo assim, de forma geral, a indústria deve evitar o uso de indicadores de eficiência nacionais, dotados de largos limites de tolerância, que não correspondam estritamente às especificidades da instalação. Devem ser utilizados os indicadores de eficiência provenientes dos fornecedores das tecnologias em uso. Quando houver dúvidas quanto à confiabilidade destes, que sejam solicitados serviços especializados de laboratórios de ensaios ou outras instituições de pesquisa relacionadas às tecnologias sob interesse, objetivando trazer clareza aos indicadores em causa.

A eficiência energética na indústria tem os seguintes objetivos:

- eficiência no uso final da energia;
- esclarecimento das implicações socioambientais da energia, com suas externalidades positivas e negativas, e das opções de mitigação dos seus efeitos;

- gestão das cargas;
- recuperação de energia;
- desempenho energético da cadeia de valores;
- compromisso dos órgãos de marketing, engenharias de projeto/produto e industrial, manutenção, contabilidade e finanças com as medidas de redução do uso de energia;
- divulgação de informações técnicas e econômicas acerca de tecnologias energeticamente mais eficientes;
- mudanças no comportamento de uso da energia;
- redução dos custos da energia;
- contribuição efetiva da energia na competitividade da indústria.

3.2. Gestão da energia

A gestão da energia na indústria compreende o conjunto de atividades sistemáticas e planejadas, que assegurem o funcionamento de subsistemas de conversão, transporte, armazenamento e uso da energia, sob requisitos econômicos e socioambientais, competitivos e sustentáveis, claramente estabelecidos e controlados, contemplando as dimensões, a saber:

- recursos naturais, renováveis e/ou não-renováveis, disponíveis para extração;
- conversores utilizados e os seus graus de adequação e desempenho;
- espaços geo e bioecológicos, e as organizações humanas sob interferência do sistema energético adotado;
- *stakeholders* afetados;
- externalidades positivas e negativas da energia;
- metodologias utilizadas para audição e participação desses *stakeholders* no processo de tomada de decisão quanto à adoção, ou não, do sistema energético sob interesse de implantação ou expansão e as medidas de mitigação e/ou adaptação, aplicáveis;
- controle dos custos da energia;
- criação de instrumentos de gestão da energia.

Os *stakeholders* são os elementos e organizações, que sofrem influência pelo funcionamento da empresa, tanto os internos ao negócio, como os acionistas, colaboradores e fornecedores, quanto os externos, como o governo, a comunidade, as organizações não-governamentais, a escola, etc. Os *shareholders* são os *stakeholders* que detêm as ações da empresa; isto é, os investidores (acionistas) ou proprietários.

A gestão da energia na indústria abarca a visão da energia como elemento estratégico, integrante do planejamento estratégico da empresa, cujas ações respeitantes devem ser igualmente planejadas e executadas, de forma contextualizada com a problemática socioambiental, local, regional e global, constituindo-se, assim, numa das principais políticas corporativas, devendo revelar o grau de atualidade da visão e da missão empresariais, e compatibilizar os interesses entre seus *shareholders* e *stakeholders*.

Portanto, na indústria, a questão energética se insere numa política ampla e perene de energia e sustentabilidade, e responde aos contínuos desafios de tecnologia, competitividade e geração de riqueza, que se interpõem e surdem, com exigências crescentes, na luta competitiva das empresas. Além de tratar dos custos da energia e se responsabilizar pelo seu controle, no contexto do planejamento estratégico do negócio a gestão da energia está comprometida com a competitividade da empresa no mercado.

Face às evidências técnico-científicas e práticas da vinculação e correspondência entre as dimensões da conversão, transporte e uso da energia e as da sustentabilidade, a gestão da energia requer uma visão gerencial interdisciplinar e esclarecida acerca dessa relevante e atual problemática: energia e sustentabilidade. A visão tradicional, parcial, por exemplo, especificamente técnica ou administrativa ou, financeira, em que aquelas dimensões são percebidas separadamente, está ultrapassada.

Nessas condições, a visão gerencial dos tomadores de decisão da organização, deverá descortinar que a demanda energética dos sistemas/processos industriais, irremediavelmente, gera, em paralelo às suas externalidades positivas de produção de bens e serviços necessários à sociedade, externalidades negativas sobre o mosaico geo e bioecológico atingido e as organizações humanas dispostas sobre ele. É da responsabilidade corporativa e da gestão da energia a visualização preventiva desse contexto, objetivando um planejamento integrado de recursos em direção à eficiência nos usos finais da indústria.

A visão gerencial aplicável à gestão da energia na indústria busca alcançar a plenitude do conceito de gestão, o qual está diretamente relacionado com a responsabilidade pelo êxito ou fracasso da empresa; conhece, interpreta e entende a imbricada problemática energia e sustentabilidade e o seu compromisso com ela. Não se trata, portanto, de uma mera gerência departamental, consistida apenas por vínculo empregatício e visão especificamente técnica.

Inspirado na concepção e na visão gerenciais expostas, o modelo de gestão da energia na indústria representa um rompimento com os arranjos (modelos) tradicionais do passado, nos quais, aquela ficava circunscrita aos setores de utilidades, de manutenção, de engenharia industrial, etc., e restrita a papéis departamentais, muitas vezes, sob comportamento de “gueto”. Neste, os setores/departamentos funcionavam como “empresas estanques” dentro da empresa maior, defendendo interesses e orçamentos próprios, perdendo-se a maior parte da visão integrada e das dimensões de competitividade do negócio como um todo, frustrando grande parte do esforço gerencial. O modelo de gestão da energia na indústria se funda na ação gerencial integradora, empreendedora e comprometida com a competitividade, a lucratividade, a sustentabilidade socioambiental e o futuro da empresa.

Sendo assim, a gestão da energia se apoia em instrumentos gerenciais bem determinados, como a análise da cadeia de valores do empreendimento, o controle das externalidades positivas e negativas da energia, a auditoria energética, etc. Ver Fig. 3.2.

Figura 3.2 – Gestão da energia na indústria

Por meio dos instrumentos gerenciais expostos, a Fig. 3.2 esclarece a característica interdisciplinar e empreendedora da gestão da energia na indústria.

3.2.1. Análise da cadeia de valores

Objetivando estabelecer metas de desempenho energético da planta industrial, deverá ser feita a análise da cadeia de valores da produção, considerando os elos a montante e a jusante desta. Nos elos a montante da cadeia de valores dos sistemas/processos, é essencial conhecer o perfil da demanda de energia e o grau de interferência das matérias-primas, embalagens e outros componentes utilizados, na maior ou menor intensidade energética do negócio como um todo e seus impactos na sustentabilidade. Por esse motivo, dentre outras opções, deve-se questionar, por exemplo, a utilização de uma embalagem de alumínio, densamente energointensiva.

Nos elos a jusante, deve ser investigado o grau de intensidade energética dos bens e serviços finais ofertados e dos seus sistemas de logística e distribuição. Essa investigação conduzirá à justaposição da cadeia de valores do negócio nos escopos da indústria, do segmento e geográfico, em que se examina a natureza desses bens e serviços produzidos; suas tecnologias de processo e produto; suas premissas de custos diretos, indiretos e de níveis de estoque; sua localização em relação à disponibilidade geopolítica das fontes energéticas e matérias-primas necessárias, e aos mercados consumidores. Por exemplo, uma cadeia logística extensa e dotada de vias de transporte, portos e outros componentes, degradados, anula todos ou grande parte dos esforços em eficiência energética nos sistemas/processos produtivos; pois, tais dimensão e qualidade de cadeia logística serão muito demandantes de energia e custos. Na hipótese de cadeias logísticas de menor extensão, entretanto, degradadas, como, por exemplo, modal rodoviário com vias de baixa qualidade, certamente, também serão energeticamente ineficientes e implicarão maiores custos.

Esses exemplos demonstram que a análise da cadeia de valores exige visão, além de considerações técnicas e econômicas, mais amplas do que apenas focalizar em esforços internos de eficiência energética, sobre os sistemas/processos de produção, sem conectá-los com seus elos a montante e a jusante. O compromisso da gestão da energia com a competitividade da empresa acima mencionado já indicava a necessidade dessa visão.

Para o completo planejamento energético da unidade de negócios, a cadeia de valores interna de produção também é avaliada quanto às fontes e formas de energia de entrada, a qualidade de energia e os usos finais, incluindo os bens/serviços ofertados ao mercado, ponderados em conformidade com os indicadores físico-termodinâmicos, econômico-termodinâmicos e econômicos definidos anteriormente. A análise das tecnologias disponíveis na planta industrial, com o seu grau de intensidade energética e sua influência nos custos, constitui fator preponderante desse planejamento energético. Nessa parte interna da cadeia de valores, para esclarecimento da qualidade de energia, deve ser feita a análise exergética de acordo com as condições de contorno anteriormente recomendadas.

3.2.2. Controle das externalidades

No que se refere às externalidades, positivas e negativas, da energia, diante das fontes e formas de energia utilizadas e do seu nível de demanda, a gestão da energia deve ter clareza

quanto ao atendimento às necessidades da sociedade por parte do empreendimento e seus impactos socioambientais, abrangendo os mosaicos geo e bioecológicos e as organizações humanas distribuídas sobre eles. Com essa visão, a gestão da energia deve buscar respostas para questões, tais como:

- no âmbito dos *stakeholders*, a geração de riqueza produzida pelo empreendimento traz outros efeitos positivos para a sua comunidade (novas oportunidades de educação; indução a uma atuação mais efetiva do poder público, com melhoria no saneamento, na segurança; etc.)?
- as fontes e formas de energia de entrada dos sistemas industriais são de origem eminentemente fóssil? As renováveis também estão presentes?
- É possível, e economicamente viável, implementar medidas de eficiência energética com a participação das energias renováveis?
- Os níveis de poluição (geração de entropia) decorrentes dos sistemas/processos em causa estão contidos nos limites permitidos pela legislação ambiental respeitante?
- Em que grau a entropia produzida afeta os espaços bio e geoecológicos, e a população assentada sobre eles?
- Em que grau os custos (decorrentes da aplicação da legislação ambiental) dessa entropia afetam a rentabilidade e a sobrevivência do empreendimento?
- Há metodologia de pesquisa e estrutura gerencial, na organização, que sistematizem essas informações e lhes deem consequências práticas?

Essa análise das externalidades usa como base os coeficientes de emissão derivada da queima de combustíveis fósseis, emitidos pela IEA (1994), e os respeitantes à legislação ambiental nacional pertinente, a qual é aplicável desde a fase do licenciamento ambiental, na implantação e ao longo da vida do empreendimento.

Quanto às emissões de poluentes em geral e de material particulado em especial, deve-se ainda elucidar que, apesar das suas limitações físicas, em função do setor industrial envolvido e do espaço geopolítico em que o empreendimento está inserido, as vantagens de eficiência energética da bioenergia podem ser elevadas. É o que ocorre, por exemplo, no setor sucroalcooleiro com a utilização do bagaço de cana-de-açúcar em sistemas de cogeração; no fornecimento de calor de processo de baixa (T_b) e média (T_m) temperaturas ($T_b < 393$ K e

$393K \leq T_m \leq 692K$), utilizando-se gerador de vapor à base de lenha; uso do carvão vegetal, proveniente de florestas energéticas, em sistemas atuais de redução no setor siderúrgico; etc.

3.2.3. Referencial analítico

Com base em Godoi (2008), o referencial analítico é formado pelo conjunto de dados coletados e organizados a partir dos relatórios de auditorias ou diagnósticos energéticos, que permite a compreensão da situação atual da eficiência energética da planta industrial e dos estudos prospectivos, que podem conduzir a alterações moderadas ou à completa substituição dos sistemas industriais. O referencial analítico também abarca os resultados das ações corretivas implementadas, informações decorrentes do treinamento de pessoal, da mudança de hábitos, etc. Os dados técnicos, econômicos e socioambientais, gerados internamente, são traduzidos em termos de indicadores, os quais irão formar e alimentar o referencial analítico. Dessa maneira, o referencial analítico é o banco de dados da energia, que permite a respectiva gestão; ele contém indicadores termodinâmicos, físicos, físico-termodinâmicos, econômico-termodinâmicos e econômicos.

Os indicadores que relacionam a energia com a sustentabilidade também fazem parte do referencial analítico. Eles podem ser do tipo físico-termodinâmico, como, por exemplo, as t CO₂, t NO_x, t SO_x, toneladas de efluentes lançados nos corpos d'água sob licença das tolerâncias legais, toneladas de resíduos sólidos tratados, etc., por unidade de energia utilizada; também podem ser do tipo físico, como, por exemplo, para registrar a poluição de cádmio (Cd) ou chumbo (Pb) nos corpos d'água, mensurada em miligrama/litro (mg/l); etc. Esses indicadores obedecem a padrões estabelecidos na legislação ambiental respeitante, a qual varia em função das condições socioambientais de suporte, presentes na região onde se localiza o empreendimento. No Brasil, ainda que haja regulação nacional emanada, por exemplo, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), vários dos estados da federação dispõem de legislação ambiental própria.

Esse banco de dados deve ser estruturado em sistema informatizado, permitindo fácil manuseio, extração estatística, tratamento gráfico, publicação, etc. Os indicadores econômicos, sejam os de custos operacionais ou as avaliações econômicas estruturadas, contendo taxas de retorno, cálculos do custo da energia conservada, etc., que são essenciais

para entendimento da influência dos custos da energia na competitividade do negócio e para a tomada de decisão de investimentos, igualmente, fazem parte do referencial analítico.

A instrumentação de processo é uma das condições básicas para a efetividade do referencial analítico. A gestão da energia na indústria preconiza que os sistemas/processos respectivos estejam adequadamente instrumentados, sem o que não há possibilidade nem efetividade de medidas, tampouco de sistematização.

O referencial analítico se constitui na principal ferramenta “analítica” para o entendimento da situação existente, tomada de decisão e realimentação do processo de gestão da energia.

3.2.4. Controle dos custos

No que se refere à determinação e ao controle dos custos, a gestão da energia é responsável pela negociação dos diversos energéticos no mercado, além do desempenho destes no contexto da qualidade de energia e das tecnologias disponíveis ao longo do funcionamento dos sistemas/processos industriais; isto é, não é apenas necessário o cotejo dos custos de mercado da energia necessária à unidade industrial, mas, adicionalmente, a produtividade da energia de entrada ao longo dos usos finais até a disponibilidade dos bens e serviços produzidos. Esse tipo de análise de custos (que considera, além da compra, a adequação ao uso da energia comprada) é fundamental no sentido de que, em várias aplicações, a existência de energéticos de menor custo de mercado não implica, necessariamente, menor custo final da energia: a análise da qualidade de energia frente às tecnologias disponíveis na planta industrial é indispensável. Essa avaliação mais ampla na determinação e no controle dos custos da energia abarca as diversas fontes primárias e formas secundárias de energia, utilizadas.

Embora essa abordagem de custos, ainda que indispensável, apresente limitações diante das tecnologias disponíveis com seus indicadores de eficiência preexistentes, é crucial como suporte à tomada de decisões de investimentos em modernização de sistemas/processos em uso. Por ocasião desses investimentos, essa análise de custos fornece parâmetros econômicos para se ponderar, preventivamente, as questões da qualidade de energia e das novas tecnologias a serem adquiridas, contribuindo, assim, para uma melhor qualidade de projeto e, portanto, para um maior desempenho energético.

Na análise dos custos com objetivo de investimentos em energia (por exemplo, modernização parcial ou substituição completa de sistemas/processos/equipamentos antigos por novos, energeticamente mais eficientes), deve ser mensurado o custo do ciclo de vida (CCV) do empreendimento, o qual representa o valor presente de todos os custos associados ao tempo de vida do investimento, incluindo desde o capital inicialmente necessário, os juros sobre eventuais empréstimos ou o capital próprio investido, além dos demais custos de operação e manutenção do objeto do investimento. Sabendo-se os níveis desses indicadores econômicos tolerados pelos investidores, de acordo com Sauer (2009) define-se o fator de recuperação do capital (FRC) aplicado.

Para se conhecer o valor presente de uma série de desembolsos (pagamentos) uniformes, por intervalo de tempo “n” considerado (mês ou ano), para ressarcimento de todos os custos de capital, manutenção e operação do empreendimento, com base no FRC, o CCV é anualizado ($n = 1$ ano) e transformado em custo do ciclo de vida anualizado (CCVA).

Essa análise de custos é decisiva para a avaliação de investimentos em energia. Num exame preliminar, se o CCVA é inferior aos custos operacionais, o investimento está viabilizado. Numa fase mais avançada da análise de investimento, outros fatores poderão ter peso relevante na decisão: os níveis de eficiência das tecnologias emergentes, os custos socioambientais, os custos das estratégias de pioneirismo no interior da estrutura setorial, os custos de imagem de mercado, etc.

Outra dimensão de custo, essencial, a ser conhecida é o custo da “energia salva”, aquela que deixa de ser necessária, tornando-se disponível pela ação de eficiência energética; é aquela enquadrada no conceito de “geração virtual” de energia, que resulta de um processo bem sucedido de eficiência energética. O custo dessa energia é conhecido como custo da energia conservada (CEC) e calculado em função da eficiência e da vida útil das novas tecnologias adquiridas, e suas vantagens econômicas em relação às disponíveis, quando considerados os custos de mercado da energia, dentre outras variáveis.

No controle dos custos, a gestão da energia ainda deve definir metodologia para cálculo dos custos socioambientais, das variações e incertezas quanto aos preços futuros da energia e os relacionados à segurança energética. Quanto aos custos socioambientais, três métodos de

cálculo já são praticados: o de custo direto (tipo dose-resposta), o de custo dos danos socioambientais potenciais e o da avaliação contingente.

Pelo método de cálculo do custo direto, por exemplo, os danos socioambientais da energia são diretamente calculados e expressos em termos, tais como, danos à saúde por emissões atmosféricas nas grandes cidades ou poluição em rios, incorrendo em prejuízos à economia de comunidades pesqueiras e aos demais usuários da água (fornecimento de água potável para cidades, irrigação, etc.). A definição dos custos dos danos potenciais é mais complexa, pois requer conhecimento acerca, por exemplo, dos danos de determinada espécie de poluição sobre a agricultura, sobre as trocas comerciais de determinados bens de produção, etc. Enquanto que, o método da avaliação contingente apresenta algumas variações nas quais podem ser realizadas pesquisas diretas “de campo” para avaliar, por exemplo, quanto uma comunidade específica está disposta a pagar para evitar determinado dano socioambiental diretamente sobre ela ou dano ao ambiente natural em que vive.

A curva de experiência desses métodos de cálculo dos custos socioambientais, com consequências de aperfeiçoamento nas suas práticas em geral, encontra-se em expansão na área das ciências ambientais.

O exemplo dos custos da saúde, por decorrência da poluição atmosférica na cidade de São Paulo, exposto no Capítulo 1, indica que estudos e publicações acerca dos resultados dos custos socioambientais calculados por esses métodos estão chegando ao conhecimento da sociedade. As empresas que desejam conhecer os custos socioambientais decorrentes dos seus sistemas/processos de produção/conversão, estimulam uma ação interdisciplinar de estreita colaboração entre as suas áreas de gestão da energia e gestão ambiental. Esses indicadores devem fazer parte da estrutura de custos e alimentar o referencial analítico do empreendimento.

Essa interface de levantamento e análise dos custos da energia, incluindo os da sustentabilidade socioambiental, resultando em ações preventivas eficazes, deve ser um elemento prioritário da gestão industrial em geral e da gestão da energia, associada à gestão ambiental, em particular, pois ela representa uma expectativa sustentável para os bens e serviços produzidos, no mercado, conferindo dimensões intangíveis de competitividade

(dimensões competitivas do conhecimento) de grande relevância para a lucratividade do negócio.

No que concerne ao aumento da participação das renováveis nos projetos de eficiência energética, os custos respectivos têm decrescido significativamente, tornando-as cada vez mais viáveis. Por exemplo, os leilões de eletricidade de fontes renováveis (eólica, biomassa e PCH), de agosto/2010, foram negociados com custo médio inferior ao custo marginal de expansão do sistema elétrico. De acordo com CNI (2009) e EPE (2010c), esses custos se apresentaram nos níveis de R\$ 133,56/MWh e R\$ 138/MWh, respectivamente.

O setor de controle de custos, portanto, deve desenvolver esforços de levantamento de dados e investigação quanto à emergência de novas tecnologias, com o objetivo de dar respaldo à gestão da energia, visando à viabilidade das renováveis com a finalidade de aumentar a eficiência energética industrial e seus benefícios socioambientais.

3.2.5. Auditoria energética

A auditoria energética é um dos principais instrumentos (ferramentas) da gestão da energia. Por meio das suas atividades, ela é responsável pela tomada de conhecimento e interpretação da situação atual; elaboração de estudos prospectivos em direção à situação futura, modificada; tomada de decisão; melhoria e desenvolvimento das ações de eficiência energética; retroalimentação contínua do referencial analítico; etc.

Dentre os diversos textos disponíveis, todos de grande importância para a auditoria energética, deve-se observar as diferenças existentes entre os que são eminentemente técnicos e aqueles que estabelecem relações entre as dimensões da energia e as da sustentabilidade. Os primeiros, usualmente, estudam, por exemplo, a eficiência energética em sistemas de ar comprimido, em geradores de vapor, sistemas de acionamento mecânico e de transporte de massa e energia, etc.; enquanto que, outros estudos sobre auditoria energética, adicionalmente a estes elementos técnicos indispensáveis, incluem as relações da energia com as dimensões socioambientais afetadas, incluindo as externalidades e os aspectos de incerteza energética, induzem a responsabilidade da organização para com a sustentabilidade, etc.

Essas diferenças conceituais implicam métodos e atitudes de auditoria significativamente distintos: desde o planejamento das atividades, treinamento da equipe, métodos utilizados, qualificação do auditor e sua atitude em campo, além de aspectos (técnicos e comportamentais) a receberem cautela especial em relação ao tratamento gerencial interdisciplinar, tanto durante o levantamento dos dados quanto nas formas de relato e divulgação de resultados. Estas características conferem uma distinção significativa entre auditorias energéticas de viés técnico e aquelas que contemplam elementos da sustentabilidade, da cultura corporativa, dentre outros fatores.

3.2.6. Emissão de relatórios e análise de resultados

Por meio destas atividades, os resultados da auditoria energética são reportados, analisados e sistematizados, relatando as situações atual e projetada, recomendações e conclusões. A emissão desses relatórios é intrínseca à atividade de auditoria ou a quaisquer outras iniciativas decorrentes da análise de desempenho; publicação de estatísticas; informações de mercado, que sejam de interesse; etc.

No caso dos relatórios de auditoria, estes contêm a identificação da empresa/unidade auditada; resumo executivo; estudos energéticos realizados, com respectivos sistemas elétricos, térmicos e mecânicos envolvidos; balanços energéticos; diagramas de Sankey; conclusões e recomendações; etc.

Os relatórios esclarecedores do desempenho energético são estruturados em sistema de banco de dados, ao mesmo tempo compondo e realimentando o referencial analítico acima definido.

3.2.7. Implementação das ações corretivas

As ações corretivas decorrem de não-conformidades no funcionamento dos sistemas/processos industriais, as quais sejam detectadas diretamente pelos sistemas de controle de processo (instrumentação de processo) ou pela inspeção/supervisão de campo ou, por meio da análise de resultados de atividades de diagnóstico ou auditoria energética.

Objetivando aumentar a qualificação do banco de dados e da expertise das equipes envolvidas no que se refere ao desempenho energético das tecnologias disponíveis na unidade industrial,

as não-conformidades detectadas e respectivas ações corretivas realimentam o referencial analítico. Ao resultar de não-conformidades detectadas, as quais, certamente, representaram anomalias operacionais ou tecnológicas, a implementação das ações corretivas induz estudos e análises apuradas sobre suas causas. Esses estudos implicarão aperfeiçoamento de métodos e parâmetros operacionais, contatos e investigações conjuntas com outros setores da organização ou com fornecedores de tecnologia, etc., os quais, necessariamente, conduzirão ao desenvolvimento da expertise do pessoal envolvido e ao aumento do nível das informações contidas no respectivo banco de dados, isto é, no referencial analítico.

Na prática operacional da instalação, essa realimentação (retroalimentação) é essencial para a solução de defeitos similares ou relacionados, que se repetem ao longo da vida da instalação, e para a tomada de decisão de mudança tecnológica.

3.2.8. Controle das interfaces gerenciais

O controle das interfaces gerenciais é elemento indispensável da gestão da energia e conforma uma atividade de grande mérito gerencial. No Brasil, por haver maior empenho e denodo técnico específico por parte dos engenheiros e tecnólogos atuantes na indústria, as interfaces gerenciais sofrem de crônica escassez. O resultado dessa deficiência é a existência de idéias tecnicamente capazes, que não avançam para além do campo cognitivo; há muitas, bem qualificadas, que, entretanto, só se realizam aos solavancos do estresse organizacional ou jamais são praticadas. Descartando as exceções, a experiência demonstra que, quanto mais qualificados e capazes, os engenheiros e tecnólogos que vivem circunscritos aos espaços industriais, principalmente nos organismos de utilidades, manutenção ou produção, não se sentem confortáveis para atuar nas áreas de eficácia gerencial; normalmente, são trabalhadores de excelência e solitários, sem aptidão para a dialética da gestão e seus requisitos de liderança e relacionamento corporativo.

A maioria das ações de eficiência energética é implementada por órgãos executivos da empresa, os quais, no desenho organizacional, estão em paralelo à gestão da energia. Por exemplo, ações corretivas operacionais ou ações de melhoria de processo são realizadas pelos setores de engenharia industrial, produção e manutenção; ações respeitantes a alterações tecnológicas são conduzidas por interfaces entre os setores das engenharias de projeto, de produto e industrial, e de finanças; etc. Diante da característica ubíqua da energia, em que esta

permeia toda a instalação industrial, a gestão da energia requer relacionamento corporativo amplo, e liderança.

As interfaces gerenciais são controladas por meio de reuniões nas quais estão presentes todos os gerentes envolvidos (os que contribuem) numa determinada iniciativa ou ação corretiva, além do seu responsável. Objetivando eliminar a diluição de responsabilidade, mesmo que vários gerentes estejam envolvidos na missão, apenas um deles é o responsável. Essas reuniões produzirão relatórios executivos para controle das interfaces entre as atividades a serem realizadas e respectivos gerentes, e o responsável. Esses relatórios são indispensáveis para o controle das interfaces gerenciais e, no caso dos assuntos atinentes à energia, entre aquele responsável e o gerente de energia.

O desenvolvimento de aptidões e valores destinados a abrir espaços para a gestão da energia em nível corporativo e, por conseguinte, estabelecer interfaces gerenciais, e controlá-las, é crucial para a visão gerencial anteriormente definida, além de indispensável para converter intenções e projetos tecnicamente competentes em projetos viáveis. Adicionalmente a esses aspectos, ante as suas atividades de monitoramento das atribuições e responsabilidades de gestão acima mencionadas, o controle das interfaces gerenciais também é o instrumento decisivo para a sistematização de todas as atividades, ou seja, dos demais instrumentos gerenciais da energia descritos neste capítulo. Por essas razões, o controle das interfaces gerenciais é contemplado como um dos componentes essenciais da gestão da energia.

3.2.9. Treinamento

O treinamento de pessoal é um elemento fundamental de suporte à gestão da energia. O treinamento não deve ser estanque ou apenas técnico; a sua extensão à identificação dos talentos e das habilidades pessoais é igualmente indispensável. Esse treinamento também deve ser continuado, com definição prévia das quantidades de homens-hora anualmente dedicadas, nos planos de treinamento e desenvolvimento de pessoal da organização.

O treinamento deve desenvolver expertise em áreas do conhecimento, tais como:

- fontes e formas de energia utilizadas na indústria;
- tecnologias de conversão de energia;

- usos finais e demanda de energia na indústria;
- eficiência energética e energias renováveis;
- tecnologias de processo disponíveis e elementos determinantes do seu desempenho;
- gestão ambiental;
- responsabilidade social empresarial (RSE);
- licenciamento ambiental;
- gestão de pessoas;
- gestão de projetos.

Variados treinamentos em áreas técnicas específicas, como as de sistemas de transporte de energia, isolamento térmico, redução da utilização de energia em sistemas de bombeamento, planejamento do uso da eletricidade em função das classes de tarifas, controle de emissões, etc., também são recomendados.

Ainda que o setor de energia seja naturalmente requerido para receber e, ao mesmo tempo, prover treinamento nos assuntos diretamente relacionados à energia acima mencionados, os setores das engenharias de projeto, industrial e manutenção, além do setor de gestão ambiental, serão igualmente determinantes. Quando necessário, serão feitos cursos e visitas em fabricantes de equipamentos e fornecedores de tecnologia em geral, como empresas de engenharia e laboratórios de pesquisa, desenvolvimento e teste de protótipos; cursos de extensão ou pós-graduação em universidades também serão aplicáveis; etc.

Nesse contexto amplo, o treinamento é planejado e gerenciado pelo órgão de recursos humanos, utilizando plataformas de treinamento interna e externa à organização. As gerências executivas, incluída a da energia, recebem feedback e acompanham o desenvolvimento do seu pessoal.

Na plataforma interna de treinamento, os conhecimentos tácito e departamental são combinados para desenvolvimento e disseminação do conhecimento explícito da empresa. Esse objetivo será atingido por meio de reuniões, palestras e seminários internos, demandados e planejados em conjunto pelas diversas gerências executivas e a de recursos humanos, sendo coordenados por esta. A plataforma externa de treinamento, que envolve entidades, tais como, fornecedores de tecnologia, laboratórios externos, consultores, universidades, etc., responderá

a necessidades específicas de investigações mais apuradas acerca da eficiência das tecnologias disponíveis e emergentes, do aperfeiçoamento dos métodos de gestão operacional, etc., e ao desenvolvimento gerencial mencionado adiante.

De acordo com a visão gerencial anteriormente descrita, o treinamento é de natureza interdisciplinar e, portanto, aplica-se aos diversos organismos da empresa, tais como, recursos humanos; finanças; engenharias de projeto, industrial, ambiental; manutenção; energia; etc.

No âmbito do treinamento, as atividades de motivação são consideradas vitais, sendo praticadas no sentido de provocar a mudança comportamental adequada aos hábitos de melhor utilização da energia, desde a atenção em desligar lâmpadas e equipamentos em horários em que são desnecessários, passando pelos hábitos da manutenção de não conviver com defeitos crônicos em equipamentos e sistemas, etc. A evolução da cultura corporativa no que se refere à questão energia e sustentabilidade é um dos objetivos de maior interesse das atividades de treinamento.

3.2.10. Publicação de ações e resultados

A publicação de ações e resultados respeitantes à eficiência energética dos sistemas/processos é um elemento de grande significado para a divulgação de dados e indicadores formadores do referencial analítico. As ações e resultados publicados são aqueles relacionados ao alcance de metas, às realizações da política energética, a ações corretivas relevantes e aos programas de eficiência energética da organização. Essa atividade também inclui a publicação dos indicadores de sustentabilidade, revelando a forma e o grau em que esta é afetada pelo uso da energia.

O exame e a interpretação dessas informações, pelas demais gerências e diferentes níveis organizacionais, conferem reconhecimento e prestígio à gestão da energia no ambiente corporativo, funcionam como facilitador das interfaces gerenciais e produzem fortes elementos de convicção nos processos de tomada de decisão, como, por exemplo, nos de investimentos em eficiência envolvendo novas tecnologias. Na prática gerencial, é sempre frustrante, tanto para a gestão da energia como para as demais gerências executivas, quando planos, metas ou mesmo ações corretivas de maior significado, os quais incluem ações interdisciplinares, são realizados e os envolvidos não ficam sabendo exatamente quais foram

os resultados atingidos. Essa publicação vem solucionar essa lacuna gerencial, tão corriqueira em muitas empresas.

Sob essa concepção, também se torna patente a importância desse instrumento de gestão da energia na sistematização das demais ferramentas gerenciais descritas ao longo deste capítulo, reforçando, assim, o papel sistematizador do controle das interfaces gerenciais anteriormente mencionado.

Normalmente, as publicações de ações e resultados da gestão da energia são internas à organização. Quando da ocorrência de programas e/ou seus resultados, os quais tenham reflexos sobre a comunidade, o setor no qual a empresa se insere ou sobre o mercado em geral, e sendo do interesse corporativo, essa publicação também será feita externamente.

3.2.11. Retroalimentação

A retroalimentação é a base de aperfeiçoamento e desenvolvimento do modelo de gestão da energia adotado pela empresa. A retroalimentação se dá em cada fase do processo de gestão e entre estas. Por exemplo, o conhecimento produzido (dados, indicadores e informações em geral) por uma auditoria energética, atualiza e produz ações corretivas onde aplicáveis, retroalimentando o referencial analítico; cada fase de geração de informações, sejam estas de natureza técnica ou econômica, retroalimenta as suas equivalentes compiladas no referencial analítico; as informações operacionais, que indiquem alterações no desempenho energético dos sistemas/processos, retroalimenta o status anteriormente registrado e desencadeia as ações corretivas cabíveis; etc.

Essa retroalimentação (realimentação) contínua é responsável por fazer evoluir, de forma igualmente contínua, o referencial analítico da gestão da energia. Ao produzir ações corretivas e atualizar o referencial analítico, a retroalimentação desencadeia ações imediatas, e de médio e longo prazos; respalda tomada de decisão quanto a eventuais mudanças; etc.

A retroalimentação sempre deverá atualizar dados, indicadores, informações; por conseguinte, sempre implicará um conhecimento novo e/ou uma ação operacional local, ou gerencial. Ao desencadear uma decisão/ação decorrente e conectada a uma informação nova, ao longo do tempo, a retroalimentação funciona como um instrumento fundamental e indispensável para o

aperfeiçoamento e o desenvolvimento do modelo de gestão da energia. Ao coligir e recopilar dados e informações, permitindo que se identifiquem coerência, tendências e evolução, a retroalimentação também tem importância crítica na sistematização das atividades gerenciais da energia.

3.2.12. Estrutura de gestão da energia: considerações finais

Abarcando a estrutura acima discorrida, a gestão da energia na indústria é responsável pela coordenação de todas as fontes e formas de energia utilizadas, seus graus de eficiência ante as tecnologias disponíveis, suas interfaces com a sustentabilidade e seus custos, no âmbito da planta industrial, com respectivos usos finais e bens/serviços produzidos. Essas responsabilidades estão contidas nos instrumentos de gestão da energia acima descritos.

Dessa forma, a gestão da energia na indústria pode ser sistematizada em cinco fases, que abrangem desde as negociações de compra de energia no mercado (fase 1), descrita no instrumento gerencial ‘controle de custos’, até a oferta dos bens/serviços finais produzidos pela empresa (fase 5). Ver a Fig. 3.3.

Figura 3.3 – Abrangência da gestão da energia na indústria

A Fig. 3.3 aclara a abrangência da gestão da energia na indústria e demonstra que ela requer uma visão, que alcança o ciclo industrial completo, “de mercado a mercado”. Como se constata, essa representação resume os instrumentos gerenciais da energia acima delineados. Também se esclarece que, além de enfatizar a característica integradora da gestão da energia, essa figura consubstancia a sistematização dos referidos instrumentos gerenciais, como mencionado anteriormente.

Nessa concepção de gestão da energia na indústria pode haver alguma tendência no sentido de sugerir-se um desenho organizacional para esse departamento da empresa; entretanto, aqui, evita-se fazê-lo. Esta decisão se consubstancia no fato de que há uma extensa diversidade de setores e segmentos industriais, e de unidades de produção, evidenciando haver, igualmente, extensas opções organizacionais.

Destarte, dependendo do setor ao qual a empresa pertence, das dimensões físicas e do escopo de produto e mercado dela, as atividades concernentes à gestão da energia podem ser incluídas em setores organizacionais já existentes, assumidas por área específica da própria alta administração, etc. Além de que, a sua capacidade de alcance de metas e o seu desempenho não depende apenas de estruturas físicas, mas, essencialmente, da cultura corporativa quanto à produtividade, e do compromisso da alta administração para com a política de energia e sustentabilidade mencionada adiante. Ademais, maior número de pessoas e/ou departamentos não é sinônimo de alcance de objetivos a custos competitivos, ou de produtividade.

Assim, com a abrangência e os instrumentos gerenciais acima descritos, a gestão da energia é o principal suporte operacional do sistema de governança de energia na indústria.

3.3. Governança de energia na indústria

A importância da governança de energia na indústria surge de evidências objetivas, tais como:

- no mundo e no Brasil, a indústria é o maior usuário de energia;
- aumento sistemático dos custos da energia, com peso relativo crescente nos custos industriais;
- necessidade, progressivamente maior, de atualização tecnológica para aumento da eficiência energética e redução de custos;
- aumento da consciência da sociedade quanto às externalidades negativas da energia, principalmente nas grandes cidades (grandes centros de carga);
- legislação ambiental indutora de investimentos cada vez maiores em tecnologia de sistemas/processos, objetivando mitigar essas externalidades negativas;
- percepção crescente acerca do lucro decorrente da oferta de produtos/serviços associados à conservação ambiental e à melhoria da qualidade de vida;
- surgimento de incentivos econômicos para desenvolvimento/atualização tecnológica;
- instabilidade político-econômica dos países exportadores de energia;

- aumento da resistência comunitária e dos custos socioambientais, diminuição da energia útil do sistema com elevação dos seus custos finais, no aproveitamento dos potenciais hidrelétricos nacionais remanescentes;
- limitações de conteúdo energético, difusão e intermitência, típicas das energias renováveis;
- programas institucionais e mercado autônomo de eficiência energética mais atuantes e em plena evolução.

Esses fatores são determinantes para a elevação do tratamento gerencial da energia pela indústria ao nível da sua alta administração. Diante da extensão e da complexidade da problemática, nacional e internacional, acima alistada, torna-se impossível (e, até, inconsequente) gerir a energia como um insumo qualquer a ser suprido por um setor/departamento da empresa, e sob total delegação aos níveis da gerência restrita (supervisão) ou da média gerência.

Os novos desafios, que se propagam a partir da problemática acima traçada e se apresentam à organização atual, exigem elevados patamares de visão, interpretação e tomada de decisão, que impõem a necessidade da ação direta da alta administração do negócio na questão energia e sustentabilidade. Essa necessidade é ainda maior quando, no caso da empresa industrial, o seu reconhecimento pela sociedade mais, ou menos, positivo em relação a essa questão tem consequências diretas na sua competitividade e capacidade de permanecer gerando valor econômico ou desaparecer do mercado. Por conseguinte, nesse cenário em que se requer a atuação direta da alta administração, passa a ser indispensável um sistema de governança.

Assim, a governança de energia na indústria tem a missão de planejar e coordenar as atividades estratégicas, que, ao mesmo tempo, antecipem, enfrentem e promovam as mudanças, conjunturais e estruturais, concernentes à melhoria contínua do desempenho energético de unidades industriais. Para o cumprimento dessa missão, a governança de energia atua sobre dimensões tecnológicas, econômicas, socioambientais e culturais da organização.

A governança de energia é o sistema, que se apoia na gestão da energia e estabelece o relacionamento harmônico entre a alta administração, os setores responsáveis pela oferta e demanda de energia, internos à empresa, e os agentes externos influentes no mercado e na

política nacional pertinente. A governança de energia engloba o sistema de gestão da energia da empresa e se localiza na sua alta administração.

Para coordenar esse relacionamento harmônico, o sistema de governança de energia institui o Comitê Interno de Governança e Racionalização de Energia (CIGREN), cujos deveres e responsabilidades abarcam a discussão, aprovação e monitoramento de decisões concernentes à energia e relacionadas ao seguinte:

- elementos-chave de convicção da alta administração quanto à problemática energia e sustentabilidade;
- estrutura e dinâmica competitivas do setor;
- economia da energia;
- cadeia de valores;
- política energética;
- balanço energético;
- escopo geográfico da empresa e geopolítica da energia;
- desenvolvimento gerencial;
- interfaces gerenciais;
- relações com o mercado e o governo;
- investimentos em energia e *scorecard* corporativo;
- retroalimentação.

Objetivando atender a este escopo, o sistema de governança de energia na indústria abarca os instrumentos gerenciais definidos na Fig. 3.4. Como se observa nessa figura, ele engloba e se apoia na gestão da energia. Por essa razão, os instrumentos gerenciais anteriormente definidos para esta, passam a fazer parte do sistema de governança de energia. Ver a Fig. 3.4.

Figura 3.4 – Estrutura de governança de energia na indústria

3.3.1. Implicação socioambiental da energia

A visão das implicações socioambientais da energia está imbricada com a identificação dos elementos-chave de inspiração do pensamento estratégico dos executivos corporativos (alta administração) quanto à problemática energia e sustentabilidade. É essencial entender-se os elementos de convicção sobre os quais os tomadores de decisão construíram a sua visão mais ampla acerca dessa questão, que será decisiva na formulação e na implementação da política de energia da organização; por exemplo:

- esses executivos percebem a questão socioambiental contida na energia, ou estão sendo enquadrados por razões (dentre outras) da regulamentação governamental?
- a política energética (mencionada adiante) e seus desdobramentos, tais como, nos investimentos em eficiência energética e na visão socioambiental positiva da empresa por seus *stakeholders*, são consistentes ou voláteis?
- A política energética indica percepção quanto aos impactos socioambientais da energia ou decorre, fundamentalmente, do aumento contínuo dos custos respectivos?
- Há percepção acerca da geração de valor econômico decorrente da implicação socioambiental da energia ou, a gerência apenas “cumpre ordens” providas das suas sedes corporativas?

Dentre outras, indagações dessa espécie são fundamentais na formulação da política energética. Suas respostas dependem da natureza e do embasamento dos elementos-chave de convicção mencionados; saber identificá-los e considerá-los é uma tarefa indispensável para a governança de energia.

O entendimento da implicação socioambiental da energia, consubstanciada na visão das alterações produzidas pelos sistemas energéticos nos espaços geo e bioecológicos, e nas organizações humanas assentadas sobre estes, é um dos principais fundamentos de suporte da política energética e da postura da empresa no mercado.

3.3.2. Estrutura competitiva do setor

A compreensão das estrutura e dinâmica competitivas do setor em que a empresa opera são de importância fundamental para a conexão da política energética com a estratégia competitiva do negócio. Dessa forma, conhecer os indicadores internos e do setor, relacionados à rivalidade e poder de retaliação da concorrência; as barreiras de entrada e o posicionamento de grupos competitivos; evolução do poder de negociação dos fornecedores e clientes, e a velocidade da substituição tecnológica e de produtos são elementos cruciais para a definição de uma política energética eficaz.

Ainda se deve ressaltar que outros elementos determinantes da competição, derivados do macroambiente relevante, como os respeitantes às mudanças na visão e no comportamento da

sociedade; ao surgimento de novos segmentos de produtos e serviços ou de novos mercados; à regulamentação governamental; as rupturas macroeconômicas ou operações de fusões & aquisições de grande vulto, que tragam alterações significativas na estrutura competitiva do setor; etc., igualmente, são de grande importância para a política energética. Alterações nesse macroambiente competitivo propagam influências poderosas nas decisões de investimentos das empresas em geral, não devendo ser negligenciadas pela governança de energia.

3.3.3. Geopolítica da energia

Os estudos de escopo geográfico da empresa e geopolítica da energia também são essenciais na governança de energia. A empresa deve ter noção exata do maior, ou menor, nível de utilização de energia para o desenvolvimento dos seus processos industriais, além do uso necessário no transporte das matérias-primas. Na outra extremidade da sua cadeia de valores, deve conhecer a energia adicional aplicável para mover a logística externa dos seus produtos em direção ao mercado.

Portanto, cresce a importância desses estudos acerca da disponibilidade geopolítica de fontes primárias ou formas secundárias de energia, as quais a empresa necessita para receber seus insumos, produzir e distribuir seus produtos finais. Dessa forma, os eventuais conflitos de localização do empreendimento com a oferta de energia e as condições biogeoecológicas de suporte socioambiental, pesadamente consideradas nos licenciamentos ambientais, requerem cuidadoso exame na implantação de novas indústrias e nos investimentos em expansão ou substituição de sistemas/processos em plantas existentes.

No centro desses estudos, a análise geopolítica deverá responder sobre a maior, ou menor, disponibilidade de oferta comercial de energia, por tipo, na região onde se localiza a planta industrial, em conjunto com o comportamento dos preços/custos respeitantes; por exemplo, se a bioenergia, representa custos menores para os sistemas térmicos ou, se os combustíveis fósseis (no caso de unidades sucroalcooleiras, a bioenergia do bagaço de cana-de-açúcar será uma fonte de larga viabilidade técnico-econômica); se a eletricidade para força motriz é competitiva ou se investimentos adicionais, tais como, em cogeração, são, ou não, recomendados; se há tecnologia e recursos solar ou eólico, competitivos, ou não; etc.

A existência, ou não, de pressão socioambiental e seu grau de visibilidade por parte dos *stakeholders* também deve ser avaliada; usualmente, esse exame é feito em interface com o setor de gestão ambiental.

De tal modo que esses estudos de escopo geográfico e de geopolítica da energia são cada vez mais indispensáveis para uma moderna governança de energia na indústria, pois têm elevada, e crescente, importância nos custos.

3.3.4. Economia da energia

O conhecimento e a análise dos custos da energia na totalidade dos custos industriais é outro instrumento de governança de energia na indústria. Nessa área de desempenho da organização, o sistema de governança se apoia no controle de custos da gestão da energia descrito no item 3.2.4. Não obstante esse apoio, é da responsabilidade da governança de energia acompanhar, tomar decisões e sugerir iniciativas acerca do confronto entre a evolução dos custos das tecnologias disponíveis e as promessas de redução de custos das tecnologias emergentes, energeticamente mais eficientes. Neste sentido, a estrutura de governança deve esforçar-se em conhecer as publicações, nacionais e internacionais, respeitantes.

Os incentivos e subvenções aos investimentos em energia, correntes nos ambientes setorial, governamental e das agências de fomento ao desenvolvimento tecnológico, igualmente, fazem parte da contínua pesquisa de mercado inserida no sistema de governança. A partir dessas informações e do controle de custos previsto na gestão da energia, devem ser planejados e implementados projetos capazes de gerar relações compensadoras entre os custos da energia e os investimentos em eficiência energética.

No que se refere à economia da energia, em complementação às dimensões microeconômica, tecnológica e socioambiental dos custos, previstas na gestão da energia, o sistema de governança, por sua maior abrangência e vinculação direta à alta administração, ainda deverá tratar das dimensões macroeconômica e de política internacional da energia.

Na dimensão macroeconômica, a governança de energia deve verificar e definir em termos de indicadores físicos e econômicos a elasticidade da produção da planta industrial num intervalo de tempo predefinido (por exemplo, anual). Em setores, tais como, alimentos e bebidas, têxtil,

construção civil, etc., a elasticidade da produção, por segmento de produto, pode ser elevada em função de instabilidades, estruturais ou conjunturais, do país ou de uma região. Nessas circunstâncias, o produto interno bruto (PIB) da empresa sofre do mesmo fenômeno de elasticidade e a análise desses dados passa a ser essencial nessa dimensão da economia da energia.

No exame da dimensão macroeconômica, ainda deve haver ponderação quanto ao seguinte:

- escala do empreendimento e grau de intensidade de capital aplicável;
- razões existentes para a realização, ou não, de investimentos por parte de outros atores setoriais, como fornecedores e/ou distribuidores do “pacote” de energia de entrada da indústria;
- análise do comportamento dos preços internacionais dos combustíveis, incluindo os de transporte;
- situação dos custos de importação de energia em relação à disponibilidade de divisas do país, que esclareçam acerca do nível de segurança energética;
- variação dos custos de transação e finais da energia em relação às taxas de inflação e às margens do setor ou segmento de bens/serviços produzidos.

Em função do nível de tributação e encargos sobre a energia, as políticas governamentais para o setor energético também devem ser analisadas e feitas projeções sobre seus desdobramentos futuros, no que respeita aos custos e à segurança energética.

No que concerne à dimensão de política internacional, a governança de energia deve realizar estudos acerca da situação de guerras e da geopolítica internacional mais, ou menos, favorável ao transporte e aos preços internacionais da energia, os quais têm reflexos diretos nos custos e na segurança energética da indústria. Para o caso de empreendimentos localizados em regiões sob influência de fronteira, que dependem de infraestrutura e de fluxos internacionais diretos de combustíveis ou de eletricidade, aumenta a prioridade desses estudos de política internacional da energia.

Sendo assim, percebe-se a importância da análise da economia da energia para os planejamentos energético e estratégico da organização. Os relatórios respeitantes, emitidos

pela governança de energia, constituem peças norteadoras para a tomada de decisão da alta administração, de grande significado estratégico para o desempenho atual e futuro da empresa.

3.3.5. Cadeia de valores

Como descritas no item 3.2.1, as atividades relacionadas à energia e respeitantes à cadeia de valores estão delegadas à gestão da energia. Entretanto, ante as contínuas alterações decorrentes do lançamento de novos produtos/serviços, da atualização tecnológica, dos métodos de gestão operacional, etc., a cadeia de valores tem muito dinamismo na indústria de hoje.

Dessa forma, sem interferir nas atividades da gestão da energia, em nível do sistema de governança, há uma verificação sistemática de como essa dinâmica da cadeia de valores influencia os custos da energia, o referencial analítico e o balanço energético da unidade definido adiante. Essa verificação se processa por meio da análise direta e periódica desses mesmos instrumentos de gestão, citados.

3.3.6. Política energética

Com base na ponderação dos fatores acima mencionados, é elaborada e implementada a política de energia da organização: a declaração de visão e intenções estratégicas do negócio em relação à questão energia e sustentabilidade. A política energética também deverá fornecer instrumentos de suporte para solução de conflitos interdepartamentais naturalmente existentes e para outras políticas da empresa, como as de desenvolvimento gerencial, atualização tecnológica, investimentos, reconhecimento de mercado, dentre outras. Nesse contexto, a política energética é interdisciplinar e não se dirige, especificamente, ao setor de energia, de produção, ou de manutenção, etc., mas a organização como um todo; deve suscitar linhas de ação executiva, multidisciplinares e integradoras.

No que se refere às realizações da empresa em eficiência energética, que se revertam em diminuição de custos e ações de melhoria das condições socioambientais existentes, com eventual minimização ou eliminação da emissão de poluentes, que sejam percebidas e valorizadas pelos seus *stakeholders*, refletem-se como elementos de postura estratégica e são

prioritárias para a governança de energia. Essa percepção pelos *stakeholders* transforma-se em reconhecimento e provoca a realização de movimentos estratégicos de antecipação no mercado, de pioneirismo tecnológico e de desenvolvimento socioambiental, com altos índices de retorno em termos de imagem e lucratividade para a empresa.

A política energética também deve suscitar geração de valor econômico resultante das medidas de eficiência energética propriamente ditas (com modernização da planta industrial); do uso de fontes renováveis; da minimização dos impactos socioambientais e dos custos correspondentes; da exploração das oportunidades de negócio com os coprodutos (rejeitos); do reconhecimento de mercado; do aumento de produtividade resultante do processo de desenvolvimento gerencial; etc.

3.3.7. Balanço energético

O sistema de governança de energia construirá e utilizará o balanço energético da unidade industrial. O balanço energético constitui uma perspectiva contábil de periodicidade anual, que descreve os fluxos energéticos ao longo do sistema energético industrial considerado e, nesse espaço socioeconômico, estabelece as relações existentes entre o setor de energia e os demais setores operacionais de produção e apoio.

Nesse balanço energético, a oferta de energia é caracterizada pelas fontes e formas de energia necessárias na entrada da indústria; enquanto que, os usos finais, com seus conversores e subsistemas de conversão, definirão os níveis de utilização de energia. Os bens/produtos finais ofertados ao mercado, por sua vez, demandam usos finais específicos, os quais, de forma reflexiva, demandam seus conversores. Nessa sequência, que se autoalimenta, o conjunto dos sistemas/processos demanda tecnologias, as quais podem ser, energeticamente, mais, ou menos, eficientes.

Portanto, o balanço energético contempla os fluxos de energia entre a oferta e a demanda, as formas de transporte, de acumulação e uso, e os excedentes decorrentes da produção. Como consequência, também serão contabilizados os resultados socioambientais e socioeconômicos do sistema energético como um todo. Nessa estrutura, certamente, serão utilizados vários dos indicadores de desempenho, previstos no referencial analítico anteriormente referido.

O balanço energético funciona como um instrumento do sistema de governança, que se superpõe ao referencial analítico da gestão da energia, devendo permitir visualizações estatística e gráfica, pelo menos, dos seguintes parâmetros:

- evolução da participação das fontes e formas de energia de entrada na indústria;
- evolução da demanda, por uso final;
- evolução das emissões de poluentes, totais e por uso final;
- evolução dos custos por uso final e por segmento de bem/serviço produzido;
- evolução dos custos socioambientais;
- eficiência das tecnologias disponíveis;
- comparações entre eficiências das tecnologias disponíveis e das emergentes.

Em conjunto com os demais instrumentos gerenciais anteriormente descritos, o balanço energético é uma peça de relevante importância para respaldar decisões de investimentos.

3.3.8. Desenvolvimento gerencial

Apoiada nas atividades de treinamento e motivação de pessoal estabelecidas no âmbito da gestão da energia, e conhecendo seus indicadores, a governança de energia alça a sua preocupação para o nível do desenvolvimento gerencial. Além da realização da tarefa (que é o feito resultante da ação gerencial), o desenvolvimento gerencial deve enfatizar os aspectos intangíveis, invisíveis, e determinantes dos resultados da gestão: o caráter, o compromisso, a criação do ambiente de aprendizado, o aprendizado ao longo da tarefa, a confiança, a vontade (e não a veleidade), o espírito de equipe, dentre outros.

Nesse nível de desenvolvimento de pessoal, a organização não deve ficar refém da tarefa e seus aspectos visíveis: a tarefa propriamente dita, os esforços demonstrados e, às vezes, até, o sacrifício demonstrado. Em tal modelo, as pessoas se concentram no cumprimento da tarefa, e quando esta termina, a satisfação se instala; poucos se debruçam sobre a produtividade e os custos incorridos para o alcance dela, o aprendizado produzido e sua utilização futura. Um dos valores centrais do desenvolvimento gerencial é buscar esse aprendizado e suas motivações, transformá-lo em conhecimento explícito e disseminá-lo na organização.

De acordo com tais atributos, o desenvolvimento gerencial não deve ser específico em energia e suas implicações socioambientais. Ao longo das ações e interfaces gerenciais, tão relevantes quanto estas áreas do conhecimento são as respeitantes à tecnologia, à produção, à qualidade, às finanças, etc. Dessa forma, as diversas áreas do conhecimento devem estar presentes no desenvolvimento gerencial como um todo, na empresa. A existência de privilégio a qualquer delas produzirá interesses departamentais específicos, conflitos interdepartamentais, correntes políticas discordantes e focalizadas em objetivos difusos, etc., e, por essa via, grande parte do esforço gerencial se perde. O desenvolvimento gerencial é interdisciplinar e integrado; essa característica faz parte da natureza da função gerencial.

As atividades de desenvolvimento gerencial irão promover, e expandir, expertise em áreas do conhecimento, tais como:

- fontes e formas de energia utilizadas na indústria;
- tecnologias de conversão de energia;
- usos finais e demanda de energia na indústria;
- eficiência energética e energias renováveis;
- tecnologias de processo disponíveis e elementos determinantes do seu desempenho;
- administração da produção;
- economia da energia;
- gestão ambiental;
- responsabilidade social empresarial (RSE);
- gestão de pessoas;
- gestão da qualidade;
- gestão de projetos;
- finanças corporativas (*corporate finance*);
- estratégia competitiva;
- políticas públicas.

3.3.9. Relações com o mercado e o governo

Nessas relações, as quais são fundamentais para a compreensão e síntese do que ocorre no setor de energia e como este evolui, a governança de energia é responsável pela realização

permanente das interfaces da empresa com o mercado e o governo, no que se refere à energia. Esse relacionamento alcança os agentes da oferta; fornecedores de tecnologia, envolvendo tanto os diretamente relacionados à energia como os respeitantes à engenharia de projeto de sistemas e de equipamentos para a indústria, laboratórios de pesquisa e teste de protótipos, etc.; entidades normalizadoras e certificadoras; agências reguladoras; bancos de investimento e agências de fomento; dentre outros organismos.

No decorrer desse relacionamento, a governança de energia também pode delegar parte dessas atividades à gestão da energia, que lhe dá suporte operacional. Relatórios pertinentes às relações com o mercado e o governo devem ser emitidos para conhecimento e tomada de decisão da alta administração, com periodicidade trimestral ou semestral, dependendo do setor de atuação e das dimensões da empresa. Esses relatórios também têm o objetivo de fornecer informações úteis nas tarefas de interface gerencial, contidas no sistema de governança de energia.

3.3.10. Investimentos e *scorecard* corporativos

No que respeita aos investimentos, a tomada de decisão se fundamenta em premissas, tais como:

- evolução dos custos da energia;
- desempenho das tecnologias disponíveis;
- desempenho das tecnologias emergentes energeticamente mais eficientes;
- taxa interna de retorno (TIR) correspondente ao risco tolerado pelos *shareholders*;
- custo da energia conservada;
- opções de energias renováveis e suas condições de eficiência;
- estrutura e dinâmica competitiva setorial;
- nível de saturação das condições socioambientais presentes;
- política energética e nível de poder econômico corporativo.

Os investimentos em energia são coordenados pelo respectivo sistema de governança, com suporte operacional da gestão da energia. Pelo fato de que todas as demais gerências e áreas industriais, de finanças, de estudos de mercado, etc., são decisivas para o dimensionamento e

proposição de investimentos, as interfaces gerenciais são igualmente determinantes da ação da governança de energia para essa finalidade.

De acordo com a concepção estabelecida no início deste item, o CIGREN é o órgão executivo do sistema de governança de energia. Portanto, ele é o responsável pela apresentação dos projetos de investimento em energia na alta administração da empresa.

O *scorecard* corporativo compreende o conjunto de medidas de desempenho do negócio, que abrange, além da dimensão financeira tradicional – o balanço contábil –, as estratégicas, que medem a evolução dos processos internos e da qualidade, dos clientes e do mercado, e da capacidade de aprendizado e desenvolvimento da organização.

O CIGREN deve incluir os indicadores-chave da energia no *scorecard* corporativo. Esses indicadores são os seguintes:

- físico-termodinâmicos, que definem a evolução da eficiência energética dos usos finais da indústria e do nível de utilização de energia por segmento de produto/serviço;
- indicadores termodinâmicos, físicos e físico-termodinâmicos, que definem a evolução da participação das fontes e formas de energia de entrada na unidade industrial e das emissões de poluentes atinentes;
- indicadores econômicos relativos à evolução dos custos da energia em geral, por uso final e por segmento de produto/serviço, e dos custos socioambientais incorridos;
- valor dos investimentos realizados;
- resumo executivo, complementar, acerca das dimensões macroeconômica e de política internacional da economia da energia;
- resumo executivo, complementar, contendo a curva de experiência da unidade industrial no que se refere à energia.

Destarte, os indicadores-chave do desempenho energético da unidade sob interesse fazem parte das quatro perspectivas do *scorecard* corporativo acima mencionadas.

3.3.11. Interfaces gerenciais e retroalimentação

No exercício das suas atividades, o CIGREN realiza interfaces gerenciais, que se estendem a toda organização, e se certifica do cumprimento dessas mesmas interfaces, as quais também são previstas para a gestão da energia. Em ambos os níveis, da gestão da energia e do CIGREN, a boa administração (controle) das interfaces gerenciais é a base do funcionamento harmônico do sistema de governança de energia, incluindo a sistematização dos respectivos instrumentos (ferramentas), descritos ao longo deste texto.

Característica similar de superposição se aplica à retroalimentação, a qual, em ambos os níveis do sistema de governança, tem a função de aperfeiçoamento deste.

3.3.12. O CIGREN: instrumento central do sistema de governança de energia

Com as atribuições e responsabilidades de planejamento e coordenação do desempenho energético das instalações industriais, expressas nos instrumentos gerenciais acima descritos, o CIGREN elabora os elementos de síntese dos pensamentos operacional e estratégico da energia e estabelece o planejamento energético da organização; define a respectiva hierarquia de metas e, periodicamente, produz cenários para exercícios de previsão e gestão da incerteza, objetivando incrementar a segurança energética. Esse planejamento energético é inserido no planejamento estratégico da empresa.

Assim, o CIGREN se situa na alta administração – diretoria ou gerência executiva. Obedecendo ao conceito universal de governança, o posicionamento organizacional do CIGREN é representado na Fig. 3.5.

Figura 3.5– Sistema de governança de energia na indústria

A Fig. 3.5 mostra as interfaces do CIGREN com as demais gerências da empresa (departamentos de engenharia, produção, contabilidade e finanças, marketing, etc.), assessorias, comitês, dentre outros, como discriminado nos instrumentos gerenciais referidos acima. Percebe-se, claramente, que, sem um competente controle das interfaces gerenciais, há grandes possibilidades do sistema de governança entrar em colapso, mergulhado na complexa teia de interesses, que permeia os diferentes setores/departamentos operacionais da empresa.

Analogamente à instituição do Conselho de Administração pelos sócios na governança corporativa, na governança de energia é instituído o CIGREN pela alta administração. O CIGREN é formado por membros de setores ou unidades de negócio relacionados com a oferta e a demanda internas de energia. Pela característica interdisciplinar da energia, elementos de outros setores, como planejamento, recursos humanos, finanças, etc., também podem fazer parte do CIGREN.

De acordo com a concepção geral ou corporativa de governança, o “governo” se estabelece em medida gerencialmente absoluta, não sendo permitido haver falta de informação ou decisão. Sendo este princípio mandatário e subjacente a todo e qualquer sistema de governança, na indústria, a governança de energia também é um processo de alta

administração. Não é possível existir de qualquer (outro) modo em que as demandas por informação ou decisão não dependam, exclusivamente, do responsável; isto é, do “governo”, da alta administração. O responsável conhece os fatos e as demandas respeitantes; tem as informações completas e com qualidade, os recursos (ou pode responsabilizar-se pela inexistência destes) e o poder de decisão, não havendo possibilidade, portanto, de depender de qualquer outro ator corporativo.

Nessa concepção, é da responsabilidade da alta administração definir as atribuições e responsabilidades; os instrumentos gerenciais de governança; as qualificações dos membros do CIGREN, segundo as quais eles serão avaliados; o modo de substituição; e a duração dos seus mandatos.

Desse modo, enquanto o instrumento central da governança corporativa é o Conselho de Administração, o da governança de energia na indústria é o CIGREN. No contexto dessa analogia, o gerente ou líder do CIGREN deve apresentar desempenho satisfatório nos requisitos de competência; ética; embaixada; independência; preparo; prática; atividades em outros comitês, internos ou externos à empresa; desenvolvimento da organização; participação; gestão do Comitê; e serviço especial.

No que se refere à competência, por exemplo, esse líder é pessoalmente competente; tem experiência e capacidade de influência; é respeitado; tem destaque entre os pares na profissão, no exercício das suas funções na empresa; corresponde ao nível de forças, habilidade e experiência exigidos em âmbito de Comitê, onde vários departamentos estão representados; é bom comunicador; ideologicamente orientado; conhece e domina o planejamento energético, apoia a visão e o planejamento estratégicos da empresa; é reconhecido por atuar na direção do bem-estar dela. No que se refere à ética, esse cargo exige do seu ocupante, integridade; código de conduta, moral e valores, exemplar; disciplinado, dotado de raciocínio ético e abordagem aos deveres e obrigações nas culturas em que se encontra; capacidade de exame de assuntos da empresa relacionados com os ambientes, industrial, legal, cultural e político. E assim, sucessivamente. A alta administração deve estabelecer as qualificações adequadas para os componentes do CIGREN.

Na composição do CIGREN, não deverá haver menos de três nem mais do que oito membros. De modo similar a outras características do sistema de governança já mencionadas, a

quantidade de membros dependerá do setor ao qual a empresa pertence e das dimensões dela, envolvendo a complexidade dos sistemas/processos industriais, que opera; a cultura corporativa; e o modelo de gestão de negócio adotado.

Os membros do CIGREN devem ter capacidade de acompanhar, interpretar e dar sustentação ao sistema de governança de energia acima estabelecido; despertar debates, idéias e deliberações, objetivando alcançar níveis competitivos de eficiência; promover o desenvolvimento gerencial e tecnológico no âmbito do empreendimento, e a redução dos custos energéticos.

Nesse cenário corporativo, o sistema de governança de energia estabelece as condições fundamentais em que todos os conflitos, idiossincrasias e eventuais evasivas de responsabilidade, os quais estão disseminados nos setores operacionais do negócio, foram ultrapassados; todos estão depositados na alta administração, onde se concentra o poder de decisão da empresa. Dessa forma, analogamente à governança corporativa, a governança de energia na indústria também estabelece o seu “governo”: o “governo” da energia.

O CIGREN, portanto, é o instrumento central da governança de energia, equivalendo ao Conselho de Administração na governança corporativa. A coligação do CIGREN com os seus instrumentos gerenciais acima discriminados compõe os instrumentos-guia de governança de energia na indústria, mencionados no objetivo deste trabalho, no Capítulo 1. Para o seu uso adequado, esses instrumentos devem ser adaptados às especificidades de cada setor e empresa, os quais têm identidade própria.

Assim, o sistema de governança de energia na indústria tem influência significativa, e reconhecida, na proteção do patrimônio, na maximização do retorno dos investimentos em energia, além de agregar valor ao empreendimento.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Coligindo as informações e propostas desenvolvidas ao longo deste trabalho de pesquisa, no presente capítulo, são emitidas conclusões e recomendações, que objetivam dar consistência e permitir aplicações bem-sucedidas do modelo de governança de energia na indústria, proposto.

Os combustíveis fósseis formados e acumulados ao longo dos últimos 4,0 bilhões de anos estão sendo utilizados pela civilização atual em apenas algumas décadas. A velocidade dessa utilização aumenta à medida que a população mundial aumenta e melhora o poder aquisitivo, com maior acesso à energia, nos países em desenvolvimento. Em 2008, a participação desses combustíveis na matriz energética mundial ultrapassou os 80%.

Ao serem processados para produzir formas de energia adequadas ao bem-estar econômico e social do homem, esses combustíveis emitem GEE e outros contaminantes, os quais, além dos seus efeitos de aquecimento da biosfera, também produzem chuvas ácidas e outras externalidades negativas ao próprio homem, à agricultura e ao ambiente biótico como um todo. Os custos socioambientais decorrentes dessas externalidades aumentam, rapidamente.

Nesse cenário, globalmente, cresce o papel da eficiência energética como estratégia de “produção virtual” de energia, mitigação das mudanças climáticas e melhoria da qualidade de vida.

A eficiência energética significa racionalização de energia. Ao agregar energias renováveis aos seus projetos, a eficiência energética resulta em maiores benefícios à sustentabilidade socioambiental. Onde não for viável a inclusão das renováveis, as medidas de eficiência energética deverão avançar e produzir racionalização de energia no conceito original do projeto.

Embora considerações de maior ou menor desempenho possam ser acrescentadas, ao longo da evolução do marco institucional da eficiência energética no Brasil, os programas que se consolidaram foram: o PROCEL; o PBE; os PEEs, derivados da lei nº 9.991; a difusão progressiva de equipamentos e dispositivos energeticamente mais eficientes, principalmente

aqueles usuários da eletricidade, que resultou da lei nº 10.295; e, de forma relativamente mais limitada, o CONPET.

Como decorrência desses programas e políticas; do avanço da tecnologia e da consciência ambiental; do surgimento de incentivos financeiros e de inovação; da ação mercadológica das ESCOs; e do acirramento da competição, principalmente no âmbito da indústria, também existe, e progride, um mercado autônomo de eficiência energética no Brasil.

Sendo a indústria o maior usuário de energia, as vantagens da eficiência energética nos sistemas industriais são elevadas e se distinguem dos demais setores. No Brasil, o potencial técnico de eficiência energética na indústria alcança 25%, sendo que 82% dele estão nos sistemas térmicos. Ante o aumento sistemático dos custos da energia no país, os benefícios econômicos (e socioambientais) desses projetos são intensificados.

A indústria deve evitar o uso de indicadores de eficiência com largos limites de tolerância, que não correspondam estritamente às especificidades das suas instalações. Devem ser adotados os indicadores de eficiência provenientes dos fornecedores das tecnologias em uso e os medidos (auditados) em campo. Objetivando a eficiência da unidade industrial, quando aplicável, a qualidade de energia deve ser definida pelo método exergetico.

PROCEL (2006) estima que só a mudança de hábitos de uso da eletricidade no setor residencial poderá resultar, no mínimo, numa eficiência de 20% da energia atualmente demandada do sistema elétrico brasileiro. Esse porcentual seria disponibilizado de forma equivalente a uma conversão adicional, virtual, dessa energia. Estimativas da IEA (2006) indicam que para cada US\$1,00 investido em eficiência energética se economiza US\$2,00 em sistemas de conversão e distribuição de energia.

Globalmente, várias barreiras ainda necessitam ser removidas para maior dinamismo da eficiência energética. No Brasil, as principais barreiras são: carência de uma cultura proativa de eficiência; pouca circulação de informações técnicas e econômicas sobre o tema; falta de incentivos tributários e de maior alcance dos financeiros; visão exacerbada de risco técnico; pouca disponibilidade de capitais; políticas públicas pontuais, frágeis, sem a interdisciplinaridade requerida pela energia; carência de pessoal qualificado na indústria em termos de tecnologias energeticamente mais eficientes; grau elevado de sociabilidade e baixo

nível de participação e integração intrasetorial, com tendência ao isolamento dos profissionais da indústria; persistência de desconhecimento das regras dos contratos de performance; e baixo conteúdo tecnológico na competitividade das empresas.

Ante as instabilidades política e econômica dos países exportadores de energia, a redução da energia útil dos sistemas energéticos em geral, a percepção social crescente das externalidades negativas da energia, etc., com seus desdobramentos sobre os custos e a segurança energética, tratar essa complexa questão na indústria como respeitante apenas a um departamento interno da organização não é mais suficiente. Hoje, a questão energia e sustentabilidade na empresa industrial se encontra no nível da sua alta administração, implicando, portanto, a necessidade de sistema de governança.

O CIGREN é o instrumento principal da governança de energia na indústria, equivalendo ao Conselho de Administração na governança corporativa. Atuando no nível da alta administração, o CIGREN ultrapassa os conflitos, que permeiam as interfaces gerenciais da organização. No modelo proposto, o sistema de governança de energia assegura que a questão energia e sustentabilidade, nas suas diversas variantes, seja conduzida pela alta administração da empresa: o “governo” da energia é estabelecido.

A governança de energia na indústria deve ter influência significativa, e reconhecida, na proteção do patrimônio, na maximização do retorno dos investimentos em energia, além de agregar valor ao empreendimento. Constitui-se num sistema essencial para os processos de tomada de decisão de investimentos em energia e para a competitividade da indústria no mundo atual.

Quanto a suas extensão e profundidade, o sistema de governança de energia na indústria obedece às seguintes características da organização: sua cultura corporativa no que se refere à questão energia e sustentabilidade, e à produtividade; nível de atualidade da sua visão de negócio, com suas opções de prosperidade diretamente relacionadas ao lucro e ao seu nível de integração à sociedade, ao meio ambiente e à tecnologia; suas dimensões no interior do setor/segmento ao qual pertence; e seu escopo geográfico e de produto/serviço.

O êxito da eficiência energética industrial está conectado à consolidação do status avançado em que se encontra a cogeração nos setores de metalurgia (incluído o de ferro-gusa e aço),

químico, celulose e papel, sucroalcooleiro, cimento, e alimentos e bebidas, considerando que as respectivas tecnologias continuarão progredindo e sendo acessíveis. Além dessa consolidação na indústria, a intensificação da cogeração no setor comercial e de serviços, abarcando *shopping centers*, hospitais, hotéis, etc., também é de grande significado para o avanço das tecnologias e, portanto, novamente, para a indústria.

O progresso contínuo da eficiência na indústria também é diretamente dependente da emergência de tecnologias, que permitam integração entre os diversos sistemas/processos industriais, com o objetivo de recuperação e reciclagem cada vez maiores de energia e resíduos (coprodutos); surgimento de novos softwares de projeto de equipamentos, construção e montagem; métodos mais eficientes de gestão operacional; novas capacidades nas áreas de fundição e moldagem de metais, e de tratamentos superficiais; desenvolvimento e aplicação de novos sistemas de controle de processo; etc.

Com suas vantagens de dispor energia antes utilizada a custos competitivos e sem geração de externalidades negativas, a eficiência energética representa uma nova, e avançada, opção aos investimentos da indústria. Dessa forma, a exemplo dos países desenvolvidos, recomenda-se introduzir modelos adequados de leilões de eficiência energética no Brasil, assim como os já praticados para oferta de energia nova.

Objetivando a elevação do volume dos investimentos em eficiência energética, com o correspondente aumento da necessidade de capital, o Brasil deve desenvolver novos mecanismos de investimentos, baseados, por exemplo, nos créditos de carbono (Protocolo de Kyoto), na emissão de certificados “verdes”, etc., para negociação em bolsas de valores. Esses mecanismos somam-se aos créditos incentivados, como, por exemplo, os do Proesco e da IFC, além dos créditos subvencionados decorrentes da lei de inovação (lei nº 10.973), regulados e geridos pela FINEP, dentre outros.

Na sequência desses incentivos, o Brasil deve rever a incidência de impostos sobre investimentos, os quais inexistem em qualquer outro país desenvolvido ou em desenvolvimento. Esses impostos inibem muitas iniciativas do mercado autônomo de eficiência energética e de potenciais acordos voluntários de mercado, os quais poderiam difundir-se, por exemplo, entre a indústria e seus fornecedores de tecnologia (leasing, teste de protótipos, contratos de performance sobre tecnologias emergentes, etc.). Essa inibição de

investimento também se estende ao grau de atratividade dos leilões de eficiência energética acima recomendados.

Esses incentivos financeiros e tributários se constituem em políticas públicas, as quais devem estar combinadas e encadeadas com as de pesquisa, desenvolvimento e demonstração (P, D&D); tarifação; acordos voluntários de mercado; disseminação de informações e treinamento; marketing; técnicas de planejamento que estimulem o PIR; adoção de padrões energéticos para novas instalações comerciais; capacitação de pessoal; assistência técnica em geral, e em áreas carentes e remotas em particular; abertura de mercados; dentre outras.

Por exemplo, combinando as políticas de incentivos financeiros e tributários, e se dispondo a eliminar a resistência da sua população ao maior custo inicial dos eletrodomésticos energeticamente mais eficientes, o Brasil deve eliminar impostos e proporcionar crédito barato para aquisição massiva desses dispositivos e equipamentos. Tais políticas públicas devem ser operadas, e coordenadas com as demais, num intervalo de tempo ao fim do qual os agentes de mercado obtenham firmeza de continuidade, própria.

De forma indireta, mas terminantemente influente na indústria, também se pode citar que uma política de adoção de padrões energéticos para novas instalações comerciais deve introduzir mecanismos de intensificação da cogeração em *shopping centers*, hospitais, hotéis, etc. Essa política deve ser desenvolvida e gerenciada pelas prefeituras, e está preconizada na lei nº 10.295.

Para atingir objetivos nacionais de eficiência energética na indústria, essas políticas públicas, interdisciplinares, exigem integração entre diversos organismos públicos (incluídos os regulatórios) e privados, tais como, MME, ANEEL, ANP, MDIC, Ministério das Relações Exteriores, agências de fomento, CNI, Confederação Nacional do Comércio (CNC), etc., sob estreita coordenação do organismo governamental responsável (por exemplo, a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do MME).

Para que a hierarquia de metas de eficiência energética preestabelecida nas políticas públicas seja alcançada, esse conjunto de iniciativas, que inclui diferentes agentes públicos e privados, exige do seu órgão coordenador mecanismos de execução, relato e controle de interfaces, além de requisitos de gestão, de elevada qualificação.

Essas políticas devem ensinar e serem complementadas por medidas das organizações da indústria, como a CNI e as respectivas federações estaduais, as quais devem incentivar a criação de redes sociais para a troca e divulgação de informações relevantes acerca da eficiência industrial, e das tecnologias disponíveis e emergentes energeticamente mais eficientes, resultados de projetos inovadores e de experiências realizadas, etc. Tais redes sociais devem ser formadas por engenheiros, técnicos, gestores e tomadores de decisão pertinentes ao ambiente da indústria, estendendo-se e operando nos níveis organizacional, do setor/segmento e dos atores determinantes da dinâmica competitiva setorial: fornecedores de tecnologia, instituições de pesquisa, bancos e agências de fomento, governo, agências reguladoras, organizações certificadoras e normativas, etc.

Essas medidas alistadas são indispensáveis para que as barreiras à eficiência energética industrial no Brasil acima mencionadas sejam ultrapassadas e que seus indicadores sejam representativos de políticas públicas, que respondam de forma eficaz à atual problemática energia e sustentabilidade. No contexto dessas medidas, será igualmente imprescindível a criação de uma agência nacional de eficiência energética no país, como já existe, por exemplo, na UE, beneficiando os países daquele bloco.

5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Relação de projetos de eficiência energética cadastrados na ANEEL por empresa**. Brasília: ANEEL, 2010. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/eficienciaenergetica>. Acesso em 03/09/2010.

_____. **Cartilha: Por dentro da contra de luz**. Brasília: ANEEL, 2008.

_____. **Relatório ANEEL 2006**. Brasília: ANEEL, 2007. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/eficienciaenergetica>. Acesso em 03/05/2010.

BERMANN, C. Impasses e controvérsias da hidreletricidade. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 139-153, 2007.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Portaria Interministerial Nº 132, de 12/06/2006. Aprova a regulamentação específica de lâmpadas fluorescentes compactas, na forma constante dos seus Anexos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 13 de junho de 2006.

BRASIL. MME e MIC. Portaria Interministerial Nº 1.877, de 30/12/1985. Cria o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). **Diário Oficial da União**, Brasília, 31 de março de 1986.

BRASIL. MIC. Portaria MIC Nº 46, de 23/02/1981. Cria o Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial (CONSERVE). **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 de fevereiro de 1981.

BRASIL. Presidência da República. Constituição da República Federativa do Brasil (Constituição Federal), de 05/10/1988. **Diário Oficial da União**, Brasília, 06 de outubro de 1988.

_____. Decreto Nº 41.019, de 26/02/1957. Dispõe sobre a regulamentação dos serviços de energia elétrica. **Diário Oficial da União**, Rio de Janeiro, 12 de março de 1957.

_____. Decreto Nº 76.593, de 14/11/1975 (revogado pelo Decreto Nº 80.762, de 18/11/1977). Institui o Programa Nacional do Alcool e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 de novembro de 1975.

_____. Decreto de 18/07/1991. Dispõe sobre o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 19 de julho de 1991.

_____. Decreto de 18/07/1991. Institui o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET). **Diário Oficial da União**, Brasília, 19 de julho de 1991.

_____. Decreto de 08/12/1993. Dispõe sobre a instituição do Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional da Energia. **Diário Oficial da União**, Brasília, 09 de dezembro de 1993.

_____. Decreto Nº 4.508, de 11/12/2002. Dispõe sobre a regulamentação específica, que define os níveis mínimos de eficiência energética (na linguagem da lei) de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil. **Diário Oficial da União**, Brasília, 12 de dezembro de 2002.

_____. Lei Nº 5.655, de 20/05/1971. Dispõe sobre a remuneração legal do investimento dos concessionários de serviços públicos de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 de maio de 1971.

_____. Lei Nº 5.899, de 05/07/1973. Dispõe sobre a aquisição dos serviços de eletricidade da ITAIPU BINACIONAL e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 09 de julho de 1973.

_____. Lei Nº 8.631, de 04/03/1993. Dispõe sobre a fixação das tarifas para o serviço público de energia elétrica, extingue o regime de remuneração garantida, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 de março de 1993.

_____. Lei Nº 8.987, de 13/02/1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos, previsto no Art. 175 da Constituição Federal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 de fevereiro de 1995.

_____. Lei Nº 9.074, de 07/07/1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 08 de julho de 1995.

_____. Lei Nº 9.427, de 26/12/1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica. **Diário Oficial da União**, Brasília, 27 de dezembro de 1996.

_____. Lei Nº 9.478, de 06/08/1997. Dispõe sobre a Política Energética Nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a Agência Nacional do Petróleo. **Diário Oficial da União**, Brasília, 07 de agosto de 1997.

_____. Lei Nº 9.991, de 24/07/2000. Dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 de julho de 2000.

_____. Lei Nº 10.295, de 17/10/2001. Dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 de outubro de 2001.

_____. Lei Nº 10.438, de 26/04/2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica e altera a Lei Nº 9.991, dentre outras. **Diário Oficial da União**, Brasília, 27 de abril de 2002.

_____. Lei Nº 10.973, de 02/12/2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 de dezembro de 2004.

_____. Lei Nº 12.212, de 20/01/2010. Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nº 9.991, de 24/07/2000, nº 10.925, de 23/07/2004, e nº 10.438, de 26/04/2002; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 de janeiro de 2010.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. (ELETROBRAS). **Catálogo selo procel, 2009**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2010a. Disponível em <http://www.eletrobras.gov.br/programasefundossetorias/procel>. Acesso em 12/04/2010.

_____. **Programas e Fundos Setoriais/procel**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2010b. Disponível em <http://www.eletrobras.gov.br>. Acesso em 12/04/2010.

COELHO, S. T. **Biomassa como fonte de energia – conversão e utilização, notas de aula**. São Paulo: PPGE/IEE/USP, 2009.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional**. Brasília: CNI, 2009.

DYER, C. et al. Enabling technologies for industrial energy demand management. **Energy Policy**, v. 36, n. 12, p. 4434-4443, 2008.

EASTOP, T. D.; CROFT, D. R. **Energy efficiency – for engineers and technologists**. Essex: Longman, 1990.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço energético nacional 2009 (BEN 2009)**. Rio de Janeiro: EPE, 2010a. Disponível em <http://www.epe.gov.br>. Acesso em 12/05/2010.

_____. **Plano decenal de expansão de energia 2019 (PDE 2019)**. Rio de Janeiro: EPE, 2010b. Disponível em <http://www.epe.gov.br>. Acesso em 12/05/2010.

_____. **Leilões de fontes alternativas contratam 89 usinas, com 2892,2 MW**. Rio de Janeiro: EPE, 2010c. Disponível em <http://www.epe.gov.br/leiloes>. Acesso em 24/09/2010.

_____. **Plano nacional de energia 2030 (PNE 2030)**. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Disponível em <http://www.epe.gov.br>. Acesso em 06/05/2010.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP). **Programa de subvenção econômica**. Rio de Janeiro: FINEP, 2009. Disponível em <http://www.finep.gov.br/fundossetoriais/subvencaoeconomica>. Acesso em 26/02/2010.

GODOI, J. M. A. **Metodologia para gestão da eficiência energética de sistemas industriais sob condicionantes socioambientais sustentáveis**. São Paulo, 2008. 146 p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) – Programa de Especialização do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: EDUSP, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GOVERNANÇA CORPORATIVA (IBGC). **Código das Melhores Práticas de Governança Corporativa**. São Paulo: IBGC, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key world energy statistics 2010**. Disponível em <http://www.iea.org>. Acesso em 26/09/2010.

JACCARD, M.; NYBOER, J.; FOGWILL, A. How big is the electricity conservation potential in industry. **The Energy Journal**, v. 14, n.2, p. 139-156, 1993.

JANNUZZI, G.; DANELLA, M. A.; SILVA, S. A. S. Metodologia para avaliação da aplicação dos recursos dos programas de eficiência energética. Energy Discussion Paper Nº 2.60-01/04. **International Energy Initiative**. Campinas, 2004.

LEITE, A. D. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2007.

LODI, J. B. **Governança corporativa**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

MARTINS, Maria Paula de Souza. **Inovação Tecnológica e Eficiência Energética**. Rio de Janeiro, 1999. 43 p. Monografia (Especialização em Energia Elétrica) – Programa de Especialização do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

MILANEZ, L. F.; GALLO, W. L. R. Exergy: concepts and applications. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v. XIV, n. 3, p. 279-298, 1992.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Balanço de energia útil 2005 (BEU 2005)**. Brasília: MME, 2005. Disponível em <http://mme.gov.br>. Acesso em 02/09/2010.

MIRAGLIA, S. G. E. K. **O ônus da poluição atmosférica sobre a população do município de São Paulo: uma aplicação do método Daly; estimativa em anos de vida perdidos e vividos com incapacidades**. São Paulo, 2002. 126 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação da Faculdade de Medicina. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

NOGUEIRA, L. A. H. Uso racional: a fonte energética oculta. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 91-105, 2007.

OLIVEIRA JUNIOR, S. de. **Análise exergetica e termoeconômica de processos: fundamentos e aplicações**. São Paulo, 2009. 392 p. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica. Universidade de São, São Paulo, 2009.

PALM, J.; THOLLANDER, P. An interdisciplinary perspective on industrial energy efficiency. **Applied Energy**, j.apenergy.2010.04.019, 2010.

PAMPLONA, N. Brasileiro paga uma das tarifas de eletricidade mais caras do mundo. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 28 fev. 2010. Caderno de Economia & Negócios, p.B-1.

PATTERSON, M. G. What is energy efficiency? **Energy Policy**, v. 24, n. 5, p. 377-390, 1996.

_____. Estimation of the quality of energy sources and uses. **Energy Policy**, v. 11, n. 4, p. 346-359, 1983.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Eficiência energética – Teoria e prática**. Itajubá, MG: UNIFEI, 2007.

_____. **Conservação de energia: Eficiência energética de equipamentos e instalações**. Itajubá, MG: UNIFEI, 2006.

RAJAN, G. G. **Optimizing energy efficiencies in industry**. New York: MacGraw-Hill, 2003.

RIFKIN, J. **A economia do hidrogênio**. São Paulo: M. Books do Brasil, 2003.

SALAZAR, Sérgio. **Avaliação dos programas de conservação de energia para o setor industrial de energia**. Campinas, 1992. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade de Campinas, Campinas, 1992.

SALLES, C. J. D. **Energia, fontes renováveis e etanol**. In: I SIMPÓSIO INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA NO BRASIL. Brasília: Senado Federal, 2008. Disponível em <http://www.acendebrasil.com.br/apresentacoes>. Acesso em 30.04.2010.

SÁSSI JÚNIOR, P. M. **A reestruturação do setor elétrico brasileiro e sua influência nas empresas energéticas do Estado de São Paulo**. Campinas, 1999. 140 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

SAUER, I. L. **Usos finais e demanda de energia: a construção histórico-social da noção de energia, notas de aula**. São Paulo: PPGE/IEE/USP, 2009.

SKIDMORE, T. E. **Brasil: de Castelo a Tancredo, 1964-1985**. São Paulo: Paz e Terra, 2000.