

PADRONIZAÇÃO METODOLÓGICA DE BALANÇOS ENERGÉTICOS E SEU
IMPACTO NO USO DE INDICADORES

Flávia Lis Pederneiras

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:

Prof. Alexandre Salem Szklo, D.Sc.

Prof. Giovani Vitória Machado, D.Sc.

Dr. Márcio Macedo Costa, D.Sc.

Prof^a. Claude Adélia Moema Jeanne Cohen, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JULHO DE 2007

PEDERNEIRAS, FLÁVIA LIS

Padronização Metodológica de Balanços
Energéticos e seu Impacto no Uso de
Indicadores [Rio de Janeiro] 2007

XII, 216 p.

29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Planejamento Energético, 2007)

Dissertação – Universidade Federal do Rio
de Janeiro, COPPE

1. Informação
2. Balanço Energético
3. Planejamento Energético

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

À Wanda Lis, por tudo

.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PADRONIZAÇÃO METODOLÓGICA DE BALANÇOS ENERGÉTICOS E SEU IMPACTO NO USO DE INDICADORES

Flávia Lis Pederneiras

Julho / 2007

Orientadores: Alexandre Salem Szklo

Giovani Vitória Machado

Programa: Planejamento Energético

O trabalho tem por objetivo analisar a importância da padronização metodológica de balanços energéticos na construção e uso de indicadores de energia. As metodologias de balanços energéticos analisadas neste trabalho provêm das principais organizações estatísticas internacionais, como Agência Internacional de Energia, Eurostat, Nações Unidas e Organização Latino-Americana de Energia. Estas metodologias são comparadas entre si e com o balanço energético nacional elaborado pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Nem todos os princípios e métodos utilizados nestas matrizes energéticas para contabilização dos fluxos de energia do país são padronizados e, muitas vezes, impedem uma boa comunicação entre as fontes de dados. Diante disso, são elaborados alguns indicadores energéticos com dados destas matrizes energéticas selecionadas a fim de visualizar possíveis discrepâncias e conclusões errôneas a respeito de um sistema energético.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

METHODOLOGICAL STANDARDIZATION OF ENERGY BALANCES AND IMPACT IN THE USE OF INDICATORS

Flávia Lis Pederneiras

July / 2007

Advisors: Alexandre Salem Szklo

Giovani Vitória Machado

Department: Energy Planning Program

This work is aimed at analyzing the importance of methodological standardization of energy balances in elaboration and use of energy indicators. The methodologies of energy balances analyzed at this work come from the main statistical organizations, like International Energy Agency, Eurostat, United Nations and Latin American Energy Organization. These methodologies are compared between themselves and the national energy balance elaborated by EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Nor all the principles and methods used in these energy matrices for accounting the Brazilian energy flows are standardized and they often hinder a good communication between the data sources. Thus, some energy indicators are elaborated with data from these chosen energy matrices in order to visualize possible discrepancies and wrong conclusions regarding an energy system.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. O PAPEL DA INFORMAÇÃO NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	5
2.1. A NATUREZA DA INFORMAÇÃO.....	5
2.2. IMPORTÂNCIA DA REGULAÇÃO DA INFORMAÇÃO E SEU PAPEL NO PLANEJAMENTO	11
2.3. A INFORMAÇÃO NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.....	16
2.4. BALANÇOS ENERGÉTICOS	21
3. METODOLOGIAS DE BALANÇOS ENERGÉTICOS: REVISÃO DAS EXPERIÊNCIAS E PRÁTICAS INTERNACIONAIS	28
3.1. CONCEITUAÇÃO.....	28
3.2. PRINCÍPIOS DOS BALANÇOS ENERGÉTICOS	30
3.2.1. <i>Unidades</i>	30
3.2.2. <i>Fatores de conversão</i>	31
3.2.3. <i>Poderes caloríficos</i>	32
3.2.4. <i>A contabilização da eletricidade gerada por processos não-combustíveis</i>	32
3.2.5. <i>Classificação das atividades econômicas</i>	34
3.2.6. <i>Nível de agregação das fontes energéticas e/ou atividades</i>	35
3.2.7. <i>Qualidade de dados</i>	36
3.2.8. <i>Delimitação do sistema</i>	38
3.3. ORGANIZAÇÕES ESTUDADAS.....	39
3.3.1. <i>IEA</i>	39
3.3.2. <i>Eurostat</i>	40
3.3.3. <i>Olade</i>	42
3.3.4. <i>United Nations Statistics Division</i>	42
3.4. ANÁLISE DAS METODOLOGIAS ADOTADAS NOS BALANÇOS ENERGÉTICOS	50
3.4.1. <i>Oferta de energia</i>	51
O CALOR E ELETRICIDADE.....	51
O CARVÃO MINERAL	55
O RENOVÁVEIS E RESÍDUOS	57
O ENERGIA NUCLEAR.....	66

3.4.2. Setor de transformação.....	72
O CALOR E ELETRICIDADE.....	75
O PETRÓLEO E DERIVADOS.....	81
O CARVÃO MINERAL.....	82
O RENOVÁVEIS E RESÍDUOS.....	86
O ENERGIA NUCLEAR.....	87
3.4.3. Consumo Final.....	87
O CALOR E ELETRICIDADE.....	89
O RENOVÁVEIS E RESÍDUOS.....	89
4. ESTRUTURA E ANÁLISE DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL	91
4.1. INSTITUIÇÃO ESTUDADA	91
4.1.1. EPE.....	91
4.2. PRINCÍPIOS DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL.....	94
4.2.1. Unidades.....	94
4.2.2. Poderes caloríficos.....	94
4.2.3. A contabilização da eletricidade gerada por processos não-combustíveis	96
4.2.4. Classificação das atividades econômicas.....	96
4.2.5. Nível de agregação das fontes energéticas e/ou atividades.....	99
4.2.6. Qualidade de dados.....	100
4.3. ANÁLISE DA METODOLOGIA ADOTADA NO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL	
101	
4.3.1. Oferta de energia.....	101
O CALOR E ELETRICIDADE.....	101
O PETRÓLEO E DERIVADOS.....	102
O GÁS NATURAL.....	102
O CARVÃO MINERAL.....	103
O RENOVÁVEIS E RESÍDUOS.....	104
O CALOR E ELETRICIDADE.....	106
O PETRÓLEO E DERIVADOS, NUCLEAR E RENOVÁVEIS.....	108
4.3.2. Setor de transformação.....	108
O CALOR E ELETRICIDADE.....	110
O PETRÓLEO E DERIVADOS.....	111
O GÁS NATURAL.....	113

O	CARVÃO MINERAL	113
O	RENOVÁVEIS E RESÍDUOS.....	115
O	ENERGIA NUCLEAR.....	116
4.3.3.	<i>Setor de consumo final</i>	117
O	CARVÃO MINERAL.....	118
O	RENOVÁVEIS E RESÍDUOS.....	118
5.	PADRONIZAÇÃO METODOLÓGICA DE BALANÇOS ENERGÉTICOS E IMPACTOS NO USO DE INDICADORES	121
5.1.	INTRODUÇÃO AOS INDICADORES ENERGÉTICOS.....	121
5.2.	INDICADORES E BALANÇOS ENERGÉTICOS.....	125
5.3.	DESVIOS DO BEN EM RELAÇÃO AOS BALANÇOS INTERNACIONAIS	128
5.3.1.	<i>Classe I - Colocação de atividade: setor energético</i>	128
5.3.2.	<i>Classe II: Definição das atividades</i>	135
5.3.3.	<i>Classe III: Definição das fontes:</i>	147
5.3.4.	<i>Classe IV: Desagregação de atividades:</i>	154
6.	CONCLUSÃO	163
	ANEXO 1 - CADEIAS DE ENERGÉTICOS	179
	ANEXO 2 – ESTRUTURA GERAL DE UM BALANÇO ENERGÉTICO.....	204
	ANEXO 3: MANUFATURA DE COMBUSTÍVEIS DERIVADOS DE CARVÃO...211	
	ANEXO 4: TRATAMENTO DAS ENERGIAS HIDRELÉTRICA E GEOTÉRMICA NA METODOLOGIA OLADE.....	216

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: EXCEDENTE DO PRODUTOR E DO CONSUMIDOR.	6
FIGURA 2: GRÁFICO DE OFERTA E DEMANDA DA INFORMAÇÃO E SUA INEFICIÊNCIA DE MERCADO.....	9
FIGURA 3: CLASSIFICAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E RESÍDUOS, SEGUNDO IEA E EUROSTAT.....	59
FIGURA 4: GRUPO I DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E RESÍDUOS, SEGUNDO METODOLOGIA IEA/EUROSTAT.	60
FIGURA 5: GRUPO II DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E RESÍDUOS, SEGUNDO METODOLOGIA IEA/EUROSTAT.	61
FIGURA 6: GRUPO III DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E RESÍDUOS, SEGUNDO METODOLOGIA IEA/EUROSTAT.	62
FIGURA 7: FLUXO DE ENERGÉTICOS PARA O CENTRO DE TRANSFORMAÇÃO COQUERIA – METODOLOGIAS IEA E EUROSTAT.	83
FIGURA 8: FLUXO DE ENERGÉTICOS PARA O CENTRO DE TRANSFORMAÇÃO “ALTO FORNO”.	84
FIGURA 9: PROCEDIMENTOS PARA O CÁLCULO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS PARA GERAÇÃO ELÉTRICA EM CENTRAIS COGERADORAS.....	111
FIGURA 10: EFICIÊNCIAS ENERGÉTICAS PARA O SISTEMA ENERGÉTICO BRASILEIRO, CONSIDERANDO O CONSUMO DO SETOR ENERGÉTICO NO CONSUMO FINAL (N) E FORA DO CONSUMO FINAL (N’).	130
FIGURA 11: REORGANIZAÇÃO DA DIVISÃO “MINERAIS NÃO METÁLICOS” NA ESTRUTURA DO BEN.....	139
FIGURA 12: OFERTA TOTAL DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PAÍSES OECD.	149
FIGURA 13: OFERTA TOTAL DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PAÍSES NÃO OECD.	149
FIGURA 14: PROCESSO SIMPLIFICADO DA PRODUÇÃO DE AÇO.	155
FIGURA 15: CADEIA DA ELETRICIDADE.	181
FIGURA 16: CADEIA DO CALOR.	181
FIGURA 17: FLUXO REVERSO DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA.	185
FIGURA 18: PRODUÇÃO DE PETRÓLEO ATÉ O REFINO.	185
FIGURA 19: FORMAÇÃO DA PRODUÇÃO DOMÉSTICA DE PETRÓLEO.	187
FIGURA 20: FLUXO DE PRODUTOS ENTRE A REFINARIA E A INDÚSTRIA PETROQUÍMICA..	187
FIGURA 21: CADEIA DO PETRÓLEO.....	191
FIGURA 22: FLUXO DE GÁS NATURAL EM ETAPAS.....	192

FIGURA 23: CADEIA DO CARVÃO.	195
FIGURA 24: CENTROS DE TRANSFORMAÇÃO.	207
FIGURA 25: RENDIMENTO DE MASSA TÍPICO EM UMA COQUERIA.	211
FIGURA 26: ESQUEMA DE UM ALTO FORNO.	214

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: EXEMPLIFICAÇÃO DE NÍVEL DE AGREGAÇÃO EM BALANÇO ENERGÉTICO.	35
TABELA 2: ESTRUTURA DO BALANÇO ENERGÉTICO DA IEA.	44
TABELA 3: ESTRUTURA DO BALANÇO ENERGÉTICO DA EUROSTAT.	46
TABELA 4: ESTRUTURA DO BALANÇO ENERGÉTICO DA OLADE.	48
TABELA 5: ESTRUTURA DO BALANÇO ENERGÉTICO DA ONU.	49
TABELA 6: CONTABILIZAÇÃO DA ELETRICIDADE NA METODOLOGIA DE BALANÇO ENERGÉTICO DA EUROSTAT.	53
TABELA 7: CENTRAIS GEOTÉRMICAS E SUAS EFICIÊNCIAS.	54
TABELA 8: CLASSIFICAÇÃO PARA CARVÃO E SEUS DERIVADOS ADOTADA PELA IEA E EUROSTAT.	56
TABELA 9: METODOLOGIA IEA/EUROSTAT PARA CONTABILIZAÇÃO DA ELETRICIDADE E CALOR EM CENTRAIS DE COGERAÇÃO.	78
TABELA 10: MATRIZ DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL CONSOLIDADO.	92
TABELA 11: RELAÇÃO ENTRE ATIVIDADES DE CONSUMO FINAL DO BEN E A CLASSIFICAÇÃO CNAE.	97
TABELA 12: CORRESPONDÊNCIA ENTRE OS DOIS TIPOS DE MATRIZES DE DADOS – FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA	100
TABELA 13: TIPOS DE CARVÃO MINERAL E PODERES CALORÍFICOS	104
TABELA 14: BASE DE INDICADORES ISED.	125
TABELA 15: DIFERENÇAS EM DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA PROVENIENTES DE FONTES NACIONAIS ESTATÍSTICAS.	126
TABELA 16: CÁLCULO DAS EFICIÊNCIAS ENERGÉTICAS PARA O SISTEMA ENERGÉTICO BRASILEIRO, CONSIDERANDO O CONSUMO DO SETOR ENERGÉTICO NO CONSUMO FINAL (N) E FORA DO CONSUMO FINAL (N’).	130
TABELA 17: EMISSÕES DE CO ₂ DO SETOR DE CONSUMO FINAL CONSIDERANDO O CONSUMO DO SETOR ENERGÉTICO.	133
TABELA 18: EMISSÕES DE CO ₂ DO SETOR DE CONSUMO FINAL, NÃO CONSIDERANDO O SETOR ENERGÉTICO.	134
TABELA 19: CORRESPONDÊNCIA ENTRE ISIC REV. 3.1 E CNAE 1.0 PARA DIVISÃO 26..	138
TABELA 20: CORRESPONDÊNCIA ENTRE AS CLASSES DA ISIC REV. 3.1 E CNAE 1.0 PARA A DIVISÃO 26	138

TABELA 21: CORRESPONDÊNCIA ENTRE SCN, CNAE, BEN, CIIU/ISIC E IEA/EUROSTAT	141
TABELA 22: VALORES ADICIONADOS E CONSUMO ENERGÉTICOS PARA SETOR MINERAIS NÃO-METÁLICOS.	145
TABELA 23: VALORES ADICIONADOS, CONSUMO ENERGÉTICO E VALOR DA TRANSFORMAÇÃO INDUSTRIAL PARA O SETOR DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS.	145
TABELA 24: EFICIÊNCIAS DE CONVERSÃO PARA CADA CASO.	151
TABELA 25: BALANÇO ENERGÉTICO SIMPLIFICADO PARA O CASO A.	152
TABELA 26: BALANÇO ENERGÉTICO SIMPLIFICADO PARA O CASO B.	152
TABELA 27: BALANÇO ENERGÉTICO SIMPLIFICADO PARA O CASO C.	152
TABELA 28: RESULTADOS NA OFERTA INTERNA DE ENERGIA PELA VARIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO.....	153
TABELA 29: CÁLCULO DAS EFICIÊNCIAS DE 1ª LEI PARA SISTEMAS ENERGÉTICOS COM EFICIÊNCIAS DE CONVERSÃO DISTINTAS.....	153
TABELA 30: IMPACTO DAS EFICIÊNCIAS DE CONVERSÃO SOBRE A OFERTA DE ENERGIA PRIMÁRIA TOTAL DE UM SISTEMA ENERGÉTICO.	153
TABELA 31: ESTRUTURAÇÃO DA CADEIA DO CARVÃO MINERAL NOS BALANÇOS ENERGÉTICOS ESTUDADOS.	156
TABELA 32: BALANÇO ENERGÉTICO SIMPLIFICADO PARA OS PRINCIPAIS PRODUTOS E ATIVIDADES ENVOLVIDOS NA INDÚSTRIA DE FERRO-GUSA E AÇO, PARA EUROSTAT 2005.	159
TABELA 33: BALANÇO ENERGÉTICO SIMPLIFICADO PARA OS PRINCIPAIS PRODUTOS E ATIVIDADES ENVOLVIDOS NA INDÚSTRIA DE FERRO-GUSA E AÇO A PARTIR DE BEN 2006.	159
TABELA 34: OFERTA INTERNA, PRODUÇÃO, PERDAS E CONSUMO DE COQUE RESTRATADOS NO BEN 2006.	160
TABELA 35: APLICAÇÃO DA PROPORÇÃO ENCONTRADA NO BALANÇO EUROSTAT SOBRE O COQUE DISPONÍVEL NO BEN.....	160
TABELA 36: APLICAÇÃO DAS PROPORÇÕES ENCONTRADAS NO BALANÇO EUROSTAT SOBRE O BEN. UNIDADES : TEP	161
TABELA 37: DIFERENÇA NO CONSUMO DE COQUE DA INDÚSTRIA DE FERRO-GUSA E AÇO, CONSIDERANDO A INSERÇÃO DE ALTO-FORNO NO SETOR DE TRANSFORMAÇÃO.....	162
TABELA 38: PRODUTOS PRIMÁRIOS E SECUNDÁRIOS DE PETRÓLEO.....	189

1. INTRODUÇÃO

Antes da crise do petróleo de 1973, havia pouco interesse, em esfera nacional ou internacional, sobre estatísticas detalhadas que relacionassem as diferentes formas de energia entre si. Os sistemas energéticos eram relativamente mais simples, baseados em fontes tradicionais (petróleo, carvão e eletricidade), e o seu planejamento era basicamente acoplado ao planejamento econômico (Cima, 2006).

Com os choques do petróleo, surgiu novo interesse sobre a importância desta fonte energética e o possível desenvolvimento de energias alternativas, aumentando a atenção ao desenvolvimento de um planejamento de sistemas energéticos. A busca pela eficiência energética tornou-se central no sistema energético, e tornou o planejamento do setor essencial, visando promover, analisar e testar medidas de estímulo a inovações e investimentos (Swisher *et al*, 1997). Assim sendo, aumentou a importância da avaliação não mais somente da produção de energia, mas também de seu uso. Ou seja, surgiu então a necessidade de modelagem de sistemas energéticos baseada na maior desagregação do consumo final de energia.

A crise energética, portanto, fez surgir pedidos de rápida intervenção por parte dos tomadores de decisão. Isso levou, em 1974, à criação da Agência Internacional de Energia (IEA), objetivando a cooperação internacional e a criação de meios para a segurança energética e o fortalecimento dos sistemas energéticos dos países membros contra crises no preço do óleo. Para isso, focou-se na busca por políticas de longo prazo, transparência da informação, pesquisa e desenvolvimento sobre energia e meio ambiente. Porém, percebeu-se a deficiência de bases de dados disponíveis, que se buscou debelar, para que análises pudessem ser realizadas e levassem aos resultados requeridos. Um dos instrumentos desenvolvidos para a realização deste novo tipo de análise foi o balanço energético. Estes quadros de dupla entrada (forma matricial) fazem parte do primeiro passo do planejamento energético, provendo informação para análises energéticas, permitindo a construção de indicadores. Constituem uma estrutura de contabilização que representa todas as fontes e fluxos de energia utilizados no país em uma única unidade, de forma que cada fluxo possa ser traçado desde sua origem (produção ou importação), passando pela transformação até seu consumo.

Assim, através do uso destes balanços, tornou-se possível formular e obter indicadores energéticos, que são ferramentas de análise que fornecem informações a respeito dos aspectos econômicos, sociais e ambientais da produção e do consumo de energia (Cima, 2006), e descrevem a ligação entre o uso de energia e a atividade humana em uma estrutura desagregada (Schipper et al, 2001). Ou seja, seu uso e análise permitem identificar tendências em meio a informações desagregadas (no caso, os balanços energéticos).

Surge, então, a questão da padronização de metodologias de balanços energéticos, não só de modo a convergir para metodologias consagradas internacionalmente, mas também de modo a tornar compatíveis os indicadores formulados a partir destas matrizes.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo analisar o impacto das metodologias adotadas em balanços energéticos sobre a elaboração de indicadores de energia. Para tanto, foram utilizados os balanços energéticos das principais entidades estatísticas internacionais, como Agência Internacional de Energia, Eurostat, Nações Unidas e Olade, e, no âmbito nacional, o balanço energético elaborado pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Nem todos os princípios e métodos utilizados nestas matrizes energéticas para contabilização dos fluxos de energia do país são padronizados e, muitas vezes, impedem uma boa comunicação entre as fontes de dados. Diante disso, a utilização das informações constantes nestes balanços energéticos para elaboração de indicadores de energia deve ser cercada de cuidados, pois nem sempre dados referenciados a um determinado energético possuem o mesmo significado em cada matriz.

Assim sendo, é importante que tomadores de decisão estejam atentos a esta questão, de forma a conduzir análises saudáveis a respeito do sistema energético do país e realizar um adequado planejamento nesta seara. Ou seja, a questão da transparência metodológica de balanços energéticos é fundamental, expondo em espaços apropriados, como apêndices, os procedimentos adotados na coleta, amostragem e tratamento das informações.

Esta importância da explicitação de metodologias remete à questão mais profunda que representa a importância da transparência de informação não apenas no funcionamento de mercados, mas nos processos políticos (Stiglitz, 2001). Há assimetrias de informação entre governantes e governados, e, havendo maior

transparência e acesso à informação, governados mais informados aumentariam a contestação do processo político, fortalecendo as bases democráticas.

Há que se salientar, entretanto, que o processo de aquisição e cessão de informações envolve um grande custo. Deve-se perceber o ponto ótimo de custo/benefício na tarefa de obtenção e avaliação da informação energética e seus benefícios, de forma que o custo não seja maior que o benefício.

Na discussão das questões acima, a presente dissertação se divide nos seguintes capítulos:

- Capítulo 2 – Este capítulo objetiva analisar a relação entre a Informação e o Planejamento Energético. Para isso, primeiramente caracterizar-se-á o bem “informação”, sob o prisma do funcionamento do seu mercado. Em seguida, mostrar-se-á de que forma a informação pode ser obtida. Serão explicitados alguns tipos de regulação do setor energético e de que maneira a informação os impacta. Enfatizar-se-á a necessidade de uma base de dados de qualidade para o Planejamento Energético. Finalmente, serão introduzidos os balanços energéticos, seu papel no planejamento energético e a forma como surgiram.
- Capítulo 3 – Aqui se analisam as metodologias dos balanços energéticos internacionais das instituições selecionadas, como ONU, Eurostat, IEA e Olade, expondo-se suas disparidades. Primeiramente, introduz-se o conceito de balanço energético e em seguida os princípios que norteiam sua formulação. Segue-se, então, a comparação entre as metodologias escolhidas.
- Capítulo 4 – O capítulo analisa a metodologia do Balanço Energético Nacional e expõe suas diferenças com relação às metodologias dos balanços internacionais. Primeiramente, mostra-se a matriz do Balanço Energético Nacional, e, em seguida, seus princípios são apresentados, de forma a já caracterizar as escolhas metodológicas desta matriz. Após esta etapa, a análise aprofundar-se-á na estrutura do balanço energético e suas cadeias de fontes energéticas.

- Capítulo 5 – Diante das análises das metodologias de balanços energéticos, tanto internacionais, quanto nacionais, realizadas nos capítulos anteriores, este capítulo explicita a importância da convergência metodológica na formulação de indicadores e análises do planejamento energético. Para tanto, faz-se uma breve introdução aos indicadores energéticos e suas correlações com balanços energéticos. Em seguida, explicitam-se os desvios do BEN em relação às metodologias internacionais e como impactam na construção de indicadores.

2. O PAPEL DA INFORMAÇÃO NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

2.1. A natureza da informação

Mercados podem ser definidos como o lócus de interação entre vendedores e compradores, determinando o preço de um produto (Pyndick e Rubinfeld, 2002). Quando o número destes agentes é grande, de forma que nenhum deles pode, individualmente, afetar o preço, diz-se que o mercado é competitivo, e haverá apenas um preço, o preço de mercado.

O conhecimento e definição de um mercado é de suma importância, pois traz a possibilidade de identificação do comportamento tanto dos concorrentes, quanto dos consumidores. Para alguns consumidores, o valor atribuído a determinado bem excede o preço de equilíbrio de mercado e assim, estariam dispostos a pagar mais pelo bem. Portanto, o benefício adquirido além daquilo que pagaram é chamado de excedente do consumidor. Da mesma forma, o excedente do produtor é caracterizado como o benefício que alguns produtores obtêm por possuírem baixo custo e estarem vendendo pelo valor de preço de mercado, que fica acima deste custo de produção. A figura abaixo ilustra estes dois conceitos através das áreas triangulares A (excedente do consumidor) e B (excedente do produtor):

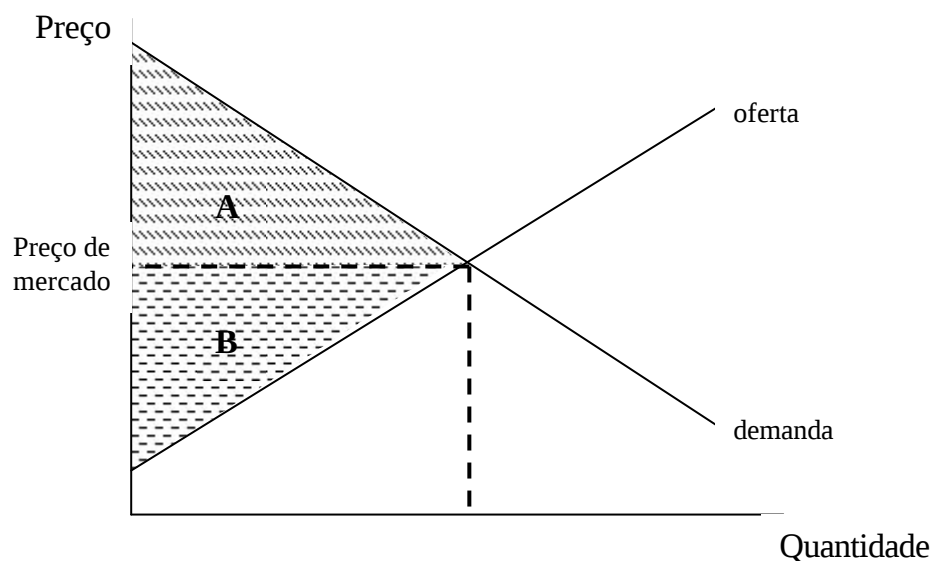


Figura 1: Excedente do produtor e do consumidor.

Fonte: Elaboração própria a partir de Pyndick e Rubinfeld, 2002.

Para que um mercado atinja a eficiência econômica, é necessária a maximização do excedente do consumidor e do produtor em conjunto. Numa estrutura competitiva, o preço funciona como variável de ajuste entre as quantidades demandadas e ofertadas, que convergem para uma situação de equilíbrio (Pyndick e Rubinfeld, 2002). Diz-se, então, que se está produzindo a quantidade ótima. Entretanto, nem sempre as condições competitivas¹ existem, e os preços, desta forma, não fornecerão a sinalização adequada aos consumidores e produtores das reais condições de escassez. Denominam-se falhas de mercado a ocorrência de situações que limitam a capacidade dos preços em refletir as reais condições de escassez: falha de informação, presença de externalidades, provisão de bens públicos e assimetria de poder de mercado. Aqui serão trabalhados apenas os três primeiros conceitos, pois são os úteis para a discussão a respeito do mercado do bem “informação”.

Em relação aos problemas de informação, pode-se dizer que a falta deste bem pode gerar desequilíbrio entre as quantidades de produtos ofertadas e as quantidades necessárias ao mercado e impede o bom desenvolvimento do mesmo. Da

¹ As condições para concorrência perfeita (limite ideal do mercado competitivo) são: atomização dos mercados (muitos compradores e vendedores), produto homogêneo, perfeita informação e perfeita mobilidade de fatores de produção (capital e trabalho). Uma explicação mais elaborada a respeito do mercado e seu funcionamento não faz parte do escopo deste trabalho. Para maiores informações, portanto, consultar Pyndick e Rubinfeld, 2002

mesma forma, as ineficiências de informação levam a informações assimétricas, que representam situações onde o comprador e o vendedor possuem informações diferentes em relação à transação (contrato). É natural que o fabricante possua muito mais informação a respeito do produto do que o consumidor, criando, assim, uma desvantagem para o lado do comprador. Cria-se, assim, uma situação onde o mercado não funcionará adequadamente, pois a falta de informação faz com que o preço do produto não corresponda ao real valor do produto. Assim, tem-se a questão da informação afetando os princípios básicos da análise do equilíbrio competitivo (Stiglitz, 2001):

- a lei do preço único não ocorre, pois nem sempre o mesmo bem é vendido pelo mesmo valor,
- a lei do preço competitivo também não se verifica, pois o preço não converge ao custo marginal no equilíbrio de longo prazo,
- a hipótese do mercado eficiente, onde o preço de mercado carrega toda a informação relevante do informado para o desinformado, não procede (se assim fosse, não haveria incentivo em pagar para coletar informação).

Há de se explicitar que assimetrias de informações somente surgem quando os objetivos dos participantes do contrato são conflitantes, pois, caso contrário, as duas partes almejavam o mesmo objetivo e toda a informação seria revelada, de forma a se alcançar tal objetivo (Stadler e Castrillo, 2001).

Relativamente às externalidades, pode-se explicá-las como os efeitos das atividades de produção e consumo que não se refletem nos preços de mercado (Pyndick e Rubinfeld, 2002). Ou seja, os custos ou benefícios de produção de alguns bens atingem pessoas ou organizações que não estão envolvidos no processo de decisão de produção ou consumo desses bens. Podem ser tanto negativas, ou seja, a ação de uma das partes, consumidor ou produtor, incorre em custos para uma outra parte, ou positivas, a ação de uma das partes leva benefícios à outra. Uma externalidade negativa, por exemplo, seria a geração de poluentes por uma indústria, que acarretaria em custos para a sociedade (problemas respiratórios).

Ainda utilizando o conceito de externalidade, pode-se explicar mais um tipo de falha de mercado para refletir as condições de escassez: a provisão de bem público. O conceito de bem público puro inclui duas características, a de ser não rival (ou não disputável) e não exclusivo (SSC, 1999) Um bem não rival caracteriza-se

quando, para qualquer nível específico da produção, o custo marginal de sua produção é zero para um consumidor adicional. Tais bens podem ficar disponíveis para todos os consumidores, mesmo sem afetar a disponibilidade de consumo deste bem por outros usuários, ou seja, sua condição de escassez (oferta) não é afetada pelo uso (Schmidt, 2006). Além disso, o proveito que uma pessoa tira deste bem não inviabiliza o proveito de outra pessoa. Já o bem não exclusivo ocorre quando as pessoas não podem ser impedidas de consumi-lo mesmo sem incorrer nos custos de aquisição (seu oposto, o bem exclusivo, é passível de cobrança, restringindo o consumo).

Vistos os conceitos e princípios de um mercado, pode-se agora particularizar essas observações, aplicando-as na caracterização do bem “informação” e na exposição da dinâmica de seu mercado. É importante destacar que, ao caracterizar a natureza da informação, deve-se considerar a dualidade de seu caráter, pois, além de se tratar de um bem por si só, possuindo mercado e apresentando oferta e demanda, faz parte do mercado de qualquer outro bem, sendo necessária para o bom funcionamento deste, e, na falta de informação suficiente, falhas acontecem. Portanto, a informação é a base de funcionamento de qualquer mercado.

A primeira característica destacada para este bem é o fato de ter características de bem público, porém, não necessariamente bem público puro, pois, apesar de apresentar característica de bem não rival, pode tornar-se exclusivo, através da cobrança pelo seu uso. Assim, o consumo de informação por um indivíduo não torna o consumo de outro indivíduo indisponível, e também não necessariamente reduz os benefícios para os outros indivíduos. Se não houver um meio de tornar a informação exclusiva, não existe interesse da iniciativa privada em participar da produção de informação por não existir uma determinação precisa do direito de propriedade e não poder ser atribuído a este um preço (Brito, 2005). Nesse caso, uma vez que é gerada, não se tem mais o controle sobre o seu consumo e não há uma maneira de oferecer informação sem que todos sejam beneficiados por ela. Ou seja, trata-se de uma externalidade positiva, pois o benefício não é atribuído somente àquele que a custeou, mas também a outros consumidores. Conseqüentemente, os consumidores deste bem não revelam suas preferências e não são estimulados a pagar o valor que o mesmo tem para eles, podendo atuar como *free riders*, ou seja, caronas (não revelam suas preferências e o valor que atribuem ao bem, auferindo benefícios em proporção maior do que suas participações relativas nos custos).

De forma a ilustrar essa dinâmica, considere-se um caso onde uma empresa resolva custear uma pesquisa a respeito de um possível mercado a explorar. As curvas de custo marginal e de demanda da pesquisa estão explicitadas na figura 2. Esta última curva ilustra o benefício marginal privado da empresa na obtenção das informações. A empresa gastará p_1 na pesquisa para determinada quantidade q_1 de informação (cruzamento das curvas de demanda e custo marginal). Entretanto, em razão da externalidade positiva que ocorre no processo, outras empresas ou pessoas também poderão se beneficiar das informações. Este fato é representado pela curva de benefício marginal externo, BME, na figura. A curva de benefício marginal social, BMS, é o resultado da soma do benefício marginal privado com o benefício marginal externo. Pelo ponto de interseção desta última curva com a curva de custo marginal da pesquisa, vê-se que o nível eficiente de produção, q^* , corresponde a um preço p^* mais alto que p_1 . Isto caracteriza a ineficiência da situação, pois a empresa não cobrará o preço correto (p^*) pelo produto, caracterizando uma externalidade positiva. As demais empresas e pessoas receberão parte dos lucros, e assim, haverá pouco investimento deste tipo.

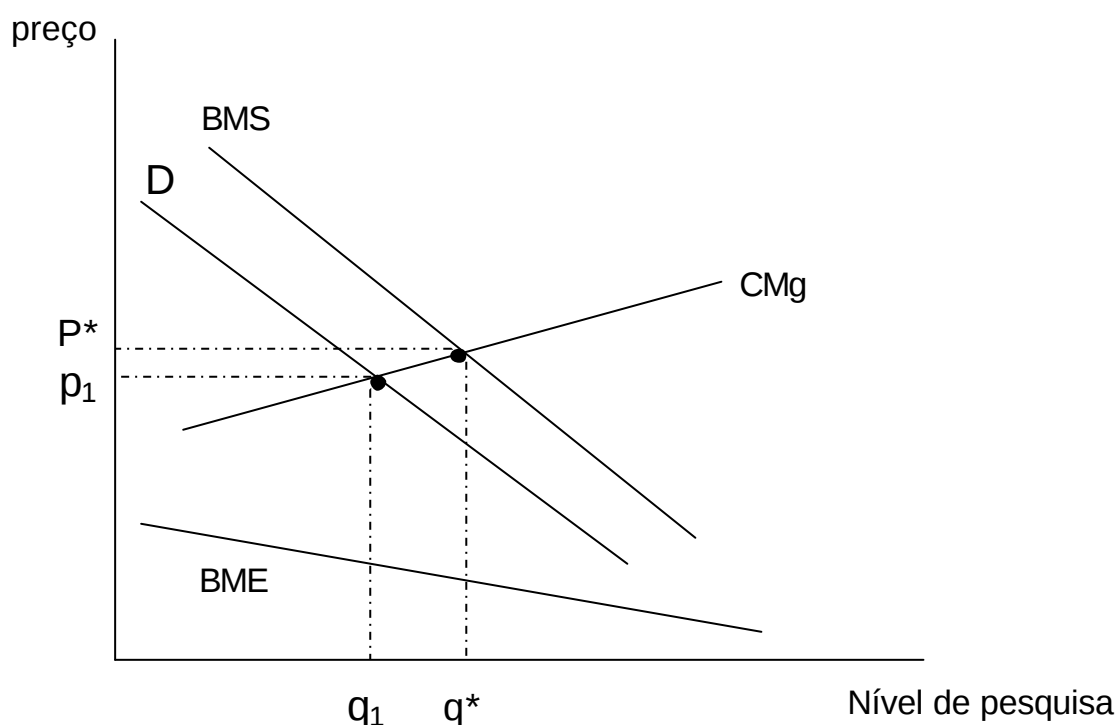


Figura 2: Gráfico de Oferta e Demanda da informação e sua ineficiência de mercado.

Fonte: Elaboração própria, a partir de Pyndick e Rubinfeld, 2002.

Portanto, no caso de bens públicos e, mais especificamente, da informação, o fato de haver caronas no mercado torna difícil a oferta privada deste bem

de forma eficiente², ou seja, há incapacidade de apropriação dos benefícios por parte dos agentes privados em níveis que tornam os investimentos não atraentes, podendo gerar ineficiência de produção e fazendo com que a informação tenha que ser subsidiada ou mesmo ofertada pelo governo (Pindyck e Rubinfeld, 2002). Destaca-se aqui que, pelo fato de a informação ser um bem intangível, ou seja, não material, há uma maior dificuldade relativa do sistema jurídico e econômico em delimitar, reconhecer e garantir sua propriedade (Lastres, 1999).

Desta forma, a principal razão para justificar a provisão de informação por parte do governo se relaciona ao fato de ser bem meritório, ou seja, aquele que causa externalidades positivas (os chamados *spillovers*³), e, sendo assim, o governo reconhece a importância de sua oferta (Pindyck e Rubinfeld, 2002). Como exposto anteriormente, existem maneiras de tornar a informação exclusiva, tornando-a um bem público impuro, ou seja, sua oferta pela iniciativa privada ocorre, desta forma, normalmente, e não haveria, sob esta ótica, necessidade de provisão por parte do governo. Entretanto, devido a presença dos *spillovers*, o governo passa a considerar o bem socialmente desejável, e assim, ofertá-lo de forma a proteger o indivíduo de si próprio ou de outros, quando acredita que este indivíduo, por si só, não atuaria em favor de seu próprio interesse e consumiria aquém da necessidade se percebesse o seu verdadeiro custo (FAO, 2001; SSC, 1999). Ou seja, sua oferta não é determinada pela preferência do indivíduo, mas pela preferência social, que tenta evitar a existência de excluídos no consumo (o que ocorreria se a oferta fosse feita pela iniciativa privada, através de cobrança pelo seu uso). Este é o principal motivo pelo qual o governo oferta informação, e não simplesmente por apresentar características de bem público. Como exemplo a somar, cita-se o caso da educação, que é fornecida pelos governos locais pelo fato de acarretar externalidades positivas e não porque seja um bem com características de público. Portanto, mesmo que um bem seja privado, caso seja também meritório o governo o proveria.

² Há formas de diminuir o aparecimento de caronas no mercado, através do uso de direitos de propriedade. A eficiência de sua utilização, entretanto, é controversa (Schmidt, 2006). Além do mais, surgem questões como a do interesse público, pois pode haver perdas do bem estar social devido à constrição da distribuição da informação (por questões de direitos de propriedade). Por outro lado, também pode haver perdas sociais por subprodução de informação (no caso de falta de uso dos direitos de propriedade). (Yoon, 2002).

³ *Spillovers* são externalidades positivas. Para maiores informações, ver Pindyck e Rubinfeld (2002).

Visto o exposto acima, percebe-se a necessidade de existir uma regulação por parte do governo, de forma que este oferte ou promova a oferta de informação nos níveis ideais ou necessários. Ressalta-se ainda mais esta afirmação devido ao fato de que a gestão estratégica da informação e o conhecimento passaram a se constituir em ferramentas fundamentais do crescimento econômico nas últimas décadas. As estratégias competitivas passam a valorizar não tanto o parque industrial e os tradicionais insumos produtivos, mas, sobretudo o potencial humano especializado e sua capacitação, como fator de agregação de valor às organizações, e, assim, aos bens e serviços que produzem. Estes, portanto, têm sua parcela de participação na economia aumentada, e ajudam na tomada de decisão e na incorporação de mudanças. (Lastres, 1999).

2.2. Importância da regulação da informação e seu papel no planejamento

A regulação, segundo Pinto e Silveira (1999), pode ser explicada como todos os tipos de leis e controles administrativos que emanam do governo, disciplinando o funcionamento dos mercados e objetivando a eficiência alocativa e produtiva do setor⁴ e necessita existir em casos de falhas de mercado. Há diversas formas de regular o mercado, e é importante escolher a estratégia adequada para atacar o problema. Um ponto de partida é considerar os recursos e capacidades de que dispõe o governo (Cave e Baldwin, 1999). Dentre elas, destacam-se:

- Comando e controle: utilizar influência por imposição de leis e normas embasadas em sanção. A lei é utilizada para proibir ou levar a certas condutas.
- Uso de incentivos: taxas negativas ou positivas sobre o regulado, de forma a levá-lo a agir de acordo com o interesse público.
- Revelação de informação: organizar a forma de ceder a informação, de modo que sejam reduzidas as assimetrias de informação.

Apesar de constituir uma forma de regular por si só, o manejo de informação também faz parte de outras formas de regulação. A técnica de comando e controle só pode existir se embasada em informações que os próprios regulados

⁴ O conceito de eficiência alocativa compreende a equalização dos preços aos custos marginais de produção, enquanto que a eficiência produtiva é alcançada quando as empresas, seja por razões competitivas ou de incentivos, escolhem o processo produtivo de menor custo possível.

fornece, para que sejam feitas as leis. Ou seja, o regulador precisa de um bom aporte de informação a respeito do mercado e das firmas para que possa exercer sua função, e depende do regulado para receber esses dados (é ele que, naturalmente, possui a melhor informação). Este fato dá ao regulado um grande poder sobre o processo de regulação, e, portanto, há possibilidade de ocorrer a chamada “captura” do regulador⁵. Da mesma forma, na técnica de regulação por uso de incentivos, o aporte de informação também é necessário para que o regulador possa inferir a taxa ótima que incentive o regulado a agir dentro do interesse público. Ve-se aqui, pois, que as assimetrias de informação também ocorrem dentro do processo de regulação.

Regular o mercado através da circulação de informação mostra-se como um método menos intervencionista, por parte do governo, do que através de comando e controle, pois não há interferência sobre preços, nível de produção ou métodos. É através do ato de tornar os consumidores informados que se consegue melhorar o funcionamento do mercado, pois assim os mesmos podem tomar decisões mais embasadas (com menos assimetria de informação), além do fato de que o fornecimento de informação ao público afeta indiretamente o comportamento das empresas (Konar e Cohen, 1997). Esta técnica permite uma maior descentralização do processo regulatório, pois a decisão final cabe ao consumidor. Necessita-se, porém, do uso de regras para a cessão de informações, voltando-se à questão da legislação. É imperativo que haja transparência e coerência nas informações cedidas, o que pode ser conseguido através do uso de sanções, e ressalta a possibilidade de utilização concomitante de alguns tipos de regulação. Tal fato é ainda mais reforçado quando se levam em conta os problemas associados à regulação informacional. Pode-se destacar, entre eles, o uso indevido das informações, ou a sua não compreensão pelos consumidores, o uso do critério de escolha baseado no preço, e a possibilidade de altos custos associados à obtenção de dados, principalmente pela necessidade da fiscalização da qualidade da informação. (Cave e Baldwin, 1999).

Levando-se em consideração o lado mais político da questão, o não acesso à informação prejudica o processo democrático, pois se baseia numa relação

⁵ As estratégias adotadas pelas empresas também podem aumentar a assimetria de informação e comprometer o processo regulatório. Como exemplo, podemos citar o crescimento da firma por motivos de diversificação (entrada em atividades não correlatas), o que faz com que a agência não possua o controle das atividades no novo setor, ou internacionalização, onde a agência perde o controle sobre as atividades da empresa no outro país (Pires e Pinto, 2000).

prejudicada entre os governantes e os governados. Assim, uma participação efetiva na questão democrática requer participantes informados, que saibam quais alternativas e resultados existem. Destarte, a avaliação da ação do governante torna-se mais acurada. De outro modo, a obscuridade acerca do meio de governar forma terreno propício à corrupção. De um modo geral, a falta de informação desencoraja a entrada de novos participantes em qualquer processo comunitário (Stiglitz, 1999).

É conveniente citar outra fonte de informação que não a cedida pelo governo através da regulação: a informação adquirida privadamente. Esta informação ocorre sob duas formas: pela *experiência direta*, adquirida no passado pelos investimentos realizados no mesmo mercado, e pela observação do comportamento dos rivais (outros competidores). Esta última forma, inclusive, leva a um efeito em “cascata”, pois a atitude de investir de um rival sinaliza ao outro competidor que tal movimento é lucrativo, incentivando o investimento (entrada no mercado) deste. Esta é uma atitude racional, pois representa economia na obtenção de informação escassa, e pode ser caracterizada como uma externalidade de informação (Kinoshita e Mody, 1997). É devido a este fato que se pode dizer que as empresas não têm incentivos para revelarem dados de seu funcionamento, como por exemplo, seus níveis de produção, cabendo ao governo a obtenção de tais informações. A tendência a ocultar informações é tão forte quanto o nível de competição do mercado e quanto o nível de investimento pretendido pela empresa, e a revelação de informação altera o comportamento das empresas (Comino, 2006).

Tem-se, portanto, que a informação cedida pelo governo consegue direcionar as intenções de investimento a um determinado setor, pois esclarece o funcionamento básico de tal, e a obtida pela iniciativa privada finaliza o processo de decisão de investimento, pois particulariza os dados à realidade da empresa. Assim, observam-se as características complementares das duas estruturas e a importância do papel do governo em prover informações públicas, pois este é o ponto de partida para o desenvolvimento do mercado (Kinoshita e Mody, 1997).

A provisão de informação torna-se ainda mais importante a partir da década de 90, devido à abertura dos mercados de energia e às privatizações de empresas⁶. Estes fatos acarretaram uma queda na qualidade da informação coletada, e

⁶ Não é objetivo desta dissertação o aprofundamento a respeito das reformas do setor energético na década de 90. Para maiores informações a respeito, portanto, consultar Pires e Pinto, 2000.

assim chamam por um aumento no esforço de tal coleta (IEA, 2006). Como causas, podem ser citadas a pulverização das fontes de informação entre várias empresas, pois a liberalização dos mercados fez com que o serviço que antes era prestado apenas por uma empresa passasse a ser executado por várias, e a questão da confidencialidade de dados por questões competitivas, além do aumento da complexidade de transações no mundo globalizado. Apesar do aumento de complexidade neste trabalho, não houve um crescimento proporcional na alocação de recursos para tal. Portanto, a regulação informacional é uma forma de equilibrar este mercado aberto e conferir poder de mercado para o consumidor, que, de outra forma, sofreria demasiadamente as assimetrias de informação decorrentes do funcionamento do mercado. Por outro lado, a informação também é crucial para o funcionamento das organizações e empresas, afetando a competitividade, as estratégias e formatos institucionais (Vance e Castro, 2001). Uma vez que as empresas estão voltadas para atingir suas metas, e em função das incertezas para escolha de um melhor desempenho de suas funções, tem-se que tais organizações devem interpretar seu entorno a partir da análise de suas percepções do ambiente externo. Portanto, a informação mostra-se como recurso estratégico nas tomadas de decisão.

Desta forma, a informação, e assim, sua regulação levam à correção das assimetrias de informação e direcionam o funcionamento do mercado. Além disso, pode-se incluir nesta lista a indução de práticas de benchmarking. Em relação a este último, pode-se definí-lo como aprendizado por compartilhamento de informação e adoção de melhores práticas no processo de mudança de performance (PSBS, 2006). Ou seja, é o aprimoramento através da observação e comparação com as ações de outros. Na esfera privada, o uso de benchmarking traz um ganho de competitividade às organizações. Já na atuação pública, sua utilidade refere-se à melhoria dos próprios processos dos serviços públicos e na disseminação de melhores técnicas de modo geral, que, por conseguinte, se reflete na esfera privada, consolidando o papel do governo no encaminhamento e, portanto, no planejamento do mercado.

Reforça-se, com isso, o aspecto bivalente da informação, de grande importância na eficácia da regulação de mercado e, ao mesmo tempo, de controlar a regulação, num processo de retroalimentação (*feed-back*). É importante manter uma análise de custo-benefício da regulação para a sociedade, de forma que os benefícios ultrapassem os custos. Tal análise é baseada nas informações que a própria regulação gerará. Por sua vez, o benchmarking também traz a possibilidade de medir a

performance da regulação, ao permitir a comparação com outras formas regulatórias. De qualquer forma, a observação dos resultados da regulação não é tarefa trivial, e deve ser acompanhada de cuidado para que os custos desta avaliação não prejudiquem a própria atividade de regular. Surgem aí questões sobre a transparência do processo regulatório.

A regulação informacional também é fundamental no processo de construção de indicadores. A função dos indicadores é informar o tomador de decisão sobre o fenômeno e orientar sua análise ou ação (Cima, 2006). Para que possa ter significado, o indicador deve ser comparado a outro, no tempo ou no espaço, pois isolado não fornece informação suficiente (Machado, 2002). Assim, a formulação e o uso do indicador depende da disponibilidade, acessibilidade e qualidade da informação.

Outro campo onde a informação tem grande relevância é na promoção de políticas governamentais. Segundo O'Toole (2000), a implementação de políticas públicas pode ser definida como o que se desenvolve entre o estabelecimento de uma intenção por parte do governo em fazer algo, ou não mais fazer algo, e o último impacto no mundo de ação, e a provisão de informação tem um importante papel nesta implementação. A Agenda 21, por exemplo, possui um capítulo (capítulo 40) inteiramente dedicado a tratar da importância da informação na condução de políticas de sustentabilidade e lista uma série de ações, de âmbito internacional, nacional e local, para que se resolvam os problemas de falta de qualidade, coerência e normalização de dados, e ainda aumente a acessibilidade e disponibilidade da informação para os tomadores de decisão (United Nations, 1992). É importante destacar que, por qualidade de informação, entende-se objetividade, precisão, extensão e atualidade. O uso destas qualidades, aliado à transparência⁷, é necessário para que se aumente a probabilidade de execução da política pública (Gelders, 2005). Tais características também são requisitadas no próprio processo regulatório, e não apenas nos seus produtos finais. A exposição do objetivo da regulação e suas diretrizes permite que se analise a eficácia da própria. Ademais, a transparência do processo leva à resolução de conflitos, pois sempre haverá uma tentativa de balanceamento entre os interesses dos diferentes participantes (Cave e Baldwin, 1999).

⁷ A transparência permite enxergar como os resultados analíticos são gerados: os dados específicos utilizados, as hipóteses assumidas, os métodos aplicados e procedimentos estatísticos tomados, conseguindo-se reprodutibilidade (NTIA, 2007).

2.3. A informação no planejamento energético

Até o início da década de 70 (antes, portanto, da primeira “crise do petróleo”), os sistemas energéticos eram relativamente mais simples, baseados em sua maior parte em fontes tradicionais (petróleo, carvão e eletricidade), e o seu planejamento era basicamente acoplado ao planejamento econômico: estimava-se a expansão da economia e assim, o aumento da oferta energética necessário, ao menor custo, para se alcançar tal crescimento (Cima, 2006), desconsiderando-se possíveis manobras pelo lado da demanda. A noção de custo até então era basicamente restrita à vertente financeira, não considerando as variáveis ambientais e sociais.

Com os choques do petróleo e o aumento brusco do preço da energia, houve o despertar das nações industrializadas em relação a sua dependência de fontes energéticas importadas, e assim, maior atenção ao desenvolvimento de um planejamento de sistemas energéticos⁸.

Primeiramente, entretanto, deve-se justificar a importância do planejamento energético, e se expor a característica de bem meritório da energia. Como tal, além de essencial, traz externalidades positivas e é caracterizado como bem socialmente desejável. A provisão confiável de fontes energéticas possibilita o bem estar econômico e social, e é essencial à evolução de uma economia de subsistência (IAEA, 2005 e Cima, 2006). Serviços básicos como iluminação, cocção de alimentos e aquecimento são exemplos da importância de um fluxo confiável e seguro de recursos energéticos. Todos os setores da sociedade demandam serviços de energia, e são beneficiados com o conseqüente desenvolvimento econômico e social permitido pelo aumento da produtividade e renda. O uso da energia impacta, assim, na debelação da pobreza, na transição demográfica, no provimento de educação, emprego, industrialização, saúde e bem-estar, itens primordiais no alcance do desenvolvimento sustentável⁹.

Por outro lado, a energia também é capaz de gerar externalidades negativas, como os impactos ambientais. Em sua maior parte a provisão atual destas fontes energéticas é baseada em recursos finitos, ou não renováveis, e portanto,

⁸ Para maiores informações, vide tópico 2.4 deste trabalho.

⁹ O conceito de desenvolvimento sustentável, segundo o relatório Brundtland (United Nations, 1987), é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades. Mais informações a respeito podem ser consultadas em IAEA, 2005, por não se tratar do foco desta dissertação.

ambientalmente não sustentável. Além disso, toda produção ou uso de energia apresenta algum tipo de resíduo, poluição ou risco. Tais impactos ambientais são dependentes diretamente da forma de produção e uso de energia, do *mix* de combustíveis utilizados e da regulação (incluindo a formação de preços) e estrutura dos sistemas energéticos. As fontes e tecnologias energéticas existentes sempre impactam o solo, a água e o ar de alguma forma, em intensidades diferentes e específicas. Portanto, é importante que as consequências do uso atual de energia não comprometam a qualidade de vida das gerações atuais e futuras. Neste sentido, aliado ao caráter de essencialidade do uso de energia no desenvolvimento das sociedades, entende-se a importância de um planejamento do fornecimento de fontes energéticas, principalmente devido à complexidade dos sistemas energéticos atuais e às novas variáveis sociais, econômicas e ambientais que deles decorrem.

O alcance do desenvolvimento sustentável é conseguido através do uso dos recursos, tecnologias apropriadas, incentivos econômicos e planejamento político em níveis locais e nacionais, assim como o monitoramento destas políticas de forma a avaliar suas eficácias (AIEA, 2005). É necessário aos tomadores de decisão o conhecimento do ambiente onde atuam, suas necessidades e da forma de agir para o alcance do desenvolvimento local, levando em consideração os impactos dos escolhidos programas sociais, econômicos, ambientais e energéticos. Em relação à energia, foco deste trabalho, necessita-se do desenvolvimento de indicadores e processos para análise dos efeitos das escolhas dos recursos energéticos e tecnologias sobre a sociedade e o ambiente, assim como a sustentabilidade destas escolhas. Este processo permite o entendimento das forças motrizes por trás do crescimento da demanda de energia e conhecer oportunidades de aumento de eficiência energética.

Como exemplo, entre as formas de energia utilizadas, a eletricidade se destaca por se mostrar mais versátil no uso em serviços, manufatura e comunicação (United Nations, 2002). Juntamente com o calor, é a forma de energia mais utilizada no cotidiano dos indivíduos. Além disso, por ser facilmente convertida em outras formas de energia, é considerada uma energia de alta qualidade. Permite também o acesso a meios de comunicação e a redução de tempo gasto em atividades domésticas, aumentando a qualidade de vida dos indivíduos e diminuindo a degradação ambiental (pois substitui o uso de fontes energéticas tradicionais e mais poluentes, como carvão e lenha). Entretanto, o desenvolvimento sustentável requer que os serviços de eletricidade sejam confiáveis, disponíveis e seguros para os indivíduos, e a propriedade física da

eletricidade, de ser gerada e imediatamente utilizada, dificulta estes objetivos: há necessidade de equilíbrio constante entre oferta (geração) e demanda (consumo), além de sobredimensionamento da oferta, pois o perfil de consumo de eletricidade não é constante ao longo do dia e do ano. Há incertezas no dimensionamento tanto desta oferta quanto da demanda, que é afetada por fatores alheios aos mecanismos energéticos, como a situação econômica e as políticas de preço. Ademais, a maior parte da eletricidade atual ainda é gerada de modo tradicional, ou seja, em larga escala, por meio de grandes barragens e grandes centrais nucleares ou térmicas, o que requer investimentos vultuosos e de longo prazo. Ou seja, investimentos em blocos ou discretos que precisam ser previstos com antecedência. Frente ao prazo longo de maturação destes investimentos e à aversão ao risco dos investidores privados, é, portanto, fundamental a atuação governamental no desenvolvimento saudável deste mercado, provendo os meios econômicos e regulamentares necessários e diminuindo as incertezas. Assim, entende-se a necessidade de um planejamento energético, que por sua vez necessita dados desagregados que apresentem boa qualidade, atualidade e consistência com padrões internacionais.

Estatísticas energéticas podem parecer, em um primeiro olhar, como qualquer outro ramo de estatísticas econômicas (United Nations, 1982). Entretanto, possuem características próprias que as diferenciam das demais. Os produtos da indústria energética são mais heterogêneos, incluindo fontes combustíveis gasosas, líquidas, sólidas e eletricidade, que possuem diferentes características de armazenamento, transporte, controle e uso. Podem ser substituídos uns pelos outros, em alguns casos, e transformados entre eles, e a eficiência de conversão varia bastante dependendo do processo utilizado. Além disso, as fontes energéticas são distribuídas e utilizadas de modos diferentes entre os países. Este último fato foi ainda mais reforçado após as crises do petróleo, que mudaram padrões de oferta e consumo de energéticos, e introduziram maior atenção às fontes renováveis (IEA, 1994 e United Nations, 1982).

O objetivo primeiro do planejamento energético é prover soluções para que se possa suprir estática e dinamicamente a demanda e a oferta das fontes energéticas, de forma a garantir o atendimento da demanda por serviços energéticos por parte da sociedade. É necessária uma avaliação dos recursos naturais disponíveis, tecnologia acessível, recursos humanos e financeiros, e principalmente, da demanda por energia, para depois fazer a proposição e análise das soluções, planejar os métodos e assim, realizar a implementação e gerenciamento do plano. Ou seja, informações que

impactem o sistema energético têm que estar disponíveis para coleta e análise, e de modo contínuo, para que o planejamento seja sempre revisto (FAO, 1997).

Basicamente, podem ser considerados três níveis de desagregação para o planejamento energético (FAO, 1997):

- Nível nacional: abrange o país como um todo e tem como objetivo a formulação de políticas e estratégias de amplo espectro e longo prazo em relação ao planejamento econômico da nação.
- Nível sub-nacional ou intermediário: os sub-níveis diferenciam-se de acordo com os limites administrativos do país. Objetiva formulação de políticas e estratégias subnacionais e de aspecto ambiental.
- Nível local: a área é delimitada pelos limites administrativos ou por aspectos como economia, demografia e cultura. Objetiva formulação de planejamento e estratégias de alcance local, e foca-se bastante em combustíveis tradicionais.

Como dito anteriormente, o planejamento é uma atividade iterativa e novas informações levam a uma nova análise, em um processo contínuo. Tal processo inclui diversas etapas, que podem ser aplicadas a qualquer nível de desagregação de planejamento (FAO, 1997):

- Desenvolvimento de base de dados:

Aqui se procura identificar, gerar e avaliar a informação requerida. Primeiramente, identificam-se as necessidades informacionais, de acordo com os objetivos do planejamento. São necessários dados sobre atividades de produção, transformação, distribuição e consumo. Após tal identificação, são coletadas as informações através de fontes de dados secundárias ou produtores energéticos. Se a primeira forma for usada, através de estatísticas e relatórios já existentes, deve se tomar o cuidado de revisar as informações, pois muitas não são realizadas objetivando o planejamento energético e podem variar em definições e escalas. Já em relação à segunda forma, o cuidado se refere ao fato de que tal coleta consome tempo e é dispendiosa. Após este passo, as informações devem ser organizadas em tabelas ou outros formatos.

É importante notar a relação de interdependência entre desenvolvimento de bases de dados e planejamento energético. Este depende da

disponibilidade e qualidade de informação, mas, ao mesmo tempo, deficiências na base de dados podem ser vistas como resultado do planejamento. A base de dados serve como insumo às etapas de análise de demanda e oferta abaixo relacionadas.

- **Análise de demanda energética:**

Aqui se procura realizar uma série de projeções a respeito do consumo de energia. São usados como insumo os resultados da base de dados e gera-se material que será utilizado na etapa de análise de políticas energéticas.

- **Análise de oferta energética:**

É a geração e organização de informação a respeito da oferta energética no presente e potencialmente no futuro. A análise é feita sobre uma avaliação dos recursos energéticos, como localização, quantidade e taxa de produção, e sobre tecnologias, como sua disponibilidade, custo e impactos.

- **Balanco oferta-demanda:**

O objetivo é combinar cenários de demanda com as opções de oferta, de modo a avaliar a consistência de dados, identificar falhas e avaliar as próprias opções de demanda e oferta. Conseguem-se também informações sobre usos e perdas através do traçado de fluxos energéticos, desde a oferta até o uso final.

- **Avaliação de impactos:**

Avaliação de impactos de cenários alternativos e medidas políticas nos diversos aspectos, como econômico, ambiental e social. Serve de insumo para a formulação política ou como meio de avaliá-la.

- **Análise de políticas energéticas:**

Utiliza os resultados apontados pelos balanços oferta-demanda, como os problemas e tendências não desejáveis no presente e no futuro e que requerem intervenções, tanto no lado da oferta quanto no de demanda. Aqui se procura a formulação de um plano energético.

Vistas as etapas do planejamento energético, percebemos a importância da informação e como os dois fatores são interdependentes, principalmente à medida que os sistemas energéticos tornam-se cada vez mais complexos, englobando variáveis ambientais e sociais. Além disso, e talvez mais importante como justificativa da importância de uma base de dados abrangente, é a evolução da modelagem de sistemas energéticos para uma maior desagregação do consumo final de energia, através da descrição da estrutura tecnológica de conversão e uso de energia, ou seja, os modelos

tipo *bottom-up* (Cima, 2006 e Jannuzzi e Swisher, 1997). Tal modelagem descreve e avalia as diversas combinações de tecnologia para cada uso final, de forma a permitir a comparação destas tecnologias, custos e políticas para influenciar seu desenvolvimento e adoção. Ou seja, apresenta-se como um método de gerenciamento da demanda. Ao contrário das metodologias *top-down*, bastante agregadas e que utilizam relações econométricas (como o crescimento do PIB, por exemplo) na estimativa da evolução do consumo de energia, o estilo *bottom-up*, base do planejamento energético integrado¹⁰, necessita de dados bastante desagregados de alta qualidade (uma das principais barreiras para ações pelo lado da demanda é justamente a questão da informação): ao buscar a solução de menor custo total à sociedade (envolvendo, portanto, aspectos sociais e ambientais, e não somente financeiros) passa a tornar-se atividade multidisciplinar.

É importante chamar a atenção para as incertezas nas informações, que podem ocorrer por medição, durante o processamento e manipulação, e podem comprometer a confiabilidade dos resultados (FAO, 1997). Essas incertezas podem ainda ser aumentadas e propagadas pelo uso de base de dados que já contenham erros. Isto pode afetar o processo de decisão, que é realizado sob a suposição de certa confiança nos dados, e que, portanto, tem as decisões tomadas dentro da margem definida pela incerteza. Assim, percebe-se que a margem de erro deve ser levada em conta no processo de tomada de decisão.

2.4. Balanços Energéticos

Antes da crise do petróleo de 1973, havia pouco interesse, em esfera nacional ou internacional, sobre estatísticas detalhadas que relacionassem as diferentes formas de energia entre si, desde sua origem na produção doméstica, passando pela transformação em formas derivadas até o uso final destas ou da energia primária (United Nations, 1982).

Os eventos que sucederam esta crise, como o grande aumento de preço no barril de petróleo, trouxeram um novo interesse sobre a perspectiva energética desta fonte. Surgiu o questionamento sobre a sua importância, o impacto no preço de produtos manufaturados, o quanto o melhor (ou menor) uso de combustíveis derivados afetaria a importação de petróleo, a quantificação de reservas das áreas produtoras, e

¹⁰ Planejamento Energético Integrado é o desenvolvimento combinado de oferta de energia e opções de gerenciamento pelo lado da demanda. Para maiores informações a respeito desse conceito, consultar Jannuzzi e Swisher, 1997.

quanto investimento em capital e pesquisa seria necessário para substituir os derivados de petróleo¹¹. Dúvidas a respeito do desenvolvimento de energias alternativas e a taxa ótima de depleção das reservas, tanto de petróleo quanto de carvão, vieram a complementar o cenário de incertezas que se avizinhava. Houve uma mudança de interesse, pelos analistas energéticos, passando do problema de indústrias particulares de energia para a tentativa de analisar o panorama futuro de oferta e usos de energia de todos os tipos ao mesmo tempo. Assim sendo, aumentou a importância da avaliação não mais somente da produção de energia, mas também de seu uso.

Um dos instrumentos utilizados neste novo tipo de análise foi o balanço energético. Um balanço energético é um quadro contábil (forma matricial) que descreve os fluxos de energia pela economia, seja ela regional, estadual ou nacional, durante um determinado período, geralmente um ano. Tal quadro contém todas as formas de energia, suas conversões, perdas e usos registrados numa mesma unidade de medida, refletindo, assim, o passado da situação energética da economia (Swisher *et al*, 1997).

Os balanços energéticos fazem parte do primeiro passo do planejamento energético, o desenvolvimento das bases de dados, conforme explicado no item anterior. Seu principal objetivo é prover informação para as demais fases do planejamento. Através de sua análise, consegue-se identificar as necessidades de investimentos ou de desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, nos diversos setores do sistema energético. Constituem, portanto, o passo inicial para análises e futuras projeções energéticas, permitindo a construção de indicadores.

Mais uma vez, deve-se destacar a necessidade de qualidade nos dados, pois, como constituem o início do processo de planejamento, os balanços energéticos podem propagar erros e comprometer a confiabilidade das decisões tomadas.

O surgimento da idéia de se fazer tais matrizes energéticas ocorreu, justamente, após o 1º choque do petróleo (1973), onde também se passou a pensar o planejamento energético como de fundamental importância. A partir daí, findou-se a era da energia de baixo custo, prejudicando, principalmente, os países em desenvolvimento. A questão ambiental também começou a ser um fator relevante nos projetos, pois se passou a enxergar os impactos ambientais como estranguladores do crescimento e

¹¹ Para maiores detalhes, vide United Nations (1982), IEA (1994) e Cima (2006).

atentou-se para a necessidade de mudanças na matriz energética¹². Somado a isso, buscou-se desassociar o crescimento econômico do consumo de energia e dos impactos ambientais. Assim, a busca pela eficiência energética tornou-se central no sistema energético, e tornou o planejamento do setor essencial, visando promover, analisar e testar medidas de estímulo a inovações e investimentos (Swisher *et al*, 1997).

Nos anos antecedentes à crise do petróleo, os países industrializados tornaram-se extremamente dependentes do petróleo proveniente dos países árabes (uma área politicamente instável). Eles se permitiram um uso ineficiente e com desperdício da energia. Não havia investimento nas fontes nacionais de petróleo, nem mesmo em fontes alternativas, em eficiência energética e em coleção e uso de base de dados (United Nations, 1982). Assim, a crise trouxe atenção ao problema da energia, e também fez surgir pedidos de rápida intervenção por parte dos tomadores de decisão. Isso levou, em 1974, à criação da Agência Internacional de Energia (IEA), constituída dentro da estrutura da Organização para o Desenvolvimento e Cooperação Econômica (OECD) e contando com a participação de 23 dos 24 membros desta (IEA, 1994). O surgimento da Agência Internacional de Energia baseou-se na cooperação internacional e na criação de meios para a segurança energética e o fortalecimento dos sistemas energéticos dos países membros contra crises no preço do óleo (IEA, 1994). Para isso, basearam-se na busca por políticas de longo prazo, transparência da informação, pesquisa e desenvolvimento sobre energia e meio-ambiente. Percebeu-se que as bases de dados disponíveis não eram suficientes para que tais itens fossem desenvolvidos. Conseqüentemente, surgiu a necessidade da organização de bases de dados a respeito dos sistemas energéticos dos países, para que análises pudessem ser realizadas e levassem aos resultados requeridos. Os países constituintes comprometeram-se a estabelecer um sistema de informação que tornasse os dados disponíveis à Agência.

¹² Data desta época, mais precisamente 1972, o relatório *The Limits to Growth* (Meadows *et al*, 1972), trabalho de grande impacto à época, preconizando que, se as tendências de crescimento de população, industrialização, produção de alimentos e deplecionamento de recursos permanecessem inalteradas, os limites para o crescimento seriam alcançados em torno de um século adiante, pela restrição de recursos naturais e incapacidade do meio ambiente de assimilar a poluição, ocasionando um declínio súbito e incontrolável na população e da capacidade de industrialização, gerando, portanto, grande desorganização econômica e social, forte aumento do desemprego, declínio na produção de alimentos e níveis intoleráveis de degradação ambiental.

A idéia principal era trazer transparência aos mercados internacionais de petróleo, no sentido de se conseguir informações precisas, confiáveis e completas a respeito da estrutura, preços e tendências de tais mercados e disponibilizá-las aos membros da Agência e ao público (IEA, 1994). Ou seja, a disseminação das informações também era essencial.

Assim, após a 1ª crise do petróleo, quando os estudos energéticos tomaram fôlego, surgiram inúmeros cálculos a respeito do uso da energia, e, conseqüentemente, uma miríade de métodos dissonantes (Slessor, 2002). Com isso, surgiu a necessidade de convergência de processos utilizados nestas análises. A Federação Internacional de Institutos para Estudos Avançados (IFIAS¹³ – International Federation of Institutes of Advanced Study), que foi formada como uma das conseqüências da Conferência de Estocolmo¹⁴, em 1972, formalizou um grupo de estudo, em 1974, para a criação de um conjunto de convenções adequadas, que se tornaram uma das primeiras tentativas de convergência metodológica. O trabalho resultou no relatório “*Energy Analysis, Ifias Report 6*”, que trazia as convenções acordadas a respeito do uso de energia na produção de bens e serviços, ou seja, a quantidade de energia embutida nestes itens, em unidades físicas. No ano seguinte, outro workshop foi realizado pela mesma instituição, de modo a analisar mais profundamente a relação entre análise energética e economia, com especial atenção à medição de eficiência e à integração entre informações energéticas e econômicas. Tal método foi desenvolvido pelo fato de que nem sempre o preço (monetário) do bem ou serviço reflete o aumento de custo do conteúdo de energia. Esta análise energética incluía não somente o uso direto de energia para combustíveis, mas também a energia requerida para tornar disponível cada material utilizado como insumo. Assim, utilizando tal instrumento, poder-se-ia identificar as entradas de energia em cada passo do processo e no seu total, tornando possível a identificação de ações que poderiam

¹³ Esta organização, fundada em 1972 e que nos dias atuais funciona como virtual, foi formalizada como um grupo de instituições de pesquisa científica de países desenvolvidos e em desenvolvimento, cujo propósito era colaborar em projetos de questões políticas globais, em nível nacional e internacional e com ênfase especial em aspectos sociais, éticos e humanitários. O Secretariado era locado, originalmente, na Suécia, mas mudou-se para o Canadá em 1986.

¹⁴ A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, mais conhecida como Conferência de Estocolmo, ocorreu em 1972, na Suécia, e introduziu a questão de segurança ecológica e ecodesenvolvimento no debate da ONU.

diminuir a intensidade energética dos produtos e serviços. Neste trabalho atentou-se para a padronização de conceitos e métodos na análise energética, e também para como a falta de informação a respeito deste conteúdo poderia afetar escolhas ou políticas.

Os novos interesses que surgiram a respeito da dinâmica entre as fontes energéticas e as economias nacionais criaram a necessidade de se criar uma estrutura de contabilização que representasse todas as fontes e fluxos de energia utilizados no país em uma única unidade, de forma que cada fluxo possa ser traçado desde sua origem (produção ou importação), passando pela transformação até seu consumo. Ou seja, apesar das diferentes formas dos energéticos, a grande maioria deles é substituível para uma extensa gama de usos. Pode-se, portanto, realizar uma estrutura de contabilização na qual todas as formas de energia relevantes possam ser expressas em uma unidade única de contabilização, de forma que seus fluxos sejam explicitados, desde sua origem na produção ou importação, passando pela transformação, até sua entrega ao consumo. Desta forma, poder-se-iam analisar as depleções nas reservas, as futuras demandas por energéticos, as possibilidades de eficiência energética, os efeitos dos preços na demanda por energia, os impactos ambientais e a dependência de importações (United Nations, 1982).

Com o surgimento dessas contabilizações e dos cálculos de eficiência para sistemas energéticos, surgiram também os balanços exergéticos. Ao contrário dos balanços energéticos, onde são utilizados poderes caloríficos e não há distinção entre conteúdo de calor e trabalho de uma determinada fonte energética (e, portanto, da qualidade desta energia), os balanços exergéticos detalham mais as irreversibilidades das cadeias energéticas. O conteúdo energético de determinada fonte pode ser inteiramente convertido em calor, mas, em geral, apenas parcialmente em trabalho. Já o conteúdo de trabalho (energia útil) de uma fonte pode ser convertido totalmente tanto em trabalho quanto em calor. O conceito de exergia mostra que a energia não deve ser vista apenas consistindo em uma propriedade, a entalpia (calor), mas também na propriedade de qualidade, que é uma medida da exergia (trabalho) contida na entalpia. Portanto, ao incorporar os conceitos da primeira e da segunda lei da termodinâmica, a exergia mostra-se mais propícia para os propósitos de planejamento energético, pois aponta as fontes de energia de alta qualidade, que são mais úteis e produtivas (Schaeffer e Wirtshafter, 1991 e Patterson, 1996). Além disso, o conceito de exergia é mais

valorizado no planejamento energético integrado, pois este objetiva, entre outras coisas, aumentar as eficiências energéticas de 1ª e 2ª lei.¹⁵

Estas questões tornam as metodologias utilizadas nas estatísticas energéticas em algo complexo e carente de compatibilidade entre as divisões estatísticas nacionais.

Os primeiros balanços energéticos da Agência Internacional de Energia foram publicados para o período 1967-1977 (*Basic Energy Statistics and Energy Balances of Developing Countries*, 1967-1977), seguindo a política de desenvolvimento de sistemas formais de informação (IEA, 1994). É importante destacar que muitos dos documentos elaborados pela agência eram dirigidos apenas ao governo e companhias petrolíferas. Percebeu-se, entretanto, que tais empresas passaram a possuir a vantagem do acesso às avaliações, em detrimento das empresas que não eram representadas nos grupos de cooperação com a agência. Assim, decidiu-se pela publicação das avaliações em base comercial, que, não só resolveria o problema, como alcançaria uma audiência muito maior. Ao longo do desenvolvimento e operação deste sistema informacional da Agência, mais informações foram disponibilizadas por órgãos públicos e outros, à medida que a Agência mantinha e expandia os contatos com as fontes da indústria de informação de mercado. Aqui vemos a atuação dos *spillovers* da informação, pois a divulgação de dados afeta o comportamento de todo o mercado.

Ademais, através da análise dos balanços energéticos, tornou-se possível formular e obter indicadores que mostram características do uso da energia nos países, da mesma forma que foram reveladas as mudanças necessárias para alcançar eficiência energética e formas de tecnologias limpas e alternativas ao petróleo. Ou seja, inicialmente, a publicação pretendia intervir no mercado de forma a garantir a segurança de suprimento energético aos membros, mas, além disso, era uma forma de mudar o comportamento do consumidor, dito de outra forma, induzir técnicas de GLD (*gerenciamento pelo lado da demanda*), já que, no começo dos anos 70, a modelagem desagregada de sistemas energéticos levou à percepção de que muitas melhorias técnicas na eficiência de uso final poderiam ser implementadas (Swisher *et al*, 1997). A informação passou a levar em consideração o uso final, permitindo análises do tipo *bottom-up* e revelando a estrutura tecnológica da conversão e uso de energia, permitindo

¹⁵ O objetivo desta dissertação, entretanto, é dirigido aos balanços energéticos tradicionais, baseados na 1ª lei da termodinâmica.

a identificação de potenciais tecnológicos. Se a eficiência energética era buscada, então análises *bottom-up* eram necessárias, em detrimento das usuais *top-down* que eram aplicadas até então, e que não funcionaram, visto o nível de ineficiência e desperdício energético a que os países estavam expostos.

Contudo, quanto mais qualidade e atualidade as informações estatísticas apresentarem, maior o custo de gerá-las. Há a necessidade, portanto, de se perceber o ponto ótimo de custo/benefício na tarefa de obtenção e avaliação da informação energética, comparando-se o custo de gerar estatísticas que apresentem amplitude, atualidade e precisão com o custo dos erros políticos associados a estatísticas falhas (United Nations,1982).

Cabe aqui, ainda, explicitar a diferença entre o balanço de commodities e o energético. O primeiro mostra as origens (produção, importação, queda nos estoques) e usos (exportações, aumento de estoques, insumo para transformação, consumo final) medidos na unidade original do energético. Porém, este tipo de balanço não apresentará a energia secundária que foi gerada pelo processo de transformação (United Nations,1982). Um balanço energético apresenta as origens e usos de todas as fontes energéticas do país em um determinado período em uma única unidade, o que permite que sejam mostradas as entradas e saídas dos processos de transformação.

Conforme exposto acima, o objetivo dos balanços energéticos era, em um primeiro momento, intervir no mercado, induzindo práticas de *bottom-up*. Porém, após a desregulamentação do setor energético sofrida nos anos 90, a prática de divulgação de tais dados mantém-se também como meio de regular o mercado.

3. Metodologias de balanços energéticos: revisão das experiências e práticas internacionais

3.1. Conceituação

Um balanço energético é uma matriz contábil, de dupla entrada, que representa os fluxos físicos de energia pela economia. As colunas são reservadas aos recursos energéticos (produzem energia diretamente ou por meio de uma transformação) e as linhas, às atividades às quais os recursos serão destinados. A forma mais geral de um balanço energético pode ser representada pela equação:

$$\text{PRODUÇÃO} + \text{IMPORTAÇÃO} - \text{EXPORTAÇÃO} \pm \text{VARIAÇÃO DE ESTOQUES} - \text{PERDAS NA TRANSFORMAÇÃO} = \text{CONSUMO}$$

É importante ressaltar que os balanços energéticos descrevem apenas o fluxo físico de energia, e não o valor econômico ou as relações entre o setor e o ambiente sócio-econômico onde estão inseridos. Da mesma forma, não fornecem informação acerca das reservas ou capacidade de produção dos energéticos. Tais documentos, geralmente, refletem o passado da situação energética de uma dada economia, fornecendo informação acerca do fluxo de energia (oferta, transformação e consumo) ocorrido. Constituem, portanto, o passo inicial para análises e futuras projeções energéticas, permitindo a construção de indicadores.

Existem, entretanto, possibilidades de formatações alternativas de balanços energéticos, onde o objetivo é a análise do futuro de um determinado setor da economia (United Nations, 1982). Estes balanços são chamados de *bottom-up*, ao contrário dos mais usuais, tipo *top-down*. Ressalta-se que muito mais informação é disponível a respeito do passado da situação energética em questão do que aquela necessária para a avaliação futura da mesma. Quando se analisa o passado, é lógico iniciar o processo pelas ofertas dos energéticos, e, então, relacioná-las a como foram usadas, estocadas ou perdidas através da cadeia. Disto resulta a estrutura *top-down* convencional, onde:

$$\begin{aligned} &\text{PRODUÇÃO} \\ &+ \text{IMPORTAÇÃO} \\ &- \text{EXPORTAÇÃO} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ \text{VARIAÇÃO DE ESTOQUES} \\
 &= \text{CONSUMO}
 \end{aligned}$$

Ao analisar-se o futuro projeta-se a demanda através do PIB, a quantidade de equipamentos que utilizam os energéticos e a tecnologia de uso da energia e desconta-se a oferta de energia necessária para atingir determinada demanda. Temos, assim, uma estrutura *bottom-up*, onde poderia se analisar o nível de importação necessário para encontrar a demanda, e, conseqüentemente, uma avaliação da dependência externa de energia:

$$\begin{aligned}
 &\text{CONSUMO} \\
 &+ \text{EXPORTAÇÃO} \\
 &+ \text{VARIAÇÃO DE ESTOQUES} \\
 &- \text{PRODUÇÃO} \\
 &= \text{IMPORTAÇÃO}
 \end{aligned}$$

Uma questão importante de destaque é a definição dos limites do sistema: é necessário que seja bem definido, para assegurar que todos os energéticos sejam levados em consideração, desde o momento da extração do recurso primário, até a entrega ao mercado (IFIAS, 1974).

O conhecimento da metodologia de determinados balanços energéticos é de grande importância, pois, a par das convenções e definições adotadas, permite a mobilidade entre conceitos, estruturas de cadeias de energéticos e processos de conversão. É bom lembrar que não há necessidade de convergência total das metodologias, pois cada uma tem que levar em conta as peculiaridades do sistema que representa. O importante é que o processo e suas bases sejam bem explicados, de forma que se possa transitar entre diferentes estatísticas. Além disso, mudanças na metodologia, por mais que sejam necessárias em alguns casos, geram relutância, pois trazem também descontinuidade estatística.

Neste capítulo, primeiramente, analisam-se os princípios dos balanços energéticos, por se tratar de questão comum à realização de qualquer balanço energético.

Em seguida, explicitar-se-ão as organizações consultadas e far-se-á uma descrição do que representam. É importante destacar que tais organizações possuem as metodologias de elaboração de balanços energéticos mais consolidadas, o

que justifica suas escolhas para análise. Conforme exposto no item 2.4 anterior, a Agência Internacional de Energia foi pioneira no desenvolvimento dos balanços energéticos. Já a Eurostat e ONU, por possuírem países constituintes em comum com a Agência, receberam influência desta e também se destacam na elaboração destas matrizes. A Olade, por sua vez, representa a América Latina, e têm se preocupado em convergir para as metodologias padronizadas internacionalmente, em especial, IEA (OLADE, 2004).

Finalmente, analisam-se as metodologias selecionadas. Primeiramente será vista a estrutura dos balanços e, depois, o tratamento que as metodologias fornecem a cada cadeia energética.

3.2. Princípios dos balanços energéticos

A realização de um balanço energético necessita escolhas sobre determinados princípios que nortearão a realização do trabalho. Recentemente, é clara uma tendência de convergência no uso destes princípios, de forma a tornar os balanços comparáveis. (Treanton, 2001). A seguir, esclarecem-se as principais bases de balanços energéticos, conforme as quatro organizações que realizam balanços, discutidas anteriormente.

3.2.1. Unidades

Existe uma extensa gama de unidades nas quais os energéticos podem ser medidos, entre elas, toneladas, barris, watt-hora, litros, etc. Por exemplo, a unidade de medida de eletricidade é o Watt-hora, enquanto que a do carvão é a tonelada. Isso impossibilita a comparação direta entre eles, necessitando a adoção de uma única medida.

Os balanços energéticos pretendem expor, numa única matriz de contabilização, os fluxos de diferentes formas de energia, e para isso utilizam unidade comum para as diversas fontes, de forma a facilitar o uso e apresentação (United Nations, 1982). Isto significa que há necessidade de escolha de uma única unidade de contabilização. Existem diversos motivos para a escolha de determinada unidade, entre eles:

- Coerência com sistema internacional de unidades;
- Expressão da realidade física que representa;
- Relação com o energético mais importante no momento;

No início da realização de balanços energéticos, o carvão mineral era o principal energético do momento, e a unidade de medida era a tonelada equivalente de carvão. Com o crescimento de importância do petróleo sobre a economia mundial, a tonelada equivalente de petróleo passou a ser a unidade mais utilizada.

A determinação do poder calorífico do petróleo de um determinado país é fundamental para a elaboração do balanço energético, no caso de a tonelada equivalente de petróleo (tEP) ou barril equivalente de petróleo (bEP) serem usados como unidade básica para a quantificação do conteúdo energético de todas as outras fontes de energia. Unidades comuns são o tEP (tonelada equivalente de petróleo), o joule e o BTU.

As metodologias IEA e Eurostat adotam o tEP e o poder calorífico para o petróleo bruto com valor de 10.000 kcal/kg (ou 41.686 kJ/kg). A metodologia Olade considera o mesmo conteúdo energético para petróleo, mas adota a unidade bEP como padrão. Já a metodologia ONU usa como unidade o TJ.

Deve-se atentar para o número de dígitos utilizados, de modo a não se cometer erro muito significativo ao usarem-se poucos dígitos, nem dificultar a apresentação dos dados por excesso de dígitos.

3.2.2. Fatores de conversão

A conversão das unidades físicas dos energéticos na unidade comum adotada requer fatores de conversão médios e por isso, necessidade de convenções bem explicitadas e realizadas com bastante cuidado (United Nations, 1982). Como exemplo, podemos citar o caso do carvão mineral, uma commodity bastante heterogênea em termos de conteúdo energético, variando entre países e até mesmo entre minas diferentes. Para convertê-lo na unidade comum escolhida, usa-se um conteúdo energético médio para a tonelada de carvão, e conseqüentemente, um fator de conversão médio para o carvão. Por isso, sempre haverá um erro nesta conversão, pois o conteúdo energético real do carvão dependerá do mix realizado de energético. Ademais, é compreensível que países diferentes adotem fatores de conversão diferentes para o carvão, em virtude do tipo de energético que cada um utilize. Neste caso, portanto, percebe-se que a similaridade de valores não é necessária, nem mesmo correta, em alguns casos. Porém, é fundamental a exposição explícita dos valores, de forma que haja possibilidade de comparação entre bases de dados de diferentes países, através da reconversão da energia do carvão na unidade original do energético.

Os combustíveis líquidos e sólidos podem ser medidos em unidades de volume ou massa, como a tonelada métrica. Os gasosos, em unidades de volume, como litro, barril, metro cúbico. Assim sendo, de forma a convertê-los de um para outro, precisa-se das suas densidades.

Densidade é definida como a massa dividida pela unidade de volume. Como este se modifica com a variação de temperatura, os dados para a densidade são relacionados a uma determinada temperatura.

3.2.3. Poderes caloríficos

Poder calorífico é a quantidade de calor que se libera durante o processo de combustão de um energético (OLADE, 2004). Existem duas maneiras de classificá-lo: como Poder Calorífico Superior (PCS) e como Poder Calorífico Inferior (PCI). O primeiro representa a quantidade total de calor liberada na combustão, até que os produtos da combustão estejam resfriados e a água gerada pela queima do hidrogênio presente no combustível esteja em estado líquido. É, portanto, uma medida de laboratório, pois inclui o calor latente de vaporização da água. Já o PCI significa a quantidade de calor liberada excluindo-se o calor não recuperável (calor latente de vaporização da água), ou seja, é a quantidade de calor realmente aproveitada do energético (Rodríguez-Anón *et al*, 1998).

Os quatro balanços energéticos analisados adotam o PCI, com a exceção da adoção do PCS para gases (exceto biogás) na metodologia IEA/Eurostat.

Uma análise termodinâmica estrita necessitaria avaliar o PCS de todos os combustíveis até o momento de uso por usuários finais (United Nations, 1982). Caso se quisesse contabilizar o calor residual emitido à atmosfera por usinas de geração de eletricidade ou outros transformadores de energia, necessitar-se-ia utilizar o PCS como base para avaliar o conteúdo energético dos combustíveis. Porém, na prática, somente se consegue contabilizar o uso, ou mau uso, do PCI. Além disso, a diferença entre estes dois poderes caloríficos é apenas uma parte deste calor perdido à atmosfera.

3.2.4. A contabilização da eletricidade gerada por processos não-combustíveis

As eficiências assumidas para a conversão em eletricidade alteram o total da oferta de energia. Existem dois métodos de contabilização:

- Método da substituição parcial

Durante a fase inicial da elaboração de balanços energéticos, o método de substituição parcial era utilizado para quantificar a produção de energia primária. De acordo com esse método, a produção de eletricidade era baseada na quantidade hipotética de combustível necessária para gerar a mesma quantidade de eletricidade em uma usina térmica utilizando-se combustíveis fósseis.

A vantagem desse método está na possibilidade de limitação das variações na oferta total de energia primária devido a mudanças na produção primária de eletricidade em países onde uma parcela significativa da produção de eletricidade era de origem fóssil. Nos anos de baixa pluviosidade, por exemplo, a geração hidráulica diminuiria e seria compensada pela quantidade correspondente de eletricidade produzida a partir de combustíveis produzidos internamente ou importados. Entretanto, devido à baixa eficiência intrínseca à geração térmica (em torno de 36%), uma quantidade muito maior de energia na forma de combustíveis fósseis é necessária para compensar a eletricidade não gerada a partir de hidrelétricas. Como consequência, energia hidráulica assumia um conteúdo energético fictício aproximadamente três vezes superior ($1/0,36$) ao seu verdadeiro conteúdo energético, superestimando consideravelmente a geração hidráulica nacional.

Dessa forma, para países com elevada participação de geração hidráulica, a adoção desse método corrompia qualquer tipo de análise internacional, além de exigir correções no caso de estudos nacionais. O abandono desse método também se deveu à dificuldade de estabelecimento de fatores de substituição, uma vez que esses dependiam da eficiência marginal de produção de eletricidade a partir de usinas térmicas. Ademais, a contabilização de perdas na transformação, previamente à entrada dos dados no balanço, não se embasava em princípios físicos.

- Método do conteúdo energético

O princípio atualmente adotado pela IEA, a Eurostat, Olade e ONU utiliza o conteúdo energético das fontes de energia primária para contabilização dos valores de produção. Para a geração de eletricidade primária, o método consiste basicamente no valor bruto de geração de energia elétrica por fonte. Dessa forma, como não existem centros de transformação no balanço energético para processos de transformação de energia primária em eletricidade, essa energia é computada com base na quantidade de energia elétrica gerada pelas centrais classificadas de acordo com as fontes (por exemplo, hidrelétricas e centrais eólicas).

No caso da eletricidade gerada a partir de calor primário, como, por exemplo, centrais nucleares e geotérmicas, o calor é a fonte primária de energia. Dada a dificuldade de medição do fluxo de calor para as turbinas, normalmente estimativas são utilizadas. No caso dos países membros da União Européia, os dados de conteúdo energético do vapor de água que sai do reator são fornecidos mensalmente para a base de dados da Eurostat. Para os países não-membros da União Européia e membros da IEA, onde os dados geralmente não estão disponíveis, a estimativa é realizada a partir da geração bruta de eletricidade, assumindo-se uma eficiência térmica de 33%.

O calor primário a partir de fontes geotérmicas segue o mesmo critério, quando dados de conteúdo energético do vapor de água não estão disponíveis. Nesse caso, entretanto, assume-se uma eficiência térmica de 10%, refletindo a baixa qualidade térmica do vapor disponível a partir dessa fonte. A metodologia ONU também adota o coeficiente de 10%.

É importante destacar que a classificação do calor disponível no vapor de água que sai dos reatores nucleares como energia primária e, portanto, como produção doméstica, gera impactos consideráveis em indicadores de oferta e dependência de energia. A utilização desta convenção não permite constatar que o combustível nuclear utilizado pela grande maioria dos países é importado, já que o calor primário de origem nuclear é contabilizado como produção doméstica de energia.

3.2.5. Classificação das atividades econômicas

Um grande número de países possui seu próprio sistema de classificação, de forma a cobrir suas necessidades específicas, que difere das classificações internacionais. Estas, por sua vez, surgiram pela necessidade de tratamentos coerentes das atividades e/ou produtos transacionados entre países.

As metodologias IEA e Olade baseiam-se na ISIC rev. 3.1 - *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities* (United Nations, 2004)- para classificação de seus subsetores de consumo final industrial. A metodologia Eurostat baseia-se na NACE (Nomenclatura de Atividades Econômicas da Comunidade Européia - NACE Revisão 1). Já a metodologia ONU não explicita sua base de classificação.

As divergências metodológicas na classificação das atividades industriais impedem a comunicação entre a base de dados estatísticos de energia e podem levar a análises equivocadas da intensidade energética de determinados setores.

3.2.6. Nível de agregação das fontes energéticas e/ou atividades

Não se pode querer expor todas as possibilidades de combinação entre fontes energéticas e atividades existentes no país, pela conseqüente miríade de combinações. Há que se avaliar o setor energético do país e decidir criteriosamente pelas agregações. É importante, entretanto, que tais decisões sejam explicitadas na metodologia, para que se possa, adiante, avaliar a situação de determinado energético e/ou atividade individualmente. Além disso, é importante que se faça uma espécie de análise de sensibilidade de cada agregação nos possíveis indicadores que serão gerados pelas estatísticas (United Nations, 1982).

Se o nível de agregação de atividades for alto, corre-se o risco de dupla contagem de energéticos. Como forma de ilustrar esta questão, consideremos um caso hipotético de um país, contando com apenas 4 fontes energéticas (de modo a simplificar a explicação). A tabela abaixo indica que foram produzidos 100TJ, importados 10TJ e consumidos 110TJ de carvão, sem parte destinada ao setor de transformação. Em relação ao petróleo, foram importados 100TJ e destes, 95TJ foram convertidos em derivados dos quais 1TJ foi exportado e 4TJ foram destinados ao consumo final; o restante dos derivados, 90TJ, foi usado como insumo para geração de eletricidade, que resultou em 30TJ de eletricidade destinados ao consumo final.

Tabela 1: Exemplificação de nível de agregação em balanço energético.

Fontes Fluxos	Carvão TJ	Petróleo TJ	Derivados TJ	Eletricidade TJ	TOTAL TJ
Produção	100	-	95	30	225
Importação	10	100	-	-	110
Exportação	-	-	1	-	1
Oferta Total	110	100	94	30	334
Transformação	-	100	90	-	190
Uso Final	110	-	4	30	114
Total	110	100	94	30	334

Fonte: Elaboração própria a partir de United Nations, 1982.

Um problema desta contabilização é que o total da primeira coluna, e, conseqüentemente, a oferta total, incorre em dupla contagem, já que os 95TJ de derivados contêm os 30TJ de eletricidade e os 100TJ de petróleo da oferta total contém os 95TJ de derivados, que, por sua vez, contém os 30TJ de eletricidade (o que leva a

eletricidade a ser contabilizada três vezes). Uma forma de evitar este problema é considerar a linha “produção” somente para energia primária, e a produção da energia secundária no setor de transformação.

Deve-se ter em mente, entretanto, que o nível de agregação (ou desagregação) depende da quantidade de informação disponível: um nível de desagregação alto precisa de mais dados a respeito da cadeia da fonte energética ou do fluxo de energéticos pelas atividades da economia.

3.2.7. Qualidade de dados

Aqui se destacam as questões a respeito de conceituação e precisão de dados e como elas se relacionam. Duas bases de dados sobre um mesmo objeto podem demonstrar serem muito precisas, porém muito pouco compatíveis. É de fundamental importância que os balanços energéticos sejam conceitualmente compatíveis com estatísticas econômicas, como o sistema de contas nacionais, ou que, então, exponham as formas de relacioná-las.

A precisão de uma matriz oferta-demanda de determinada *commodity* pode ser relativamente fácil de calcular. Porém, quando são integradas matrizes de diversos energéticos de um sistema, e ainda transformadas em balanço energético de unidade comum, surgem elementos interdependentes de diferentes precisões, e torna-se muito difícil avaliar a margem de precisão destes dados agregados. Mesmo que a margem de erro de cada componente do balanço não esteja disponível, é interessante a realização de análise de sensibilidade dos dados agregados através das margens de erro (reais ou supostas) de seus principais elementos formadores (United Nations, 1982), de forma que se saiba o quanto aquela estatística é fiel ao sistema energético do país. De qualquer forma, é melhor a realização de um balanço energético impreciso do que sua não realização.

Outra questão que impacta diretamente a qualidade dos dados é a forma pela qual as informações são coletadas. A IEA e a Eurostat utilizam os *Joint Questionnaires* para a coleta de informações a respeito da oferta, transformação e consumo de energia a partir de seus países membros¹⁶. São ao todo cinco questionários -

¹⁶ Os dados são coletados pelo envio de questionários às instituições estatísticas nacionais dos países membros da IEA. Estes mesmos questionários, depois de completados, são enviados à Divisão de Estatística das Nações Unidas (UN) por questões de compatibilidade entre OECD e UN. Além disso,

calor e eletricidade, petróleo e derivados, carvão mineral, gás natural e fontes renováveis – compostos por tabelas para contabilização do fluxo de energia de acordo com a cadeia de energéticos. As tabelas não são efetivamente um balanço de energia, mas apresentam um mecanismo de contabilização por fontes de energia que procura refletir todos os processos que fazem parte da cadeia de energéticos. Cada questionário vem acompanhado de todo o processo metodológico de contabilização do fluxo de energia, com definições detalhadas das fontes e atividades. O preenchimento dos questionários pode ser feito por computador, por meio de planilhas automatizadas em Excel, que fazem uma análise interna de consistência dos dados e verificam discrepâncias no fechamento do balanço por meio de rotinas embutidas que informam ao usuário onde está o erro. O questionário também permite a visualização de séries históricas (caso existam) e disponibiliza ao usuário um espaço para observações quanto a possíveis desvios nas séries históricas. Existe, portanto, um formato padrão, estabelecido pela IEA e Eurostat para preenchimento das informações e envio onde, antes mesmo do envio para a IEA e Eurostat, as informações são verificadas pelo próprio fornecedor. Mesmo após o recebimento e atualização das bases de dados, são realizadas verificações por meio de indicadores como eficiência e intensidade energética de diversos setores. Finalmente, após a construção, os balanços energéticos são comparados com as publicações nacionais dos países membros IEA (2004). Ressalta-se aqui que a coleta de informações das duas organizações segue a mesma metodologia, até mesmo porque são os mesmos questionários. Porém, a forma de apresentação dos dados coletados nos balanços energéticos é diferente para cada instituição.

A Olade e ONU não explicitam a maneira pela qual as informações são coletadas.

Cabe notar, entretanto, que até a presente data, ainda não existe um mecanismo legal para o envio das informações de energia dos países membros, o que assegurará a qualidade e atualidade das informações. Não obstante, a Eurostat está trabalhando para o estabelecimento de uma Regulação Européia para estatísticas energéticas (IEA/OECD/Eurostat/UNECE, 2004). Nesse sentido, o fornecimento de informações de energia se tornará uma obrigação legal.

membros da Comunidade Européia são requisitados para transmitir cópia deste questionário preenchido à Eurostat (Farla e Blok, 2001).

Cabe citar aqui o exemplo do Department of Energy (DOE) norte-americano, que possui um conjunto de regulamentações de fornecimento de dados estatísticos e da aplicação de sanções em caso de não atendimento da lei. Sua metodologia segue o *Federal Energy Administration Act of 1974 (Public Law 93-275)*, que criou a agência de energia americana, dando-lhe poderes de coletar e analisar informações sobre energia, realizar projeções para o governo e o público e prover o Congresso de relatórios anuais resumindo tais atividades (DOE, 2007). Outro ato, de mesmo ano, que estabeleceu a coleta obrigatória de dados em entidades produtoras e consumidoras de energia, os chamados *respondents*, consiste no *Energy Supply and Environmental Coordination Act of 1974*. Tal ato estabelece que as informações sejam coletadas de qualquer entidade que esteja engajada na produção, processamento, refino, transporte por dutos e distribuição de recursos energéticos, e que haja confidencialidade de informação quando necessário (explicitando quando é o caso). Há também uma seção para identificação da natureza e da extensão de violações de conduta por parte dos *respondents*, assim como de ações remediativas e possíveis sanções ao infrator.

3.2.8. Delimitação do sistema

Um dos primeiros problemas a serem resolvidos na realização de balanços energéticos é a delimitação do sistema estudado.

À primeira vista, há a questão dos fluxos energéticos e não-energéticos. Algumas fontes primárias, como carvão e petróleo, e algumas secundárias, como nafta, são usadas tanto como combustíveis como insumo do setor petroquímico (United Nations, 1982). Outras, como derivados de petróleo tipo lubrificantes e graxas, não são utilizados como combustíveis. Entretanto, um balanço energético que se propõe cobrir inteiramente a oferta e demanda energética deve incluir todas as formas de energia derivadas, sendo de uso energético ou não, principalmente para fontes de grande peso no balanço energético.

Da mesma forma, as fontes energéticas não comerciais (que não passam pelo mercado) também devem ser levadas em consideração. Em países menos desenvolvidos, energéticos como lenha e dejetos animais têm grande peso na matriz energética. O calor gerado pela autoprodução e os resíduos da indústria de papel também são fontes que integram esta classificação. A importância deste tipo de fonte energética reside no fato de que representa grande porção do uso de energia, além de uma demanda potencial por combustíveis fósseis e eletricidade da oferta comercial

futura. Se um balanço energético objetiva explicitar todos os fluxos de energia, deve, portanto, incluir estas fontes.

A questão de diferenciação entre fluxos e estoques também deve ser bem esclarecida. Podem surgir problemas de alocação entre a produção e estoques de resíduos, como no caso do carvão: quando é extraído da mina, faz-se a triagem por qualidade e tamanho, e somente a quantidade aprovada nesta separação é incluída como produção. A porção rejeitada pode ser estocada como resíduo, sem valor comercial no momento, e não fará parte da oferta. Porém, em um tempo futuro, no caso de escassez deste energético, aquela quantidade que foi considerada resíduo no passado passa a ser vista como comercializável, e sua entrada na oferta não deve ser encarada como variação nos estoques, mas sim como produção.

Um caso diferente ocorre com o gás natural queimado em *flares*, cuja rejeição na entrada da oferta se deu por falta de infra-estrutura, e não por não adequação, em termos de qualidade, para ser comercializável. Portanto, neste caso, a produção deste gás associado faz parte da produção comercializável, e a parte queimada em *flares* deve ser assim descrita.

3.3. Organizações estudadas

3.3.1. IEA

A Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*) é um órgão autônomo, estabelecido em novembro de 1974, no âmbito da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), responsável pela implementação de um programa internacional de energia (IEA, 1994).

A OCDE possui como metas a promoção de políticas voltadas para (IEA, 1994):

- Promover crescimento econômico sustentável, emprego e aumento do padrão de vida dos países membros, e, ao mesmo tempo, garantir estabilidade financeira e contribuindo para o desenvolvimento da economia global;
- Contribuir para a expansão econômica dos países membros e não-membros no processo de desenvolvimento econômico;
- Contribuir para a expansão do comércio mundial de maneira multilateral e não discriminatória, de acordo com as obrigações internacionais.

Assim, relacionando-se a este contexto, a IEA possui como objetivos, por sua vez (IEA, 1994):

- Manutenção e aprimoramento de sistemas para gerenciamento de problemas na oferta internacional de petróleo;
- Promoção de políticas energéticas de contexto global através de relações de cooperação com países não-membros e organizações internacionais;
- Operação de um sistema de informações permanente do mercado internacional de petróleo;
- Aprimoramento do sistema mundial de oferta e demanda de energia através do desenvolvimento de fontes de energia alternativas e aumento da eficiência do uso final da energia;
- Assistência na integração de políticas energéticas e ambientais.

Conforme exposto no capítulo anterior, a agência foi criada em 1974, após a primeira crise do petróleo (IEA, 1994). O objetivo maior era que os países membros conseguissem precaver-se de novas interrupções no fornecimento de petróleo. Para isso, estabeleceram-se medidas, como a realização de estoques adequados para o óleo, acordos para aumento de eficiência energética, diversificação de fontes de energia alternativas ao petróleo e do desenvolvimento de tecnologias mais limpas e eficientes. Ou seja, necessitava-se de políticas de longo prazo e transparência de informação, para que bases de dados a respeito dos sistemas energéticos dos países se desenvolvessem e levassem às análises e resultados requeridos. Com este intuito surgiram os primeiros balanços energéticos publicados pela Agência.

Os países componentes são comprometidos a compartilhar informações sobre energia e a desenvolverem programas de cooperação energética. Representam 26 dos trinta países que compõem a OCDE, a saber, Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, França, Finlândia, Grécia, Holanda, Hungria, Inglaterra, Irlanda, Itália, Japão, Luxemburgo, Nova Zelândia, Noruega, Portugal, República Tcheca, Coreia, Suécia, Suíça e Turquia.

3.3.2. Eurostat

A Eurostat é o Órgão Oficial de Estatística da Comunidade Européia, fundada em 1953, de modo a atender as requisições da Comunidade do Carvão e Aço.

Em 1952, seis países (Bélgica, França, Alemanha, Itália, Luxemburgo e Holanda) assinaram o Tratado de Paris, visando o estabelecimento da Comunidade Européia do Carvão e do Aço e objetivando a criação de bases comuns para o desenvolvimento dos países e a integração necessária para debelar os problemas que ocorrem nesta seara (De Michelis e Chantraine, 2003). Surgiram 12 divisões, entre elas a de estatística. Assim, foi criado um sistema de obtenção de informações para mensuração do setor de aço e carvão, em virtude da importância deste setor para a região, e que se desenvolveu, abrangendo outros países e absorvendo a nova organização em torno da União Européia. Ao longo dos anos, sua atuação estendeu-se para as demais atividades, pois se compreendeu que, para implementar decisões e diretrizes sobre a Comunidade Européia, era necessária uma base estatística confiável e abrangente.

Desde o início, o programa estatístico buscava a harmonização de informações, a interação com os institutos nacionais de estatística e relações internacionais. Estas questões tornaram-se o trabalho central e a motivação para a manutenção da Eurostat. Desta forma, nasciam as condições para que surgisse, mais tarde, o mercado comum, através do estímulo à competição entre firmas, facilitação de investimentos em setores que necessitavam, intervenções para assegurar a produção e oferta em tempos de crise e controle de preços e ainda, suportar todas estas medidas com informações, para que pudessem ser monitoradas e planejadas.

As primeiras estatísticas regulares eram boletins semanais a respeito da comunidade do carvão, e tratavam da produção, número de trabalhadores e estoques. Os primeiros balanços energéticos apareceram nos anos 60, juntamente com a política de disseminação das estatísticas. Dentro do princípio de colaboração com outros organismos internacionais de estatística, foi iniciada uma relação ativa com a OCDE nesta seara de balanços energéticos e aspectos metodológicos. Simultaneamente, a divisão de estatística também iniciou relações de convergência com os escritórios nacionais de estatística. Assim, não é necessário analisar país a país europeu, para obter seus balanços energéticos.

A organização tem como função fornecer dados estatísticos da União Européia que permitam comparações entre países e regiões (De Michelis e Chantraine, 2003). Por meio da Eurostat, os dados coletados dos países membros são consolidados e compatibilizados. Para garantir a disponibilidade de uma vasta quantidade de dados e para auxiliar a utilização adequada das informações, a Eurostat prepara publicações para

diversos tipos de usuários. Eles fornecem informações-chave, através de análises, tabelas, gráficos e mapas.

É composta por Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Inglaterra, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Portugal e Suécia.

3.3.3. Olade

A Olade também nasceu no contexto da crise energética do início dos anos 70 (Olade, 2004). Os países da América Latina e Caribe, carentes de políticas energéticas e necessitando enfrentar tal crise, iniciaram uma mobilização política que culminou no Convênio de Lima, em 1973, e constituiu a Organização. 26 países ratificaram o acordo, sendo eles: Argentina, Barbados, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Suriname, Trinidad & Tobago, Uruguai e Venezuela.

O objetivo da Organização era estabelecer um mecanismo de colaboração entre os países, de forma a que se desenvolvessem seus recursos energéticos e o aproveitamento racional e eficiente, contribuindo para o desenvolvimento social e econômico destes países. (Olade, 2007).

3.3.4. United Nations Statistics Division

A Organização das Nações Unidas foi estabelecida em 1945, por 51 países comprometidos a preservar a paz mundial através da cooperação internacional e segurança coletiva (United Nations, 2005). Atualmente, conta com 191 países, que participam do objetivo da organização, que é manter a paz mundial, desenvolver relações amigáveis entre as nações, colaborar na resolução de conflitos internacionais e preservação dos direitos humanos e ser um centro de harmonização de ações das nações. Possui seis organismos principais:

- Assembléia Geral;
- Conselho de Segurança;
- Conselho Econômico e Social;
- Conselho de Tutela;
- Tribunal Internacional de Justiça;
- Secretariado;

A Divisão Estatística das Nações Unidas está inserida na Divisão de Desenvolvimento Econômico e Social (UNDESA). Tem como função a coleta, processamento e disseminação de informação estatística, e a sua normalização em termos de métodos, conceitos e classificações (United Nations, 2005). Para isso, provê um centro mundial de informações a respeito de comércio internacional, contas nacionais, energia, indústria, meio ambiente, transporte e estatísticas sociais e demográficas obtidas através de fontes nacionais e internacionais, provê assistência aos Estados membros, ajuda a implementar a Agenda 21, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento e disseminação de estatísticas ambientais e indicadores de desenvolvimento sustentável.

Esta divisão das Nações Unidas possui uma base de dados em estatísticas energéticas que provê as informações necessárias a realização dos documentos *The Energy Statistics Yearbook* (anual) e *The Energy Balances and Electricity Profiles* (bienal). Esta base de dados contém informação a respeito de mais de 215 países ou áreas, e é formada através de questionários enviados às divisões nacionais de estatística e através de publicações nacionais. As informações cobrem o período a partir de 1990 (United Nations, 2005).

É importante destacar, ainda, o trabalho desenvolvido em conjunto entre a AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica), ONU (mais precisamente, UNDESA), a IEA, Eurostat e AAE (Agência Ambiental Européia), resultando na base consolidada de indicadores energéticos, denominada ISED (*Indicators for Sustainable Energy Development*). Estes indicadores permitem o desenvolvimento de ações de resposta no sentido de se alcançar os objetivos do processo de planejamento do desenvolvimento sustentável de uma forma integrada (Cima, 2006).

A seguir, expõem-se os formatos dos balanços energéticos das três instituições consideradas, como forma de ilustração. Ressalta-se que os símbolos “+” indicam que as células contêm números positivos e os símbolos “-“ células com números negativos (ou seja, consumo de fontes energéticas na atividade relacionada).

Tabela 2: Estrutura do Balanço Energético da IEA.

10 ⁶ tEP	Carvão	Petróleo bruto	Derivados	Gás	Nuclear	Hidráulica	Geotérmica/Solar etc	Combustíveis Renováveis e resíduos	Eleticidade	Calor	TOTAL
Produção	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Importação	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Exportação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunkers marítimos internacionais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variação de estoques	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Oferta Interna	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
<i>Transfers</i>	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Diferenças estatísticas	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Plantas eletricidade	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Plantas de cogeração	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Plantas de calor	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Usinas de gaseificação	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Refinarias de petróleo	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Transformação de carvão	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Plantas de liquefação	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Outras transformações	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Uso próprio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perdas na distribuição	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Consumo Final Total	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Setor Industrial	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ferro e aço	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Química e petroquímica	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
do qual: feedstock	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Metais não ferrosos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Minerais não metálicos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Equipamentos de Transporte	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Maquinaria	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Mineração	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Alimentos e Tabaco	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Papel, celulose e gráfica	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Lenha e produtos de lenha	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Construção	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Têxtil e vestuário	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Não especificado	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Setor Transporte	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Aviação civil Internacional	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Transporte aéreo doméstico	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Rodoviário	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ferrovário	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Transporte por dutos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Navegação interna	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Não especificado	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Outros setores	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Agricultura	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Comércio e serviço público	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Residencial	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Não especificado	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Uso não energético	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Na indústria/transformação/energia	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
No transporte	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Em outros setores	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Fonte: IEA, 2004.

Tabela 3: Estrutura do Balanço Energético da Eurostat.

	TOTAL	Carvão duro	Patent fuel	Coque	Linhito	Briquetes carvão marrom	Alcatrão	Petróleo bruto	Feedstock	Total produtos do petróleo	Gás de refinaria	GLP	Motor Spirit	Querosene e combustível de aviação	Naphta	Gasóleo/diesel	Óleo combustível Residual	Outros produtos de petróleo	Gás natural	Gás manufacturado	Nuclear	Total energia renovável	Solar	Geotérmica	Biomassa	Eólica	Hidráulica	Outros combustíveis	Calor manufacturado	Electricidade
Produção primária	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Produtos recuperados	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Importação	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Variação de estoques	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Exportação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunkers	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Consumo interno bruto	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Entrada na transformação	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Centrais termelétricas serviço público	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Centrais termelétricas autoprodutoras	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Centrais nucleares	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plantas de patent fuel e briquetes	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Coqueiras	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Alto fornos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plantas de gaseificação	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Refinarias	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plantas de calor distrital	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Produtos da transformação	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Centrais termelétricas serviço público	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Centrais termelétricas autoprodutoras	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Centrais nucleares	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plantas de patent fuel e briquetes	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Coqueiras	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Alto fornos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plantas de gaseificação	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Refinarias	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plantas de calor distrital	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Transferências e retornos	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Transferências entre produtos	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Produtos transferidos	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Retorno da indústria petroquímica	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±

Fonte: IEA, 2004.

Tabela 4: Estrutura do Balanço Energético da Olade.

	Energia primária											Energia secundária													
	fontes não renováveis				fontes renováveis																				
	Carvão	Petróleo bruto	Gás natural	Energia nuclear	Energia hidráulica	Energia geotérmica	Energia eólica	Produtos de cana	Lenha	Outras primárias	Total de energia primária	Eletricidade	GLP	Gasolinas e álcool	Querosenes	Diesel	Óleo combustível	Coques	Carvão vegetal	Gases	Gás natural	Outras secundárias	Produtos não energéticos	Total de energia secundária	Total
Produção	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Importação	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Exportação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variação de estoques	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Não aproveitada	-	-	-	4 -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oferta total	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Refinarias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Centrais elétricas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Autoprodutores	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Plantas de gás	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Carvoarias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Coquerias/ alto forno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Destilarias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Outros centros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Total transformação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Consumo próprio do setor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perdas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diferença estatística	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Consumo final total	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Não energético	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Consumo energético	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Transporte	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Indústria	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Residencial	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Comercial e serviço público	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Agricultura, pesca e mineração	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Construção, outros	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Fonte: Olade, 2004.

Tabela 5: Estrutura do Balanço Energético da ONU.

TJ	Carvão duro, linho e turfa	Briquetes e coques	Petróleo bruto e líquidos de gás natural	Derivados de petróleo leves	Derivados de petróleo pesados	Outros derivados	GLP e gás de refinaria	Gás natural	Gás manufaturado	Eletricidade	Energia biomassa primária	Energia biomassa derivada	Outras fontes de energia	Total energia
Produção de energia primária	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Importação	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Exportação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunkers marítimos e de aviação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variação de estoques	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Oferta total de energia	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Energia convertida	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Plantas de briquetes	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Fornos de coque e coquerias	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Gaseificação	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Alto fornos	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Refinarias de petróleo	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Plantas de líquidos de gás natural	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Centrais elétricas	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Centrais de calor	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Outras transformações	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Transferências	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Consumo setor energético	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Perdas em transporte e distribuição	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Consumo usos não energéticos	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Diferenças estatísticas	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Consumo final	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Indústria e construção	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ferro e aço	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Química	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
outras indústrias	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Transporte	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Rodoviário	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ferrovário	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Aéreo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Navegação doméstica	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Outros	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Residencial e outros	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Residencial	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Agricultura	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Outros consumos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Fonte: United Nations, 2002.

3.4. Análise das metodologias adotadas nos balanços energéticos

Este item pretende explicitar as características dos balanços energéticos estudados (IEA, Eurostat, Olade e ONU), deixando a conceituação básica e geral a respeito de metodologias de balanços energéticos nos Anexos 1 (“Cadeias de energéticos”) e 2 (“Estrutura geral de um balanço energético”). Portanto, aqui será apresentada a análise das metodologias que servirão de insumo para o capítulo 5 desta dissertação, “Padronização metodológica de Balanços Energéticos e seu impacto no uso de indicadores”.

Conforme anteriormente descrito, a IEA e a Eurostat tiveram uma aproximação em termos de convergência de conceitos e metodologias (IEA, 2004). Assim, procuraram desenvolver uma metodologia para elaboração e apresentação de balanços energéticos internacionais de forma a unificar definições e classificações, permitindo análises comparativas entre os diversos países membros dessas organizações.

Apesar de as elaborações dos balanços da IEA e da Eurostat se basearem na mesma metodologia, a apresentação dos dados relativos aos setores de produção, transformação e consumo final de seus balanços energéticos é realizada de maneira diferente.

Em relação a Olade, existe uma tentativa de convergência metodológica com os organismos internacionais, entre eles a Eurostat, com quem se realizaram projetos em comum. De forma ilustrativa, pode ser citado o projeto “*Conjunta de Datos sobre Petróleo (JODI) y la elaboración de Balances Energéticos*” realizado em 2006 na Venezuela, contando com o apoio da OPEP, APEC, Eurostat, IEA e UNSD, e objetivando facilitar a transparência e o intercâmbio de informações energéticas (Olade, 2007)¹⁷. As diferenças metodológicas, entretanto, serão apresentadas ao longo do texto.

O mesmo princípio é aplicado aos balanços energéticos realizados pela ONU: existe uma preocupação em relação à compatibilidade entre as estatísticas internacionais (United Nations, 1982 e United Nations, 2005). Porém, ainda existem diferenças metodológicas, que serão explicitadas na próxima seção.

¹⁷ Deste projeto resultou, ainda em fase preliminar, o documento “Manual de Jodi”, elaborado pelo Fórum Internacional de Energia (IEFS, 2007), com a colaboração dos associados no JODI – Joint Oil Data Initiative.

A seguir, abordar-se-á a estrutura de um balanço energético, dividido em três setores principais: oferta, setor de transformação e consumo final. Dentro de cada setor, haverá a descrição do tratamento de cada cadeia energética.

É importante explicitar que esta seção e a seguinte foram realizadas usando-se como base os relatórios do projeto “Estudos Técnicos de Aperfeiçoamento da Metodologia de Elaboração do Balanço Energético Nacional – BEN, contratado pelo MME ao PPE/COPPE/UFRJ, por interveniência do PNUD”, realizado no ano de 2004/2005. Além desta base, os outros documentos utilizados foram (Olade, 2004), (IEA, 2004) e (United Nations, 2002), e assim, de forma a evitar repetições, referências somente serão explicitadas no caso de textos adicionais aos acima citados.

3.4.1. Oferta de energia

Produção doméstica de energia

o Calor e eletricidade

O ponto escolhido pela metodologia da IEA e Eurostat para início da contabilização da produção é o mais próximo possível do começo do fluxo de energia da cadeia. Como exemplo, pode-se citar a hidroeletricidade, onde a energia primária consiste naquela medida na saída do conjunto turbo-gerador das centrais hidrelétricas. Estas metodologias, assim com a da ONU, utilizam o método do conteúdo energético para a contabilização da energia hidráulica transformada em eletricidade, e adotam um rendimento de 100%, da mesma forma que para a energia eólica.

Já a Olade utiliza um método particular, que leva em conta a energia vertida (ver anexo 4 para hidroenergia, energia eólica e geotermia). Este método utiliza uma equação para estimar o balanço de fluxos de água anuais em uma barragem: estoque inicial na represa em janeiro, em dezembro, o fluxo turbinado, o fluxo nos vertedouros, nas comportas, o evaporado e o de infiltração. Em seguida, a metodologia determina que seja aplicado o fator $r \cdot g \cdot t \cdot h$ (respectivamente, a densidade da água, aceleração da gravidade, tempo – horas por ano, altura da queda em metros), obtendo-se, assim, uma equação equivalente em kWh, cujos termos são interpretados como um balanço de energia: obtêm-se a produção, a energia não aproveitada, os estoques, a transformação e as perdas. Caso os fluxos sejam desconhecidos estimar a eficiência em 80% e considerar transformação igual à produção e os outros termos iguais a zero.

Analisando-se esta última metodologia, indaga-se sobre a possibilidade de mensuração de alguns fluxos, como o infiltrado e o de evaporação.

Mesmo havendo uma real possibilidade de medir estes fluxos, a metodologia de mensuração em si deveria ser exposta, para que houvesse uma padronização de métodos. Sendo assim, na falta da real medição destes fluxos, acabar-se-ia utilizando o meio alternativo, de considerar a eficiência (n) como 80% e aplicá-la na equação: $\text{produção} = n * \text{transformação}$.

Porém, no caso dos fluxos turbinados, vertidos nos vertedouros e nas comportas e os volumes em janeiro e dezembro serem conhecidos, esta metodologia seria interessante para os países onde a hidroeletricidade tem grande peso, como no caso do Brasil, pois permitiria aferir o impacto de grandes volumes de água e de possíveis vertimentos na matriz energética, da mesma forma que se investiga a quantidade de gás natural não aproveitado ou perdido. De qualquer forma, entende-se que a intenção de medir os volumes na represa e os vertidos representa um campo interessante e importante a ser desenvolvido, pelos motivos acima expostos.

Já a metodologia utilizada pela IEA/Eurosta e ONU mostra-se mais factível e prática. Porém, descarta detalhes que seriam de importante conhecimento em matrizes energéticas com grande peso de hidroeletricidade.

Em termos de agregação de fontes, a metodologia ONU soma toda a eletricidade primária (nuclear, hidráulica, geotérmica, eólica, marés, ondas e solar) gerada em uma coluna apenas, “eletricidade”. Já os balanços da IEA, Eurostat e Olade separam em colunas, o que permite a visualização da cadeia de cada caso. Entende-se que o processo de separação em diferentes colunas das formas primárias de eletricidade permite a análise do impacto de cada uma na matriz energética do país, mostrando-se como uma alternativa mais válida.

Já em relação à apresentação e contabilização das fontes primárias de eletricidade na matriz, as metodologias Olade, IEA e ONU incluem todas as quantidades de fontes primárias na linha “Produção”, ou seja, as quantidades de energias hidráulicas e eólicas serão apresentadas na linha “produção” com sinal positivo. A transformação destas fontes em eletricidade será apresentada no setor transformação, respeitando casa eficiência adotada, com sinal negativo, pois as fontes estão sendo consumidas, e nos centros de transformação (linhas) para onde foram destinadas. Em relação à metodologia Eurostat, a contabilização da energia primária para geração de energia elétrica a partir de fontes não térmicas (hidráulica e eólica) não é feita na linha dos centros de transformação de eletricidade, pois só há centros de transformação referindo-se a centrais elétricas térmicas. Ao invés, essas quantidades de

energia primária são contabilizadas como valores negativos na linha “interproduct transfers”. Assim, o somatório destas células entra como valor positivo nesta mesma linha e na coluna “eletricidade”, ou seja, a energia elétrica primária não térmica é transferida para energia elétrica secundária no setor de transformação do balanço por meio desta linha.

Tabela 6: Contabilização da eletricidade na metodologia de balanço energético da Eurostat.

	Solar	Geotérmica	Eólica	Hidráulica	Eletricidade
Transferências e retornos			-236	-1966	2202
Transferências entre produtos			-236	-1966	2202
Produtos transferidos					
Retorno da indústria petroquímica					

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, 2004.

Esta forma de contabilização, pelo menos em relação à transformação da eletricidade, não apresenta vantagem, além de dificultar a compreensão da estrutura do balanço energético, já que difere das demais metodologias. Em um primeiro momento, poder-se-ia entender que esta metodologia permitiria a identificação da eletricidade gerada por centrais térmicas e centrais não térmicas, e assim, a identificação da eletricidade gerada por meios renováveis. Porém, se a metodologia expressa as eficiências utilizadas na transformação de cada fonte renovável em eletricidade, isso já permitiria esta identificação. Ao contrário, se no setor de transformação houvesse linhas relacionando-se não apenas a centrais elétricas térmicas, mas também às demais centrais elétricas, não haveria necessidade da adoção desta metodologia.

A metodologia ONU adota, para cálculo da energia geotérmica transformada em eletricidade, uma eficiência de 10%. Para os demais processos não térmicos, como hidroenergia, eólica e ondas, uma eficiência de 100%.

Para análise do índice utilizado para transformação da energia geotérmica em eletricidade, utiliza-se a tabela abaixo, que explicita uma amostra de plantas geotérmicas e suas eficiências. Ressalta-se aqui que não se pretende obter um número exato de eficiência, mas sim, perceber se há coerência no valor utilizado.

Tabela 7: Centrais geotérmicas e suas eficiências.

Central	Localidade	Eficiência (%)
Amedee	Califórnia (EUA)	5,8
Wabuska	Nevada (EUA)	8
Brady	Nevada (EUA)	7
Húsavík	Islândia	10,6
Otake	Japão	12,9
Nigorikawa	Japão	9,8
Steamboat SB-2 & SB-3	Nevada (EUA)	8,2
Ormesa II	Califórnia (EUA)	13,5
Heber SIGC	Califórnia (EUA)	13,2
Miravalles Unit 5	Costa Rica	13,8

Fonte: MIT, 2006.

Portanto, pelo exposto acima, percebe-se que o índice utilizado de 10% para a eficiência da transformação mostra-se adequado como uma média representante das usinas geotérmicas.

Quanto à eficiência adotada para a transformação de energia hidráulica em eletricidade, sabe-se que a eletricidade considerada é aquela medida nos terminais do gerador. Portanto, tem-se que utilizar o rendimento do conjunto turbina gerador, ou seja, o produto do rendimento da turbina e do gerador elétrico. Este dado varia dependendo do tipo de turbina utilizado (por exemplo, Pelton, Kaplan ou Francis) e da potência gerada (decisões de operação), pois cada turbina tem um ponto ótimo de operação (Fonseca *et al*, 2003). Exemplos sugeridos na literatura para valores médios de rendimento de geradores são: 96% para geradores até 1MVA; 97% para geradores até 10MVA e 98% para geradores até 30MVA (Eletrobrás, 1999). Já para rendimento de turbinas e de conjuntos turbo-geradores, têm-se as seguintes citações na literatura:

- Para turbinas Francis: até 1980 não obtinham rendimento superior a 85%, hoje se consegue 92% de eficiência (Silva, 2006);
- Para turbinas Kaplan: os rendimentos obtidos através de ensaios para a faixa de potência entre 20 e 30MW variam de 89,20% a 93,6% (Calainho *et al*, 1997);
- Rendimentos para conjunto turbo-gerador (potência nominal de 6,8MW) variando entre 87% a 94%, dependendo da potência elétrica gerada (Fonseca *et al*, 2003);
- Rendimento médio para o conjunto turbina-gerador da usina de Emborcação, localizada no Rio Paranaíba, da empresa CEMIG: 87% (Ballini *et al*, 2003);

- Rendimentos para os conjuntos turbo-geradores das UHE's 3 Marias, Sobradinho, Itaparica, PAM e Xingó, respectivamente, de 87,3%, 92%, 91%, 92,1% e 93% (Lerner, 2006).

O objetivo da exposição dos exemplos acima é somente nortear, por mais que de forma grosseira e bastante aproximada, a análise da eficiência adotada para a conversão de energia hidráulica em eletricidade utilizada nas metodologias de balanços energéticos. Da mesma forma que para usinas geotérmicas, os fatores que afetam o rendimento do processo são variados, mas consegue-se, pelos exemplos, perceber que não há processo totalmente eficiente na conversão de energia hidráulica para eletricidade. Portanto, o fator utilizado nesta conversão nas metodologias IEA, Eurostat e ONU seria mais fiel à realidade se assumisse algumas perdas. Esse mesmo pensamento atribuído à geração hidrelétrica poderia ser refletido sobre a geração eólica e geração através de ondas.

o Carvão Mineral

A tabela a seguir apresenta a classificação adotada pela IEA e Eurostat para o carvão e seus derivados.

Tabela 8: Classificação para carvão e seus derivados adotada pela IEA e Eurostat.

Produtos primários do carvão	Carvão de coque	Combustíveis sólidos
	Outros tipos de carvão betuminoso e antracito	
	Carvão sub betuminoso	
	Linhito	
	Turfa	
Combustíveis derivados	Patent fuels	Gases manufaturados
	Coque de forno de coque	
	Gás de coque	
	Briquetes	
	Gás manufaturado	
	Gás de forno de coque	
	Gás de alto forno	
	Gás de unidades de redução de ferro-gusa	

OBS: para maiores informações a respeito dos energéticos e fluxos da cadeia do carvão, consultar o Anexo 3.

Fonte: (IEA, 2004).

A forma de apresentação nos balanços energéticos, porém, é diferente entre as duas metodologias. A Eurostat possui um nível maior de desagregação para a cadeia do carvão, explicitando as seguintes colunas: “carvão”, “*patent fuels*”, “coque”, “linhito”, “briquetes”, “alcatrão”, e os gases derivados estão agrupados em “gases derivados”. Já a metodologia IEA possui um nível muito alto de agregação, que prejudica a visualização da cadeia do carvão. Na coluna “carvão”, agrega todos os energéticos relacionados ao carvão, tanto os primários quanto os secundários. São eles: carvão, linhito, *patent fuels*, coque, gás de coqueria, BKB, gás de alto forno e turfa (IEA, 2007)¹⁸. Conforme será visto no capítulo 5, isto prejudica a análise da cadeia do energético.

A metodologia Olade agrega os coques de petróleo e de carvão mineral em uma mesma coluna, “coque”. Os gases de alto forno e de coqueria são agregados aos de cidade, refinaria e biogás na coluna “gases”. Deve-se lembrar que, tendo em vista a crescente complexidade das refinarias atuais, principalmente em

¹⁸ Ao mesmo tempo, na coluna “gás”, a metodologia inclui os gases de alto-forno e coqueria (IEA, 2007).

virtude do aumento do processamento de petróleos mais pesados, o coque de petróleo¹⁹ tem se tornado um produto com crescente participação na matriz energética dos países. Sendo assim, este método de agregação do coque de petróleo ao de carvão mineral não permite uma análise deste energético. Da mesma forma, a agregação do biogás aos gases de refinaria e coqueria prejudica a avaliação do impacto de fontes renováveis e de resíduos na matriz energética do país, e conseqüentemente, políticas de promoção de energias renováveis. Já em relação à agregação dos gases de alto-forno, coqueria, de cidade e de refinaria, deve-se atentar ao *trade-off* existente entre a simplicidade da informação e a conseqüente melhor visualização dos processos, e a perda de informação na análise. Ou seja, é importante avaliar a importância que tais fontes energéticas possuem na matriz energética para decidir se devem ser expostas em colunas independentes ou agregadas.

A metodologia ONU também soma vários energéticos em uma mesma classificação, o que dificulta uma possível análise de cada energético. Assim, agrega na coluna “*hard coal, lignite and peat*” os carvões de coque, betuminosos, antracitos, linhito e turfa. Na coluna “*briquettes and cokes*” são contabilizados os *patent fuel*, *briquettes* de linhito e turfa e os coques (coque de forno de coque, gás de coque e coque de linhito). Na coluna “*derived gases*” são incluídos os gases de cidade, de coqueria e de alto forno. Aqui também se aplica o trade-off entre simplicidade da informação e perda de informação na análise.

O Renováveis e Resíduos

Apesar da existência de uma série de definições na literatura internacional para fontes de energia renováveis²⁰, a IEA e a Eurostat as classificam

¹⁹ As refinarias e seus produtos dependem das propriedades do insumo, ou mix de insumos, e dos produtos almejados. Por isso, o uso de petróleos mais pesados e de menor qualidade, uma tendência verificada a partir dos anos 80, resulta em maior parcela de frações pesadas, entre as quais encontra-se o coque de petróleo. Em virtude deste fato e da crescente exigência por combustíveis mais “limpos”, as refinarias atualmente tornam-se cada vez mais complexas. Para maiores informações a respeito do refino de petróleo, ver Szklo (2005).

²⁰ Goldemberg e Coelho (2004) atentaram para o fato de que o conceito de “renováveis” inclui grandes parcelas de biomassa, e esta biomassa só pode ser considerada se for a chamada “biomassa moderna”, ou seja, aquela produzida em um modo sustentável. Portanto, exclui os tradicionais modos de utilização de biomassa, produzidos de maneira não sustentável e utilizados de maneira não comercial, e inclui geração de eletricidade e produção de calor através de resíduos florestais e de agricultura. Assim, o conceito de

como a energia a partir de processos naturais cuja reposição ocorre da maneira constante em um horizonte de tempo relativamente pequeno. A metodologia Olade apresenta conceito parecido, o de que energia renovável é aquela não fóssil, de baixo conteúdo de carbono e períodos de formação relativamente curtos.

De acordo com a metodologia IEA e Eurostat, as fontes renováveis e os resíduos são classificados em três grupos, de acordo as características de suas cadeias energéticas. São eles:

- Grupo I – Fontes que necessitam ser transformadas em eletricidade para oferta de energia primária. São elas, a energia hidráulica, fotovoltaica, solar, ondas e marés.
- Grupo II – Fontes que possuem usos múltiplos no setor de transformação e consumo final, mas que não podem ser estocadas de maneira convencional. Corresponde às fontes solar térmica e geotérmica.
- Grupo III – Fontes que também possuem usos múltiplos no setor de transformação e consumo final e que, devido a sua natureza, podem ser estocadas de maneira convencional. São os resíduos industriais e municipais, a biomassa sólida e os líquidos biocombustíveis.

A figura a seguir apresenta a classificação das fontes de energia renováveis e dos resíduos nos três grupos:

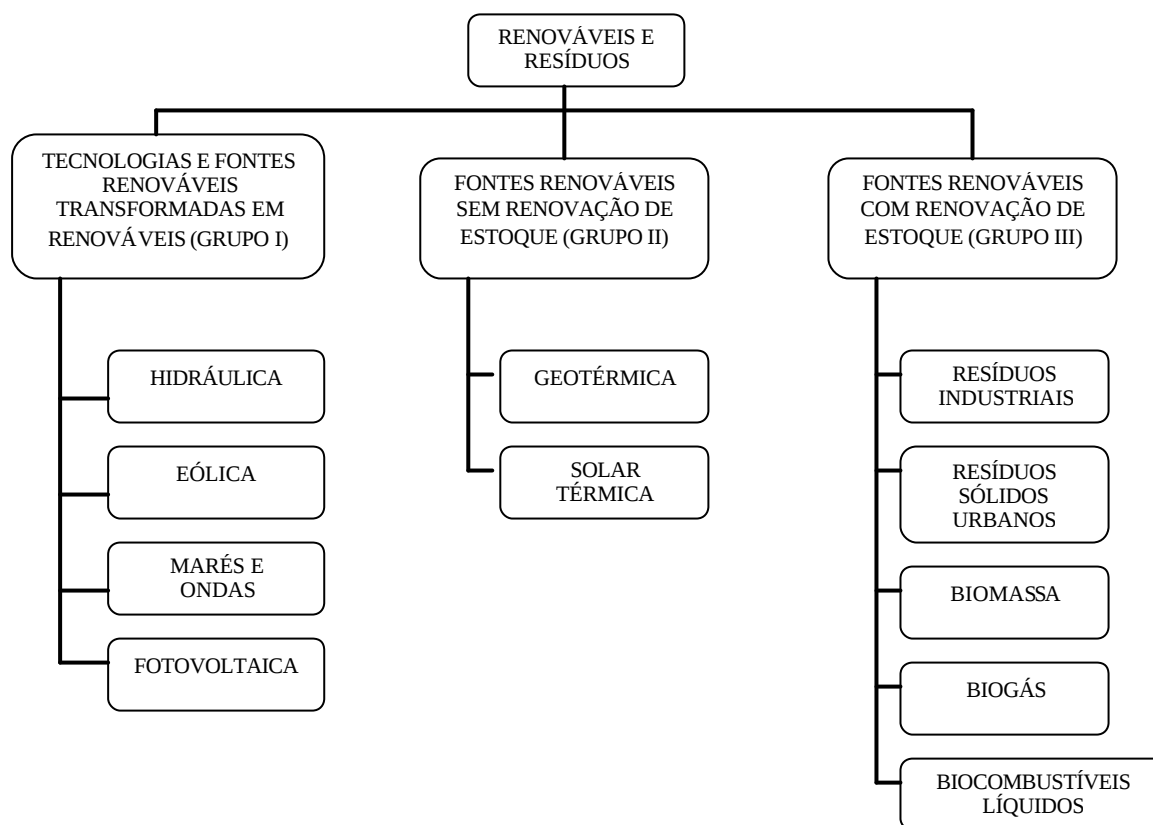


Figura 3: Classificação de fontes de energia renováveis e resíduos, segundo IEA e Eurostat.

Fonte: IEA, 2004.

Pela metodologia IEA/Eurostat, a estrutura da cadeia das fontes de energia renováveis e resíduos varia de acordo com a classificação nos três grupos considerados. Por exemplo, energias eólica e solar fotovoltaica são usadas exclusivamente para produção de eletricidade, as energias geotérmica e solar térmica não estão sujeitas a variações de estoque enquanto que materiais sólidos, líquidos e gasosos estão. Para o grupo I, por exemplo, a oferta de energia primária consiste basicamente na energia elétrica gerada a partir das fontes de energia hidráulica, fotovoltaica, eólica, das ondas e marés. Apesar de a energia obtida a partir dessas fontes não poder ser utilizada diretamente, o setor de oferta de energia no balanço faz a contabilização no segmento de produção doméstica de energia para cada fonte. No setor de transformação, a energia é convertida em energia elétrica para consumo final. Como o transporte das fontes desse grupo só pode ser feito na forma de energia elétrica, não existe contabilização de comércio exterior (importação/exportação), dada a dificuldade (ou impossibilidade) de identificação da fonte de energia exportada ou importada na

forma de eletricidade. A figura abaixo apresenta de forma simplificada a cadeia das fontes renováveis e resíduos pertencentes ao grupo I.

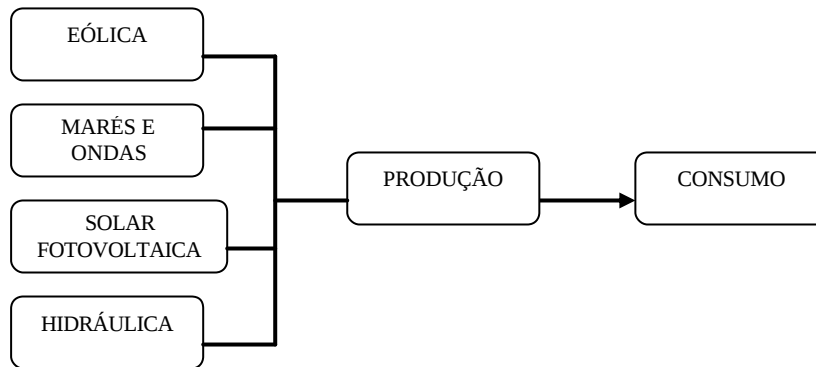


Figura 4: Grupo I de fontes de energia renováveis e resíduos, segundo metodologia IEA/Eurostat.

Fonte: IEA, 2004.

As fontes pertencentes ao grupo II podem ser transformadas em eletricidade ou utilizadas diretamente para consumo final. A produção doméstica de energia do grupo II consiste basicamente na extração da energia térmica a partir do interior da Terra (geotérmica) ou da radiação solar (solar térmica). A produção geotérmica consiste na extração do vapor d'água ou água quente e posterior reaproveitamento como fonte de calor ou de geração de eletricidade. A produção solar térmica, por sua vez, utiliza um meio de transferência de calor para captar a radiação solar na forma de calor, utilizado para consumo final ou para geração de eletricidade. De forma similar ao que ocorre com as fontes do grupo I, a contabilização do comércio externo dessas fontes envolveria somente quantidades de calor comercializadas internacionalmente, o que é bastante difícil de acontecer. A figura a seguir apresenta a cadeia energética das fontes pertencentes ao grupo II.

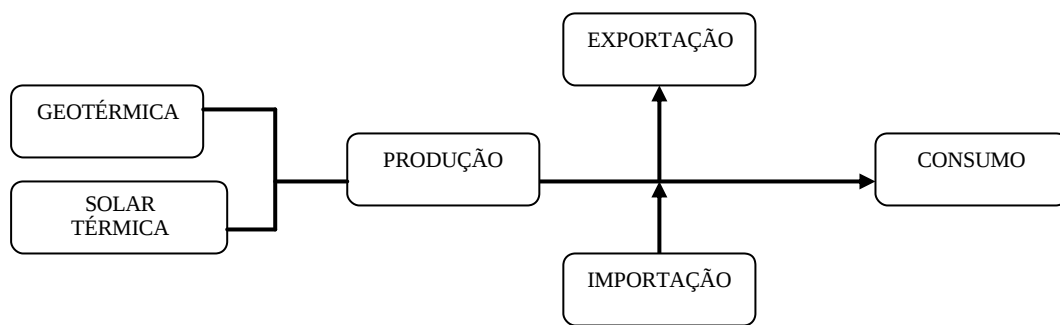


Figura 5: Grupo II de fontes de energia renováveis e resíduos, segundo metodologia IEA/Eurostat.

Fonte: IEA, 2004.

As fontes pertencentes ao grupo III envolvem uma série de produtos biodegradáveis e não-biodegradáveis a partir do fluxo de resíduos industrial e municipal, assim como a produção de biomassa primária ou conversão de materiais biodegradáveis em produtos de energia secundária.

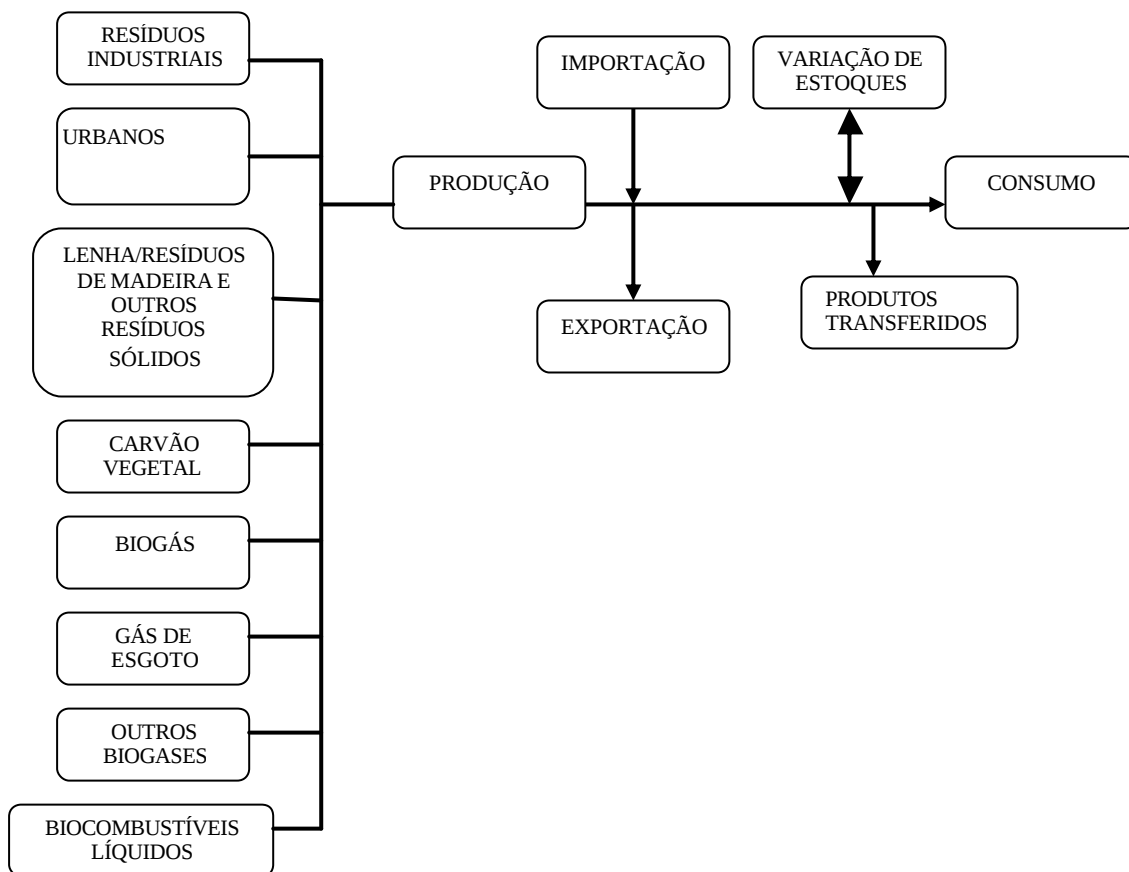


Figura 6: Grupo III de fontes de energia renováveis e resíduos, segundo metodologia IEA/Eurostat.
Fonte: IEA, 2004.

É importante ressaltar que “produtos transferidos” aplicam-se somente a biocombustíveis líquidos. Por exemplo, biocombustíveis que são misturados aos processos de refinarias ou acrescentados como aditivos a derivados.

Salienta-se que esta classificação constitui uma forma de organização em relação à coleta de informação nos questionários enviados às entidades estatísticas responsáveis, como uma forma de ajudar na identificação e alocação das fontes energéticas nos questionários²¹. Não se trata, portanto, da forma com que os renováveis são representados na matriz do balanço energético.

²¹ A IEA e a Eurostat utilizam os Joint Questionnaires para a coleta de informações a respeito da oferta, transformação e consumo de energia a partir de seus países membros. São ao todo cinco questionários - calor e eletricidade, petróleo e derivados, carvão mineral, gás natural e fontes renováveis – compostos por tabelas para contabilização do fluxo de energia de acordo com a cadeia de energéticos. As tabelas não são efetivamente um balanço de energia, mas apresentam um mecanismo de contabilização por fontes de energia que procura refletir todos os processos que fazem parte da cadeia de energéticos. Cada questionário vem acompanhado de todo o processo metodológico de contabilização do fluxo de energia, com definições detalhadas das fontes e atividades (IEA, 2004).

A classificação adotada pela IEA em relação às fontes renováveis e resíduos é a seguinte: apresenta uma coluna para hidráulica, outra para geotérmica e solar e outra que agrega todos os combustíveis renováveis e resíduos. Nesta última coluna, portanto, considera-se a biomassa sólida e produtos animais, gases e líquidos de biomassa, resíduos municipais e industriais. Biomassa inclui lenha, resíduos vegetais, etanol, resíduos e materiais animais e lixívia. Resíduos municipais incluem resíduos produzidos pelo serviço público, comercial e setor residencial que são coletados por autoridades responsáveis e utilizados para geração de calor e/ou eletricidade. Resíduos hospitalares estão incluídos nesta categoria (ou seja, há uma parte destes resíduos que não é renovável). Esta classificação adotada pela IEA mostra-se por demais simplificadora, agregando diversas fontes, tanto renováveis quanto não renováveis, sob uma mesma classificação. Portanto, prejudica muito o retrato destas fontes, principalmente em virtude do atual crescimento de importância das fontes renováveis na matriz energética mundial²², e, assim, não possibilita o estudo do impacto das fontes renováveis na matriz energética.

Já a metodologia Eurostat possui colunas para energia solar, energia térmica, biomassa, energia eólica e energia hidráulica. A coluna “biomassa” representa “materiais orgânicos, não-fósseis de origem biológica” que podem ser usados para produção de calor ou eletricidade. Compreendem lenha e resíduos de lenha, biogás, resíduos sólidos municipais e biocombustíveis. A metodologia salienta que a parte não renovável dos resíduos industriais não é contemplada aqui. Ou seja, assegura que a coluna “biomassa” inclui somente fontes renováveis. Entretanto, de acordo com IEA/OECD/Eurostat/UNECE (2004), há problemas de separação entre as partes renováveis e não renováveis dos resíduos sólidos municipais, e nenhum país faz esta separação de um modo seguro. Esta questão é importante para a construção dos inventários nacionais de emissão de gases do efeito estufa.

A metodologia adotada pela Olade apresenta as seguintes colunas: energia hidráulica, energia geotérmica, energia eólica, produtos da cana, lenha e carvão vegetal. Há diferenças de contabilização para, por exemplo, a hidroeletricidade, pois considera também a energia da água vertida nas usinas, conforme tópico anterior deste mesmo item 3.4.1 e o Anexo 4. Para a geotermia, somente é considerada a porção utilizada para geração de eletricidade. O anexo 4 também apresenta o tratamento

²² Para perceber o impacto desta agregação adotada pela IEA, ver capítulo 5.

despendido ao não aproveitamento da hidreletricidade e geotermia. Em relação à lenha, a metodologia inclui tronco e ramas de árvores, mas exclui os resíduos da atividade madeireira, que são incluídos em “outras fontes primárias”. A produção de lenha é considerada numericamente igual ao consumo final. Aqui se destaca que, de acordo com este método, não há consumo de lenha no setor de transformação, como em centrais autoprodutoras e carvoarias, perdendo-se assim informação de grande relevância, principalmente em países em desenvolvimento, onde o consumo de lenha é bastante relevante. Para a atividade não aproveitada, considera-se a lenha não utilizada em construções de barragens (vegetação que não foi retirada antes do enchimento do reservatório) e expansão agrícola. Esta informação, porém, é bastante controversa, em virtude da dificuldade de obtenção e mensuração de tais dados. É importante ressaltar que, em caso de possibilidade de coleta de tais dados, representaria fonte de informação importante em caso de países com grande presença de centrais hidrelétricas (e suas barragens), pois seria uma forma de medir o recurso energético não utilizado. Na coluna “produtos de cana-de-açúcar” são considerados o bagaço, o caldo de cana e o melaço. Já na coluna “outras fontes primárias” são incluídos os resíduos animais e vegetais, resíduos industriais, como o licor negro, e outras fontes primárias, como solar e dejetos de cidade. O álcool etílico é agregado na coluna “gasolinas/álcool”, juntamente com as gasolinas de motor e de aviação, gasolina natural e metanol.

É importante, aqui, destacarmos algumas considerações a respeito deste último método. Em relação à agregação em “outras fontes primárias” de todas as mencionadas fontes de energia, deve-se novamente atentar ao *trade-off* mencionado anteriormente: caso alguma destas fontes tenha grande peso na matriz energética do país, seria interessante separá-la para possibilitar uma melhor análise e possíveis formulações de políticas energéticas a respeito. Porém, em caso de pouca expressão na matriz de energia do país, a agregação se mostra viável, já que facilita a visualização e simplicidade do balanço energético e evita custos extras de coleta de informação sobre fontes de energia sem muito peso. Já em relação à agregação do álcool etílico juntamente às gasolinas de motor e de aviação, natural e metanol, atenta-se aos seguintes fatos:

- O álcool etílico está crescendo muito em importância mundial, como forma de substituição, pelo menos em parte, aos combustíveis fósseis, entre eles a gasolina. Mostra-se como alternativa perante o aumento do preço do petróleo e a crescente preocupação com as

questões ambientais²³. Portanto, é delicado agregá-lo a fontes energéticas fósseis, pois não haveria, assim, possibilidade de desagregá-lo e desenvolver alguma análise;

- A própria agregação à gasolina de motor já é contraditória, visto que ambos, atualmente, podem ser substitutos (caso dos automóveis flex fuel) e assim, inviabilizaria um estudo a respeito;

O carvão vegetal possui uma coluna exclusiva, enquanto que o biogás é agregado na coluna “gases”, juntamente com os gases de refinaria, alto-forno, coqueria e gás de cidade. (este método já foi avaliado anteriormente, no item B). É importante salientar que tal nível de agregação dificulta uma análise individual da cadeia do energético, como, por exemplo, o caso do álcool etílico, cuja importância cresce no cenário internacional atualmente.

A mesma questão também se repete na metodologia ONU, pois agrega, em *‘primary biomass energy’*, os energéticos lenha, bagaço de cana, dejetos animais, resíduos vegetais, outros resíduos (como os municipais), álcool (etanol e metanol) e biogás (mais uma vez se critica, aqui, a agregação desta última fonte, o álcool etílico, cada vez mais importante no cenário energético mundial). Já na coluna *“derived biomass energy”* é contabilizado o carvão vegetal. Para contabilização do bagaço de cana, o processo baseia-se na metodologia ECLAC (Economic Commission for Latin America and the Caribbean), ou CEPAL, onde, para cada 3,26 ton de cana produzida, produz-se 1ton de bagaço com 50% de umidade, ou seja, para cada tonelada de cana-de-açúcar tem-se 306,7 kg de bagaço. Este número difere um pouco das estatísticas mais recentes da condição brasileira de produção canavieira, onde se consegue 280kg de bagaço para cada tonelada de cana-de-açúcar (ÚNICA, 2007). Porém, há que se ter em mente que a tecnologia canavieira brasileira é bastante avançada, e nem todos os países possuem tal tecnologia. Portanto, como uma média, este número mostra-se adequado. Na maioria das vezes, dados sobre produção de cana de açúcar são retirados de *Sugar Yearbook of the International Sugar Organization*²⁴(Londres), que, pela abrangência de membros, mostra-se como fonte adequada.

²³ Para maiores informações a respeito do mercado atual de álcool, ver Souza (2006).

²⁴ Organização intergovernamental composta por 78 países membros, representando 82% da produção mundial, 65% do consumo mundial, 90% das exportações e 36% das importações de açúcar. Produz boletins estatísticos mensais e outras estatísticas.

O Energia Nuclear

Para a metodologia IEA e Eurostat, o calor primário corresponde ao conteúdo energético do vapor d'água que deixa o reator. Existem, no entanto, alguns casos em que esse calor é utilizado não só para geração de eletricidade, mas como aquecimento em outras atividades, como o *district heating*. Considera-se, na matriz do balanço energético, uma coluna de calor de origem nuclear, que é obtido através de dados a respeito do conteúdo energético do vapor que deixa os reatores nucleares. Porém, normalmente o conteúdo energético do vapor d'água que sai do reator não é conhecido e precisa ser estimado. Assim, o cálculo da energia primária é realizado a partir da geração bruta de eletricidade, considerando-se o coeficiente de eficiência médio da planta. Para a IEA e Eurostat, utiliza-se uma eficiência média para centrais nucleares de 33%, o que demonstra ser razoável, pois se encontra dentro da faixa de uma central termelétrica convencional. Além disso, no caso de impossibilidade de medição do conteúdo energético do vapor que deixa o reator, é uma forma de contabilizar e padronizar uma energia de difícil mensuração.

É importante destacar que a classificação do calor disponível no vapor de água que sai dos reatores nucleares como energia primária e, portanto, como produção doméstica, gera impactos consideráveis em indicadores de oferta e dependência de energia dos países membros da União Européia. A utilização desta convenção não permite constatar que o combustível nuclear utilizado pela grande maioria dos países é importado, já que o calor primário de origem nuclear é contabilizado como produção doméstica de energia.

Na metodologia Olade, a produção de energia nuclear primária será igual a quantidade de calor que se obtém do combustível físsil a ser utilizado em um reator. Como referência a metodologia indica:

- O equivalente calórico de 1 tonelada de urânio natural enriquecido a 3% utilizado em um reator PWR de 30.000MWD é:

$$1 \text{ ton U} = 4.24 \times 10^{14} \text{ J}$$

- O equivalente calórico de 1 tonelada de urânio natural enriquecido a 3% utilizado em um reator HWR de 7.500MWD é:

$$1 \text{ ton U} = 6.48 \times 10^{14} \text{ J}$$

A energia primária aqui considerada não é a do mineral de urânio em si mesmo, mas o conteúdo de material físsil que alimenta as usinas nucleares. A energia

que é consumida no setor de transformação é exatamente a mesma energia primária nuclear. É importante destacar que o abastecimento do combustível nuclear é diferente do abastecimento de uma central térmica a óleo combustível, por exemplo, que consome continuamente o combustível. Uma central nuclear é abastecida uma vez ao ano, com aproximadamente um terço do combustível em seu núcleo sendo removido. Assim, depois de três anos em um reator, o combustível deve ser removido, mesmo contendo ainda algum material físsil não usado²⁵. Portanto, é difícil mensurar a quantidade de eletricidade produzida simplesmente pelo conteúdo do material físsil no interior do reator. No caso da metodologia Olade, a energia contabilizada como primária poderia estar sobredimensionada, já que é obtida pela tonelada de urânio, e nem todo o material do interior de um reator será utilizado. Entretanto, através desta metodologia consegue-se a visualização da importação de combustível nuclear. Já as metodologias IEA, Eurostat e ONU mostram-se mais razoáveis pois medem a saída do reator, que é o calor (ou mesmo a eletricidade aplicada de uma eficiência), por mais que não permitam a visualização da dependência externa de energia.

Importação e Exportação de energia

De acordo com a IEA e a Eurostat, importações e exportações são as quantidades que entram e deixam o país como resultado de compras e vendas feitas por pessoas ou agentes que habitam o país. Tais relações ocorrem quando um determinado energético atravessa a fronteira nacional, com ou sem a liberação da alfândega. Assim, quantidades energéticas “em trânsito” pelo país não devem ser consideradas como comércio externo no balanço, o que concorda com a metodologia Olade, que considera importação as fontes energéticas originadas fora da fronteira do país e que ingressam no mesmo para fazer parte da oferta total. O mesmo preceito é seguido pela metodologia das Nações Unidas.

A correta identificação da origem e do destino dessas relações serve não só para identificar o “trânsito” de energia, mas também para fornecer informação a respeito da dependência nacional de oferta estrangeira. Os destinos e origens de combustíveis estocáveis são relativamente mais fáceis de conhecer, em contraposição aos energéticos que não o são, como o gás e eletricidade, pois seu trânsito pelo país é facilmente medido, mas sua origem, não.

²⁵ Para maiores informações, consultar IEA (2001).

Bunkers internacionais

Esta atividade é explicitada nos balanços das Nações Unidas, IEA e Eurostat. A primeira considera bunkers marítimos e de aviação, e as duas últimas, somente o marítimo.

Atualmente, IEA e Eurostat definem bunker marítimo internacional como “*a quantidade de combustível fornecido a navios em rotas marítimas (sea-going) de qualquer nacionalidade, incluindo navios de guerra. Consumo de navios engajados em transporte em águas nacionais e costeiras não está incluído. Consumo de navios pesqueiros deve ser reportado em Agricultura*”. De acordo com essa definição, chega-se às seguintes conclusões:

- O consumo de combustível de navios nacionais em rotas internacionais deve ser contabilizado como bunker marítimo internacional.
- O consumo de combustível de navios estrangeiros engajados em transporte em águas nacionais e costeiras não deve ser contabilizado como bunker marítimo internacional.
- O consumo naval militar deve ser incluído no bunker marítimo internacional.
- A distinção entre bunker marítimo internacional e consumo naval doméstico não se baseia na nacionalidade do navio, mas no tipo de rota (marítima/nacional e costeira)

A importância desta atividade reside na questão acerca da contabilização das emissões destes bunkers no inventário nacional da UNFCCC²⁶ (United Nations Framework Convention on Climate Change) (UNFCCC, 2007). De fato, tal contabilização é de fundamental importância, dada a atual vigência do Protocolo de Kioto. As emissões relativas aos transportes domésticos (que iniciam e terminam dentro do mesmo país) são contabilizadas diretamente do setor de consumo final e são, obviamente, atribuídas ao país. Porém, de acordo com o IPCC²⁷, o consumo

²⁶ Tratado internacional entre 189 países, no âmbito das Nações Unidas, objetivando medidas de mitigação do efeito estufa. Surgiu após o IPCC, em decorrência da percepção da necessidade de medidas concretas a respeito.

²⁷ *Intergovernmental Panel on Climate Change*: Organização estabelecida em conjunto pelo *World Meteorological Organization (WMO)* e *United Nations Environment Programme (UNEP)*, aberta a todos

naval e aéreo internacional dever ser contabilizado mas não deve ser incluído nos inventários nacionais. Tal fato deve-se a inexistência de um mecanismo de alocação de emissões do consumo naval e aéreo internacional.

Atualmente, ainda não existe um mecanismo de alocação de emissões de bunker internacional acordado entre os países. No entanto, o IPCC estabelece um mecanismo de contabilização do bunker marítimo internacional, para o qual, a metodologia de elaboração de balanços energéticos da IEA/ Eurostat tem buscado convergir.

De acordo com a nova metodologia estabelecida pelo IPCC – *Intergovernmental Pannel on Climate Change* – por meio do documento “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” (IPCC, 2006), o consumo naval militar deve ser contabilizado como uma sub-categoria de bunker marítimo internacional. Assim, de forma a harmonizar as definições da IEA e Eurostat com a metodologia do IPCC, o Grupo de Trabalho Conjunto para Estatísticas Energéticas da IEA/Eurostat/UNECE decidiu, após um encontro realizado em novembro de 2004, modificar as definições estabelecidas por essas organizações. Assim, as seguintes modificações foram feitas (IEA, 2004):

- O consumo naval militar não é mais contabilizado como bunker marítimo internacional e passa a ser registrado, juntamente com o consumo aéreo militar no subsetor “outros não especificados”.
- “Rotas marítimas” (sea-going) passam a ser classificadas como “rotas internacionais”. Dessa forma, fica explícito que o consumo de combustível de navios estrangeiros em águas nacionais, assim como o consumo de navios nacionais em águas de países estrangeiros são contabilizados como bunker marítimo internacional.

Com relação ao consumo aéreo internacional, a discussão é voltada para o mecanismo de coleta de dados de consumo para vôos internacionais, uma vez que em muitos países a informação é obtida a partir de agências e companhias de petróleo, que informam somente a quantidade de combustível fornecida aos aeroportos. Outro aspecto problemático está relacionado com a divisão entre vôo doméstico e vôo

os membros das Nações Unidas e WMO. Seu objetivo é avaliar a informação técnica, científica e sócio-econômica criada relevante para a compreensão do risco associado às mudanças climáticas, seus impactos e opções de mitigação. O primeiro relatório produzido serviu de base científica para a formação do UNFCCC.

internacional, haja visto que, para um mesmo voo, podem existir escalas nacionais e internacionais. Apesar de as dificuldades encontradas pelos países, a IEA e a Eurostat têm orientado os países participantes dos processos de mudanças climáticas para coordenar os esforços no sentido de estabelecerem suposições comuns para o mecanismo de divisão entre consumo de voos nacionais e internacionais. Apesar de ainda não haver definições específicas por parte da IEA e Eurostat, essas organizações têm trabalhado no sentido de harmonizar suas definições com aquelas utilizadas pelo IPCC e a UNFCCC (IEA, 2004).

Por sua vez, o bunker de aviação considerado pela metodologia das Nações Unidas considera o combustível fornecido a aeronaves, de qualquer nacionalidade, envolvidas em transporte internacional.

Existe um debate atual entre IEA e Eurostat acerca da possibilidade de inclusão dos combustíveis de aviação utilizados em voos internacionais nesta categoria, transformando-a em bunkers internacionais. O tratamento do consumo de combustíveis para voos internacionais é análogo ao consumo de combustível para viagens marítimas internacionais. Todavia, outras organizações internacionais ainda não adotaram esta classificação visto que muitos países ainda não mantêm registros confiáveis de fornecimento de combustível para esses tipos de voos. Tal fato deve-se tanto à dificuldade de rastreamento da parcela de combustível destinada a voos internacionais quanto à existência de voos domésticos associados a escalas internacionais.

A Olade considera este consumo como parte do consumo final. Esta metodologia critica aquelas que tratam como exportação o combustível abastecido em território nacional em veículos estrangeiros, sem considerar como importação o combustível abastecido em veículos nacionais em território internacional. Mais ainda, relata que se houvesse tal consideração, o mesmo teria que ser levado em conta para o transporte rodoviário, principalmente para países com rotas internacionais importantes e com preços de combustíveis mais atrativos²⁸. Ou seja, a Olade segue o conceito “*Lo Comprado es Consumido*”, e o procedimento oposto não é consistente se não for completo, e completá-lo pode se tornar uma atividade complicada e de muito esforço.

Realmente, o fato de que o combustível fornecido a veículos engajados em viagens internacionais é contabilizado como *bunker* e o oposto não ocorre, ou seja, um veículo abastecido em outro país e que utiliza este combustível em

²⁸ É o chamado “*fuel tourism*” (IPCC, 2006).

terras nacionais não contribui com dados para o balanço energético do país, mostra que a metodologia acerca de *bunkers* internacionais é frágil e precisa evoluir. Ademais, resta a dúvida: onde o combustível deste segundo caso seria alocado, se no setor de consumo final (pois foi consumido em terras nacionais) ou como *bunker*? Mais ainda, nem sempre o combustível poderia ser totalmente consumido em terras nacionais, mas parte em outros países. Isto dificultaria mais ainda sua contabilização. A indagação da OLADE a respeito da contabilização de um possível *bunker* rodoviário também é válida, pois isto seria praticamente impossível, uma vez que não há controle sobre a utilização do combustível vendido a veículos automotivos, principalmente os de uso pessoal.

Apesar de todos estes problemas, a contabilização de *bunkers* internacionais ainda se mostra válida, levando-se em conta que é uma mensuração ainda incipiente e polêmica, e, portanto, incita debates.

Variação de estoques

As quatro metodologias estudadas consideram as variações positivas e negativas nos estoques de combustível, concordando neste quesito. Os estoques considerados aqui são somente os que possuem capacidade de compensar variações na oferta e demanda.

Vale lembrar aqui que, conforme exposto no item 2.4.1 e no anexo 4, a Olade considera a variação de estoques de energia hidráulica.

Produtos recuperados

Apesar da semelhança entre as matrizes de oferta de energia dos balanços da Eurostat e da IEA, o balanço energético da Eurostat apresenta em seu setor de oferta um segmento chamado de produtos recuperados (*recovered products*). Produtos recuperados são produtos acabados que passam uma segunda vez pela cadeia de comercialização do energético, tendo sido recolhidos após o consumo final. Por exemplo, óleos lubrificantes usados podem ser utilizados como combustível em centrais elétricas (Janes e Young, 2004) ou podem ser purificados para reutilização. A IEA, por sua vez, os contabiliza no setor de transformação, sob a classificação “transferências” (*transfers*), conforme será visto no item 2.4.2.

A metodologia das Nações Unidas define esta atividade (*net transfers*) também no setor de transformação (conforme será visto no item 2.4.2), enquanto que a metodologia Olade não considera este item como uma linha específica do balanço.

Não aproveitada

Somente a metodologia Olade contempla esta atividade em seu setor de oferta. A metodologia que explicita o não aproveitamento das fontes hidráulica e geotérmica está explicado no Anexo 3. No primeiro caso, procura-se estimar os fluxos hidráulicos nos vertedouros e nas comportas. Sendo a mensuração destes fluxos possível, este tratamento mostra-se válido, principalmente no caso de países com grandes participações de energia hidráulica na matriz. Tem-se, assim, uma noção da quantidade de energia hidráulica não aproveitada, da mesma forma que se faz para o caso do gás natural, por exemplo. Já em relação à energia geotérmica não-aproveitada, a metodologia apresentada mostra-se pouco factível, visto que trabalha com fluxos e temperaturas de difícil mensuração. Além disso, sugere, no caso da medição destes fluxos e temperaturas não ser possível, trabalhar com eficiência de 27% e fazer a equação “não aproveitada = produção – transformação”. De acordo com a tabela 7 (seção 3.3.4), vê-se que esta eficiência é bastante sobreestimada. Ademais, esta equação não leva em conta as perdas. Mais uma vez, destaca-se a questão do *trade-off* entre o esforço em se obter informação e a relevância que esta informação teria. Portanto, a mensuração destes fluxos hidráulicos somente se mostraria válida no caso de matrizes energéticas onde a hidroeletricidade fosse importante.

3.4.2. Setor de transformação

Nem todos os centros de transformação são igualmente representados nas quatro metodologias, conforme pode ser observado nas tabelas 1 a 4 (seção 3.3.4).

Os balanços da IEA, Olade e ONU apresentam a entrada (*inputs*) de energia primária e saída (*output*) de energia secundária dos centros de transformação na mesma linha. Para isso, a energia de entrada é contabilizada com valores negativos e a energia secundária produzida com valores positivos. Já o balanço Eurostat divide o setor de transformação em *transformation input*, para entrada de energia primária e *transformation output* para saída de energia secundária. Dessa forma, as quantidades são contabilizadas com valores positivos em ambos os casos.

Pode-se acrescentar também que os balanços energéticos dessas organizações possuem um segmento de transferência de produtos no setor de transformação. A IEA utiliza este segmento (*transfers*) para contabilização de produtos reaproveitados e para reclassificação de energéticos em outras categorias. Esta categoria engloba, ao total, três sub-categorias (IEA, 2007):

- **interproduct transfers:** consiste na reclassificação de energéticos em outras categorias tanto devido a mudanças na qualidade e, portanto, em suas especificações, quanto por mistura a outros produtos. Como exemplos pode-se citar: querosene reclassificada como diesel depois de misturada a ele para atender às especificações de determinados tipos de diesel; combustível de aviação que sofreu deterioração e é reclassificado como querosene: a quantidade que foi transferida aparece com sinal negativo na coluna de combustível de aviação e aparece com sinal positivo na coluna referente a querosene; reclassificação de líquidos de gás natural como etano e GLP. O balanço líquido desta sub-categoria deve ser zero.
- **Products transferred:** sub-categoria destinada a produtos de petróleo importados para posterior processamento em refinarias. Por exemplo, óleo combustível importado para beneficiamento em refinaria é transferido como feedstock.
- **Recycled products:** produtos acabados que passam uma segunda vez pela cadeia de comercialização, após terem sido uma vez entregues aos consumidores finais..

A metodologia ONU define esta atividade (*net transfers*) como os movimentos de produtos energéticos entre processos em diferentes setores, como a mistura de gás natural no fluxo de gás manufaturado.

O balanço da Eurostat, por sua vez, desagrega o segmento de transferência de produtos em três categorias:

- **Interproduct transfers** – consiste na reclassificação de energéticos em outras categorias devido a mudanças na qualidade e, portanto, em suas especificações. Por exemplo, nafta importada é reportada na linha “importação”, depois, com sinal negativo, na linha “Interproduct transfers” e finalizando, com sinal positivo, na coluna correspondente ao produto finalizado. Esta categoria também é utilizada para agregação de diferentes fontes de energia em um energético apenas para consumo final. Por exemplo, a energia primária proveniente das fontes não térmicas - hidráulica e eólica - é transferida (entra com sinal negativo) para energia elétrica (sai com

sinal positivo) nesta linha do setor de transformação do balanço da Eurostat.

- Products transfered – consiste na reclassificação dos derivados de petróleo importados e utilizados nas refinarias como matérias-primas ou em processos de blending. As quantidades importadas são transferidas de suas categorias para a categoria de “matéria prima de refinaria” (refinery feedstock). Aqui também se encaixa o caso de biocombustíveis líquidos que são inseridos em refinarias e usados no processo de blending. Estes são combustíveis que não são oferecidos diretamente ao setor de consumo final, mas misturados e adicionados antes do consumo final do derivado.
- Returns from petrochemical industry – corresponde a subprodutos da produção de etileno, propileno e BTX, na indústria petroquímica, a partir de nafta e outras matérias primas. Esses subprodutos retornam à refinaria para tratamento e preparação para comercialização. A quantidade sob esta classificação corresponde a uma parcela dos insumos não energéticos, na forma de hidrocarbonetos, que são fornecidos à indústria petroquímica. A outra parcela desses insumos é contabilizada no setor de consumo final, sob a classificação consumo não energético (para a indústria química e petroquímica).

O balanço da Olade não explicita esta atividade.

Os balanços Eurostat, IEA e ONU consideram o consumo do setor energético como parte do setor de transformação. Já a metodologia Olade não o faz, pois considera a transformação como uma matéria-prima que se transforma em outra forma de energia, enquanto o consumo é transformado em energia útil como calor, energia útil, iluminação. Ao mesmo tempo, não o inclui como parte do consumo final total, deixando-o em uma linha à parte de ambos. Como será discutido em detalhes no capítulo 5, estas diferenças impactam diretamente na análise de um sistema energético.

É importante relatar que, diferente da Eurostat, a IEA não apresenta muitas fontes de energia secundária de forma desagregada em sua matriz de balanço energético. Da mesma forma, a metodologia ONU agrega os produtos de petróleo em “produtos leves” (gasolinas de aviação e de motor, gasolina natural, combustível de aviação, querosene comum e de aviação, nafta), “produtos pesados” (óleo combustível,

diesel) e “outros produtos de petróleo” (lubrificantes, feedstocks, condensados de gás natural, betume, graxas, coque de petróleo, outros produtos de petróleo). Já a metodologia Olade possui um nível de agregação intermediário, conforme visto nas tabelas 2 a 5.

o Calor e eletricidade

Os dados a respeito de cogeração e combustíveis utilizados para tal fim são importantes, pois permitem, por exemplo, inferir a segurança de suprimento, analisar as mudanças na utilização dos combustíveis para geração de eletricidade ao longo do tempo, avaliar a evolução da eficiência para cada combustível, e observar os impactos ambientais da geração elétrica.

Em relação aos centros de transformação para geração de eletricidade e calor a partir de derivados de petróleo, a metodologia ONU somente relata centrais elétricas, não distinguindo entre as de serviço público ou autoprodutoras. No balanço IEA, não há distinção entre centrais de serviço público e autoprodutoras (este balanço faz a distinção por tipo de centrais: de eletricidade, cogeração e calor). No balanço Eurostat, há distinção por função: entre centrais termelétricas de serviço público e autoprodutoras (como a eletricidade gerada por fontes não térmicas aparece na linha *interproduct transfers*, somente são descritas as centrais termelétricas no setor de transformação), além das plantas de calor distrital (linha “District heating plants”). No balanço Olade há dois tipos de centrais: a central elétrica de serviço público e as autoprodutoras.

- Tratamento da cogeração

Por cogeração entende-se a produção de energia elétrica e calor simultaneamente através de um mesmo combustível. Dependendo da seqüência relativa de geração de potência e calor, as tecnologias de cogeração podem ser separadas em dois grandes grupos: ciclos *topping* e ciclos *bottoming*. No ciclo *topping* os gases de combustão a uma temperatura mais elevada são utilizados para geração de eletricidade ou energia mecânica. O calor rejeitado pelo sistema de geração de potência é utilizado para atender os requisitos de energia térmica do processo. Portanto, o ciclo *topping* produz energia elétrica ou mecânica para depois recuperar calor (vapor para o processo), e é a modalidade mais comum de cogeração. Já o ciclo *bottoming* envolve a recuperação de calor residual para produção de vapor e energia elétrica ou mecânica.

Aqui, primeiro a energia térmica é usada no processo, e depois os gases de exaustão são utilizados para geração de energia elétrica ou mecânica. (Velázquez, 2000).

A cogeração dá-se principalmente em autoprodutores industriais, já que estes, em geral, necessitam de eletricidade, força motriz e calor. Entretanto, existem países, com alto índice de geração termelétrica, onde a cogeração é de serviço público, sendo o vapor saturado canalizado para uso em cidades (calor distrital). Por exemplo, países como Bélgica e Hungria geraram no ano de 2001, respectivamente, 36,7 e 425 tEP de calor através de centrais de calor, ou seja, que utilizam combustíveis primários e secundários em um sistema que transmite e distribui calor para consumidores comerciais, industriais e residenciais para aquecimento de espaços ou de água e processos industriais (IEA, 2007).

Em balanços energéticos, o autoprodutor é considerado um centro de transformação, onde algumas formas de energia (hidráulica, carvão mineral, óleo combustível, diesel, bagaço, etc) em diferentes processos (hidrelétrica, térmicas a vapor, turbodiesel, turbogas, etc) dão origem à eletricidade.

Na geração térmica convencional, o vapor, após passar pela turbina, é condensado e a água retorna à caldeira. Neste caso, o rendimento do processo é dado pelas relações entre as calorias da eletricidade gerada e as calorias do combustível consumido na caldeira. Geralmente, este rendimento é baixo, não ultrapassando 30%.

Em geral, nos processos de geração mencionados, os dados de consumo de combustível e a eletricidade gerada são conhecidos, sendo possível construir os balanços elétricos, com as entradas, saídas e perdas de transformação.

No caso da cogeração, apesar de ser um processo térmico a vapor, e o vapor, após a turbina sendo aproveitado para o processo industrial, tem-se que calcular a quantidade de combustível queimada na caldeira que efetivamente gerou eletricidade. A outra parte do combustível será considerada como consumo final da respectiva indústria. O cálculo equivocado desta parte pode comprometer o consumo específico de um determinado produto industrial, já que o consumo final pode estar subestimado ou sobreestimado.

Na maioria das vezes o autoprodutor informa apenas a quantidade de combustível queimada na caldeira e a quantidade de eletricidade gerada, cabendo aos responsáveis pelo balanço energético a tarefa de calcular as partes para geração elétrica e consumo final. É comum o erro de relacionar todo o combustível queimado na

caldeira à geração de eletricidade, o que ocasiona baixos rendimentos na autoprodução (não mais que 10%), e a subestimação do consumo final da indústria.

As metodologias IEA e Eurostat sugerem adoção do método baseado na definição UNIPEDE²⁹, somente no caso de não haver método nacional preciso a respeito desta questão (IEA, 2004).

Primeiramente, a eficiência do processo de cogeração, “e”, é definida como:

$$e = (H + E) / F$$

onde:

- E é a quantidade de eletricidade produzida;
- H é a quantidade de calor útil produzida;
- F é a quantidade de combustível consumida no processo

A definição UNIPEDE coloca que o “consumo total de calor para produção de eletricidade em uma planta de cogeração é o calor equivalente do combustível consumido pela planta menos o calor suprido para propósitos externos”.

A definição propõe que o combustível utilizado para a geração de calor e eletricidade é, respectivamente:

$$F_h = \frac{H}{e} = F \left[\frac{H}{E + H} \right]$$

$$F_e = F - \frac{H}{e} = F \left[\frac{E}{E + H} \right]$$

Em outras palavras, o consumo de combustível é dividido entre a eletricidade e o calor proporcionalmente às suas parcelas energéticas na geração.

Após o cálculo da quantidade de combustível para cada fim, tem-se que:

- a quantidade de eletricidade reportada pelo autoprodutor de eletricidade ou o autoprodutor cogrador deve ser a total;
- a quantidade de calor reportada pelo autoprodutor de calor ou autoprodutor cogrador é apenas aquela vendida para terceiros, assim como o combustível utilizado para esta parcela; o calor consumido pelo autoprodutor não deve ser reportado;

²⁹ UNIPEDE é a associação da indústria de eletricidade européia, que atua como centro de *expertise* e que atua em conjunto com outras associações e organizações com o objetivo de identificar os interesses comuns de seus membros (UNIPEDE, 1999).

A tabela abaixo sintetiza as definições adotadas pela metodologia IEA/Eurostat.

Tabela 9: Metodologia IEA/Eurostat para contabilização da eletricidade e calor em centrais de cogeração.

	Eletricidade	Cogeração	Calor
Central serviço público	Reportar toda produção e combustível utilizado	Reportar toda a eletricidade e calor produzido e todo o combustível utilizado	Reportar toda produção de calor e todo o combustível utilizado
Autoprodutor		Reportar toda a eletricidade produzida e o calor vendido e seus respectivos combustíveis consumidos	Reportar o calor vendido e seu respectivo combustível consumido

Fonte: IEA, 2004.

Já a Olade utiliza o seguinte processo, iniciando-se pela obtenção dos dados abaixo:

- P1: pressão do vapor sobreaquecido antes da turbina;
- T1: temperatura do vapor antes da turbina;
- P2: pressão do vapor saturado depois da turbina;
- T2: temperatura do vapor depois da turbina;
- C: consumo de combustível na caldeira;
- E: eletricidade produzida pelo gerador;
- Y: porcentagem do vapor que passa pelo gerador;

Com os dados de pressão e temperatura conseguem-se, através de um diagrama de vapor (Diagrama de Mollier), as entalpias “ i_1 ” e “ i_2 ” do vapor, em kcal/kg, antes e depois da turbina, respectivamente.

A diferença nas entalpias proporciona a geração de eletricidade. Assim, esta diferença dividida pela entalpia antes da turbina resulta em porcentagem que, multiplicada por “Y” e por “C” permite saber a quantidade de combustível efetivamente utilizada para geração de eletricidade. Ademais, dividindo-se a eletricidade gerada por esta quantidade de combustível que a gerou obtém-se o rendimento da cogeração.

A metodologia Olade sugere, ainda, em caso de falta de dados a respeito dos autoprodutores, a adoção de um rendimento de 50% para a cogeração, o que considera proporcionalmente as perdas na caldeira. Ressalta-se que se trata de rendimento bastante elevado. Para turbinas atuando em ciclo Rankine, a eficiência máxima é algo perto de 35% (Ruyck *et al*, 2005). Turbinas a gás de menor porte conseguem converter em eletricidade algo em torno de 22% a 35%, e as de maior porte chegam a 40%. Para motores aplicados a sistemas de cogeração a eficiência varia de 32% a 40% (Mata, 2001).

Assim, são reportadas no setor de transformação apenas as quantidades de combustíveis usadas para geração de eletricidade e calor que foram reportados acima. A quantidade de combustível utilizada para geração de calor que não foi vendido ficará na parte de consumo final, no setor relevante para a atividade econômica.

Ressalta-se que estes métodos utilizados são baseados na eficiência de 1ª lei da termodinâmica (conforme será explicado abaixo), ou seja, baseiam-se na contabilização energética das parcelas utilizadas do combustível. Este tratamento vem ao encontro do tipo de contabilização utilizado no balanço energético focado nesta dissertação, que é baseado na energia (1ª lei da termodinâmica). Entretanto, somente a título de informação, seria interessante destacar aqui um tratamento alternativo (a contabilização exergética das parcelas de combustível), que, apesar de mais correto do ponto de vista termodinâmico, não seria adequado para a matriz energética em questão, já que esta é baseada inteiramente na contabilização energética..

Se a energia elétrica e a energia térmica do vapor forem tratadas como níveis equivalentes de energia, isso é chamado de lei da conservação de energia, que faz parte da primeira lei da termodinâmica. Porém, energia elétrica possui muito mais valor que a energia térmica do vapor, ou seja, trata-se de uma forma de energia de alta qualidade, com grande disponibilidade de conversão.

Explicando melhor, a eficiência de primeira lei é largamente utilizada para avaliar sistemas termodinâmicos (Vidal *et al*, 2006). Porém, este método é comprometido com a conservação de energia e, portanto, não é adequado para mostrar como e onde irreversibilidades ocorrem em um sistema ou processo. Embora energia efetivamente sempre se conserve, em todos os processos energéticos reais ocorre inevitavelmente geração de entropia (s), ou seja, em um processo irreversível há sempre geração de entropia, que implica a progressiva e inexorável destruição das reservas energéticas conversíveis e a conversão de todas as formas de energia em calor de baixa temperatura, quase inútil para as necessidades humanas (Nogueira, 2007). Ou seja, há uma degradação na qualidade da energia e uma perda na capacidade de realização de trabalho. Alta entropia significa baixa qualidade de energia. No caso da cogeração, consegue-se utilizar o calor que resulta da impossibilidade de converter totalmente em eletricidade a energia contida em uma fonte térmica. Para determinar estas irreversibilidades, o método de análise exergética é aplicável, providenciando um indicador que mostra em que direção esforços devem se concentrar para melhoria da

performance do processo. Ou seja, é importante separar as perdas reversíveis (que decorrem das transformações calor-trabalho e vice-versa) das irreversíveis (causadas por ineficiências reais). Por exemplo, nos motores de combustão interna, apenas cerca de 30% da energia química contida no combustível é convertida em efeito útil, como potência de eixo. Entretanto, o calor rejeitado para o ambiente pelos tubos de escapamento e radiadores dessas máquinas não pode ser considerado totalmente um desperdício, pois a conversão de calor em trabalho sempre se realiza sob eficiências limitadas superiormente pela Segunda Lei da Termodinâmica, e que nas condições usuais das máquinas reais estariam ao redor de 50% (Nogueira, 2007).

A primeira lei da termodinâmica é extremamente relacionada à razão potência/calor em uma planta de cogeração (Sue e Chuang, 2002). A eficiência é reduzida em torno de 40% quando esta razão aumenta de 1 para 20. Por outro lado, a eficiência de segunda lei é diminuída somente em torno de 2% quando a razão potência/calor aumenta de 1 para 20. Isto concorda com segunda lei da termodinâmica: trabalho (potência) é mais valioso que calor, pois pode ser completamente convertido em calor, mas este não é completamente convertido em trabalho. Ou seja, a qualidade da energia é relacionada a sua capacidade de realizar trabalho. Por exemplo, a capacidade de realizar trabalho de 100J de energia elétrica é maior que 100J de energia térmica a 1000K quando a temperatura do ambiente é 300K (Araújo *et al*, 2006).

Explicando melhor, os produtos de uma planta de cogeração são energia elétrica (W_e) e energia térmica ou entalpia (Q). A performance termodinâmica geralmente é expressa na eficiência de primeira lei, e é definida como (Sue e Chuang, 2002):

$$h_{1^a lei} = \frac{W_e + Q}{E_c}$$

onde E_c é a energia do combustível, Q é a energia térmica (diferença de entalpias, $h_{final} - h_{inicial}$) e W_e é o somatório da energia elétrica gerada pelo gerador a gás e pelo gerador a vapor. Entretanto, a eficiência de uma planta de cogeração é reduzida em virtude de perdas inerentes ao processo. A primeira refere-se às perdas inevitáveis de calor devido a radiação e/ou convecção, e a segunda é a perda interna devido à irreversibilidade do processo. Estas perdas exergéticas são uma medida da degradação da qualidade da energia.

A exergia do processo pode ser calculada como :

$$Exergia_{processo} = (h_i - h_o) - T_0(s_i - s_o)$$

onde h_i e h_o são, respectivamente, as entalpias iniciais e finais, s_i e s_o as entropias iniciais e finais e T_0 é a temperatura ambiente.

Portanto, utilizando a exergia, tem-se uma performance mais acurada do sistema, ou a eficiência de segunda lei para o processo de cogeração.

$$h_{2^{a} lei} = \frac{W_e + exergia_{processo}}{exergia_{combustível}}$$

A análise exergética não apenas revela a existência de um inadequado balanço entre a qualidade das fontes energéticas supridas à economia de um país e a qualidade requerida por essa economia para realizar suas tarefas energéticas, mas também indica que há espaço para melhorias no sistema de conversão e utilização de energia do país (Schaeffer e Wirtshafter, 1991).

Entretanto, apesar da maior acurácia do cálculo exergético para o processo de cogeração, há que se destacar a possibilidade de haver dificuldades em relação à obtenção de informação dos cogeneradores, pois somente com o cálculo energético esta dificuldade já existe.

o Petróleo e derivados

No balanço IEA o fluxo reverso da indústria petroquímica é contabilizado na linha “*Transfers*”; no balanço Eurostat, na linha “*Returns from petrochemical industry*”. Estas duas atividades dos balanços energéticos já foram explicadas no item 2.4.2. Nas demais metodologias, não há menção explícita a esta classificação.

Produtos transferidos, no balanço IEA, também são agregados na linha “*Transfers*”. Já no balanço Eurostat são apresentados na linha “*Products transferred*”.

Além da utilização do petróleo e derivados nos centros de transformação, os balanços da IEA, ONU e da Eurostat também apresentam dentro do setor de transformação, o consumo de petróleo e derivados pelo setor energético, ou seja, todo o consumo de combustível utilizado para a manutenção dos processos de transformação de energia. Por exemplo, o consumo de petróleo e derivados para aquecimento, operação de bombas e compressores. Já a metodologia Olade considera este consumo à parte, fora do setor de transformação. É importante destacar, que combustíveis utilizados para o transporte, mesmo dentro do setor energético são

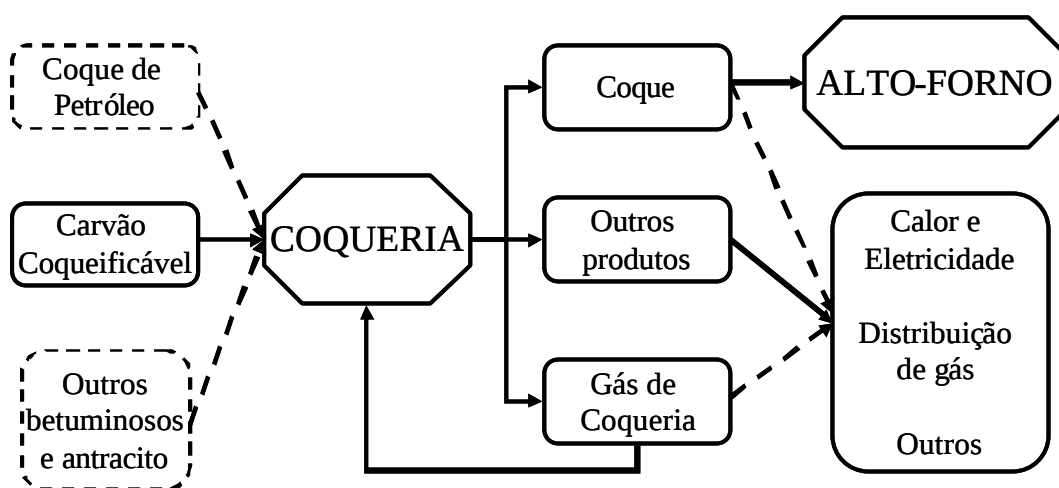
registrados no segmento de transporte no setor de consumo final (como transporte entende-se uso de veículos rodoviários, aéreos, ferroviário, fluvial ou marítimo).

É interessante citar que a metodologia Olade agrega, na coluna “gasolinas/álcool” gasolinas de aviação, de motor, natural e álcool etílico e metanol. Na coluna “coque”, são agregados os coques de petróleo e o de carvão mineral. Na coluna “gases”, são contabilizados os gases de refinaria, alto forno, coqueria, gás de cidade, biogás e outros. Como já dissemos anteriormente, este nível alto de agregação dificulta a reconstrução da cadeia de cada energético, pois não se consegue a separação das fontes e a análise de cada cadeia. Por exemplo, caso se deseje, em um estudo, analisar o potencial de geração de biogás e como ele poderia substituir outros energéticos, uns dos dados necessários seria sua atual produção e impacto na matriz do país. Porém, haveria uma dificuldade grande, pois estes dados estão agregados aos dados sobre gases de refinaria, coqueria, etc. Percebe-se, portanto, como o nível de agregação pode dificultar análises e possíveis formulações de políticas energéticas.

Já a metodologia ONU agrega gasolinas de aviação, motor e natural, combustível de aviação (gasolina e querosene de aviação), querosene, nafta e *White spirit* na coluna *‘light petroleum products’*, que é definida como produtos líquidos obtidos pela destilação do petróleo cru em temperaturas entre 30° e 350°, e/ou que possui densidade específica entre 0,625 e 0,830. Os produtos óleo combustível residual e diesel são classificados na coluna *‘heavy petroleum products’*, que é definida como produtos obtidos pela destilação do petróleo cru em temperaturas acima de 350°, e que tem densidade específica maior que 0,83. Na coluna *“Other petroleum products”* enquadram-se os lubrificantes, *feedstocks*, betume, graxas, coque de petróleo, e outros. Os gases são agregados na coluna *“liquefied and other petroleum gases”*, que compreende o GLP e o gás de refinaria.

o Carvão Mineral

Com relação ao setor de transformação, a figura abaixo apresenta de forma esquemática o fluxo de energéticos considerado pela metodologias IEA e Eurostat para contabilização do processo de transformação do carvão metalúrgico em coque de carvão mineral. Ressalta-se que este método de contabilização é utilizado pelas duas metodologias para coleta de dados durante a elaboração dos balanços energéticos. Porém, não corresponde à forma com que estes dados são exibidos nas matrizes energéticas, como será visto adiante.



Nota: Linhas tracejadas representam fluxos/fontes de energia de menor magnitude

Figura 7: Fluxo de energéticos para o centro de transformação coqueria – metodologias IEA e Eurostat.

Fonte: IEA, 2004.

É possível observar que a metodologia contempla a possibilidade de se contabilizar outros energéticos nas coquerias, como o coque de petróleo e outros tipos de carvões betuminosos e antracito. Da mesma forma, são identificadas as parcelas de gás de coqueria reinjetadas na própria coqueria, utilizadas como fonte de calor e/ou eletricidade e enviadas para o sistema de distribuição de gás. Enquanto o gás utilizado na própria coqueria é contabilizado como consumo do setor energético, os demais usos vão para os respectivos setores de consumo final.

Seguindo o fluxo de energéticos nos processos de transformação do carvão mineral, define-se também o alto-forno como um centro de transformação. A figura abaixo mostra o processo de contabilização dos energéticos nesse centro de transformação.

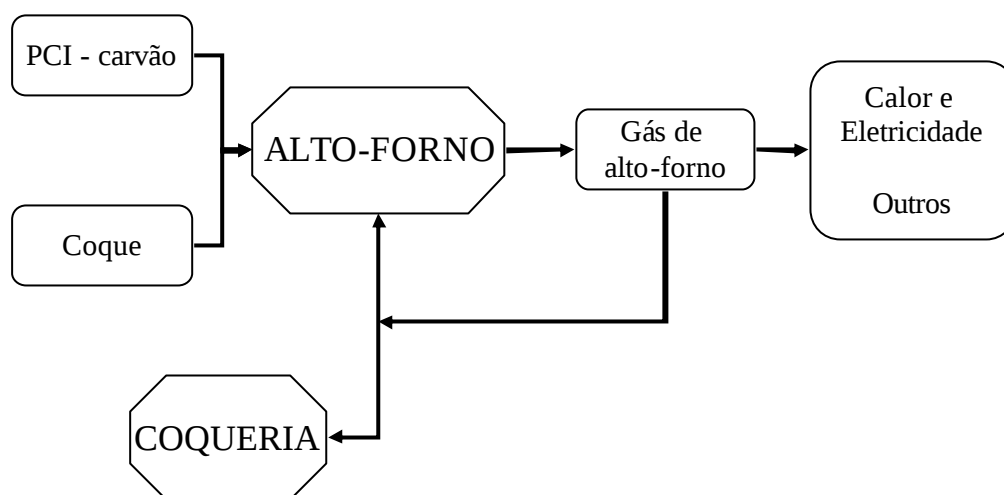


Figura 8: Fluxo de energéticos para o centro de transformação “alto forno”.

Fonte: IEA, 2004.

Alto-fornos (*blast furnaces*) representam um centro de transformação utilizado pela Eurostat e pela Olade para descrever uma etapa do processo de fabricação de ferro gusa a partir do minério de ferro em usinas siderúrgicas. Para maiores informações a respeito do funcionamento do alto-forno, consultar Anexo 3 desta dissertação e o capítulo 5. Conforme exposto anteriormente, a Eurostat e IEA possuem métodos de coleta de dados baseados nestes fluxogramas apresentados acima, mas não necessariamente exibem os dados de forma igual no balanço energético. A Eurostat apresenta em seu setor de transformação os centros “alto-forno” e “coquerias”, e possibilita uma visão adequada da cadeia do carvão, no que tange a este intercâmbio de energéticos. Porém, a IEA não o faz, e apresenta em seu setor de transformação a linha “transformação do carvão”, onde apresenta as transformações do carvão de combustíveis primários para secundários, e de secundários para terciários (por exemplo, carvão para coque, e coque para gás de alto forno) (IEA, 2007). Portanto, o nível de agregação é muito alto.

As metodologias IEA e Eurostat estabelecem que uma parcela do coque que entra no alto-forno é transformada em outro energético, o gás de alto-forno que, por sua vez é consumido pelo setor siderúrgico (para evitar dupla contabilização, a metodologia sugere contabilizar os combustíveis utilizados em alto-fornos, como gás de alto-forno, como consumo do setor energético). Dessa forma, nem todo o coque, que entra no alto-forno, é atribuído ao consumo final industrial, apenas a parcela de coque que não é transformada em gás de alto-forno. Os gases que não foram utilizados no alto-forno (que são atribuídos ao consumo do setor energético) nem utilizados para geração de energia elétrica (contabilizados no setor de transformação) são atribuídos ao setor de

consumo final da siderurgia (alguns gases são utilizados em outros processos da siderurgia, como a sinterização (Farla e Blok, 2001)). A metodologia sugere, ainda, que, na ausência de informação, deve-se assumir que todo gás de alto-forno e gás de coqueria usados em alto-fornos é para aquecimento do alto-forno e, portanto, devem ser considerados como consumo do setor energético (até mesmo para evitar dupla contagem). Entretanto, a questão acerca do gás de alto-forno utilizado no próprio alto-forno é mais confusa: pode ser considerado como consumo do setor energético, visto que suporta a transformação do coque em gás de alto-forno, ou consumo do setor industrial, visto que é consumo da indústria de ferro e aço para aquecer o processo e transformar o ferro em ferro-gusa, ou seja, calor de processo. O calor de processo atribuído à cogeração, por exemplo, é considerado consumo final, e não consumo do setor energético. A questão, portanto, complica-se, devido ao fato de que o alto-forno é um centro de transformação, mas também uma indústria, e consumo de indústria é reportado no consumo final industrial. Ou seja, é difícil separar a parte do gás que é utilizado para aquecimento, e a parte que ajuda no processo de redução. Porém, decisões têm de ser tomadas, e a metodologia considera, portanto, todo gás de alto forno e de coqueria que entra no alto-forno é considerado consumo do setor energético, e, em virtude da dificuldade da situação, mostra-se suposição adequada.

Já a metodologia Olade considera que o coque consumido pelo alto-forno em uma planta siderúrgica deve ser atribuído ao setor de transformação, e não ao consumo final, pois seria um “reciclo interno”, saindo da coqueria e ingressando no alto-forno. Esta metodologia não se mostra correta, visto que a parte utilizada do coque para redução do minério de ferro é consumo do setor industrial, e não é transformada em outro energético, como aponta esta metodologia. Ademais, este procedimento subestimaria o consumo da indústria, e, assim, sobreestimaria a eficiência energética do setor.

A metodologia ONU não explicita seu método.

Uma das vantagens dessa metodologia IEA/Eurostat é a possibilidade de se identificar quanto de coque foi transformado em gás de alto-forno e quanto foi consumido diretamente pelo setor de ferro gusa e aço. Ademais, a contabilização do gás de alto-forno produzido permite separar as parcelas utilizadas para geração de eletricidade e para fins térmicos.

o Renováveis e Resíduos

Como dito anteriormente, uma parcela de combustíveis oxigenados obtidos a partir de fontes renováveis é utilizada nas refinarias durante o processo de *blending*. Essa parcela é contabilizada na célula *Transfers* do balanço da IEA. Também é importante destacar que o processo de fabricação de carvão vegetal é contabilizado na célula *Non-specified*. Esta última prática, no caso destes países componentes da IEA e Eurostat, mostra-se razoável, visto que o carvão vegetal não possui impacto significativo nas matrizes energéticas destes países (IEA, 2007). Vê-se, aqui, a questão do *trade-off* entre desagregação de dados e importância de fontes na matriz energética. Porém, cabe ressaltar que, no caso do Brasil, por exemplo, onde este energético possui participação importante na composição da matriz energética (EPE, 2006), esta prática não seria adequada e dificultaria a análise de dados e a formulação de políticas voltadas para este energético.

A metodologia Olade, em relação à produção de carvão vegetal em carvoarias, utiliza a equação (em casos onde não se conhece a quantidade de lenha utilizada no processo):

$$\text{Transformação} = \text{Produção de carvão vegetal} / \text{eficiência}$$

Segundo esta metodologia, a eficiência varia entre 20 a 35%, dependendo do tamanho do forno, das variedades da lenha e das tecnologias empregadas. Aconselha-se tomar o valor de 25% (em termos de calorias) em caso de desconhecimento do processo. Ressalta-se aqui que o valor utilizado para a eficiência está bem abaixo, por exemplo, pelo adotado no Balanço Energético Nacional, onde o valor encontra-se em torno de 50% (EPE, 2006).

Em relação a destilarias, a metodologia Olade toma como referência o seguinte balanço:

$$1 \text{ ton de cana} = 270\text{kg de bagaço (50\% umidade)} + 730\text{kg de caldo de cana}$$

Em relação às metodologias IEA e Eurostat, não houve menção explícita ao tratamento oferecido à cana-de-açúcar. A metodologia adotada pela ONU já foi descrita no item 2.4.1. Ressalta-se, mais uma vez, que o álcool etílico está crescendo muito em importância mundial, como forma de substituição, pelo menos em parte, aos combustíveis fósseis, entre eles a gasolina. Portanto, mesmo que tal energético não tenha peso relevante na matriz do país, é importante oferecer um destaque a esta fonte, demonstrando, separadamente, sua cadeia energética.

o Energia Nuclear

O balanço energético da Eurostat considera o conteúdo energético do vapor que sai dos reatores (coluna *Nuclear heat*) como alimentação das centrais nucleares, que, por sua vez, geram a eletricidade (na linha *Nuclear power stations*) com coeficiente de eficiência de 33%. Já a metodologia IEA considera o calor nuclear, em sua coluna própria, sendo consumido na linha “Centrais de eletricidade”, que, por sua vez, produzem a eletricidade total (através de todas as fontes), não permitindo a contabilização da eletricidade gerada somente pelo processo nuclear.

A metodologia Olade, da mesma forma que a IEA, não permite a visualização da geração de eletricidade somente a partir do combustível nuclear. Ou seja, possui coluna para Combustível nuclear, mas não um alinhamento específica para o centro de transformação central nuclear.

A metodologia ONU não possui coluna para particularizar o ciclo nuclear. Simplesmente agrega a eletricidade produzida pelas centrais nucleares na coluna “Eletricidade”, usando para isso um coeficiente de eficiência de 33%.

3.4.3. Consumo Final

No setor de consumo final, a Eurostat apresenta o consumo de não energéticos sob a classificação “*Final non-energy consumption*”, que é sub-dividida em indústria química e outros setores. A metodologia Olade também possui linha específica para consumo não energético. A IEA, por sua vez, apresenta os insumos não energéticos para a indústria petroquímica na linha “*feedstock*” (que é uma sub-divisão da linha Química e petroquímica, dentro do setor industrial), enquanto que os demais usos não energéticos são classificados na linha “uso não energético”, que possui 3 sub-divisões: indústria, transporte e outros setores.

Pertencente ao consumo final energético, as metodologias Eurostat, IEA e Olade apresentam o setor industrial de acordo com as definições de atividades econômicas estabelecidas pelo ISIC rev. 3 (*International Standard Industrial Classification*) e NACE rev. 1 (*Statistical Classification of Economic Activities of the European Community*). Dessa forma, o segmento de construção está contido no setor industrial, já o setor energético não. São elas:

- Ferro e aço
- Química e petroquímica
- Metais não-ferrosos

- Minerais não-metálicos
- Transporte de equipamentos
- Maquinaria
- Mineração
- Alimentos, bebidas e tabaco
- Papel, celulose e gráfica
- Madeira e produtos de madeira
- Têxtil e couro
- Construção
- Não especificado

Cabe aqui um parêntese: a metodologia Olade considera mineração à parte do setor industrial, junto com Agricultura e Pesca. Ademais, desagrega também o setor de construção como uma linha específica do consumo final. Caso estas duas atividades, mineração e construção, tivessem uma participação bastante importante na matriz energética, em comparação com a matriz energética de outros países, esta desagregação pudesse ser justificada. Em caso contrário, estas duas classificações não são adequadas, visto que destoam das demais metodologias, podendo gerar falsas análises.

A metodologia ONU explicita o consumo final do setor industrial somente pelas linhas “indústria de ferro e aço”, “indústria química” e “outras indústrias”. É importante registrar que a metodologia da ONU não considera o consumo não-energético dentro do consumo final, e sim, dentro do setor transformação. Ressalta-se que a agregação das demais indústrias em “outras indústrias” mostra-se como exagerada, simplificando demais a matriz energética.

Quatro segmentos são identificados no setor transporte pelas metodologias ONU e Eurostat: rodoviário, ferroviário, aéreo e navegação nacional. A IEA considera ainda o transporte por dutos. A Eurostat, no entanto, considera esse consumo como parte integrante do consumo do setor energético. A quantidade reportada para esse setor deve ser apenas a parcela utilizada para fins de propulsão, ou seja, qualquer quantidade energética utilizada por companhias de transporte para outros fins deve ser desconsiderada. A metodologia Olade considera os transportes rodoviário, ferroviário, aéreo, fluvial e marítimo, para qualquer veículo que tenha se abastecido dentro do país, independente da nacionalidade.

O Calor e eletricidade

Frente à crescente relevância das questões ambientais para o Planejamento Energético (Cima, 2006 e Nunes, 2005), impende a correta identificação do padrão de consumo de combustíveis dentro de cada indústria e setor de consumo, de forma a viabilizar medidas de conservação de energia e redução de emissão de gases do efeito estufa. Portanto, o nível de agregação das indústrias em um balanço energético é assunto de grande importância.

Como dito anteriormente, a IEA identifica o consumo de eletricidade utilizado no transporte por meio de dutos (gasodutos e oleodutos) na linha “*pipeline transport*” dentro do setor transporte. Já a Eurostat agrega esse dado no consumo do setor energético, dentro da matriz de transformação do balanço, da mesma forma que a ONU. A metodologia Olade não explicita esta questão do consumo de energéticos em gasodutos. Cabe aqui destacar a questão de coerência no tratamento: da mesma forma que se considera o combustível utilizado no transporte de petróleo em navios, por exemplo, como consumo do setor de transporte (ou *bunker*), ou combustível utilizado no transporte de gasolina até um posto de abastecimento como consumo do setor de transporte, deve-se considerar a eletricidade utilizada nestes dutos como consumo do setor de transporte, como a IEA procede. Além disso, trata-se de combustível utilizado não no processo de extração ou produção de fontes energéticas, mas no transporte destas fontes.

A metodologia Olade recomenda, ainda, que, em países onde há grandes plantas eletroquímicas (como alumínio ou cobre), é conveniente separar a eletricidade consumida em eletrólise do consumo final e alocá-la em consumo não energético. Este procedimento demonstra ser totalmente incoerente com a definição de consumo não-energético, que é quando fontes energéticas são utilizadas como matéria-prima para fabricação de bens não energéticos. Por exemplo, consumo de nafta para fabricação de plástico. O consumo energético ocorre quando uma fonte é consumida e não transformada em outra fonte, ou seja, desaparece na cadeia, sendo o caso da eletrólise.

O Renováveis e Resíduos

Em muitos países (geralmente os países em desenvolvimento, onde a lenha tem importante papel na matriz energética), a contabilização da lenha para consumo final é bastante dificultada pelo fato de uma parcela considerável desse

energético ser coletada de forma manual para o uso, impossibilitando registros precisos de quantidade empregada. Para setor industrial, a metodologia Olade sugere que, em caso de total desconhecimento do número de pequenas indústrias que não registram dados (panificações, olarias, etc), se utilize o seguinte procedimento:

- Primeiro estima-se alguma propriedade extensiva, como toneladas de pão, número de ladrilhos, etc, N;
- Estima-se a produção, n;
- Descobre-se o consumo específico, c, através de pesquisas em poucos estabelecimentos.
- O consumo de lenha é estimado como: $n * c * N / 100$

Já para o setor residencial, o procedimento indicado é:

- Consultar censos de população ou pesquisas para estimar o número de pessoas (N) que cozinham com determinado combustível.
- A pesquisa poderia também indicar o consumo específico (c) em kg por pessoa ou família por ano, dia ou semana; seu consumo é então $N * c$
- Dar atenção às unidades trabalhadas, como braçadas, por exemplo;

Para energia solar consumida no setor residencial, Olade recomenda:

- Conhecer Q, que são os litros de água por ano aquecidos desde uma temperatura T0 (temperatura inicial) até Tf (temperatura final). Se Cp é a capacidade calorífica da água, a energia é obtida como: $H = Cp * Q * (Tf - T0)$.

Perante este método cabe uma crítica. Estes dados apresentam uma grande dificuldade em sua coleta. Um tratamento alternativo para estimativa de produção de energia solar seria a obtenção de dados a respeito da área coletora (m²), volume do reservatório (l) e local de instalação (radiação solar média – kWh/m².dia) (Baptista, 2006). Destes dados dependem as temperaturas a que a metodologia Olade se referencia, e apresentam obtenção mais precisa.

4. Estrutura e análise do balanço energético nacional

4.1. Instituição estudada

4.1.1. EPE

A EPE, instituída em 2004 pela lei nº 10.847 como parte da nova formulação do Sistema Elétrico Brasileiro, vinculada ao Ministério de Minas e Energia - MME, tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras. Suas atribuições são realizar estudos e projeções da matriz energética brasileira, elaborar e publicar o balanço energético nacional, identificar e quantificar os potenciais de recursos energéticos, realizar estudos para a determinação dos aproveitamentos ótimos dos potenciais hidráulicos, etc.

Desde 1976, após a crise do petróleo o BEN é realizado pelo MME. Com a criação da EPE, através do Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004, esta atividade foi transferida, gradualmente, a esta instituição (conforme artigo 6º do referido decreto).

A seguir, expõe-se a matriz do BEN.

Tabela 10: Matriz do Balanço Energético Nacional consolidado.

10³ tep	FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA										FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA																	TOTAL
	PETRÓLEO	GÁS NATURAL	CARVÃO VAPOR	CARVÃO METALÚRGICO	URÂNIO U308	ENERGIA HIDRÁULICA	LENHA	PRODUTOS DA CANA	OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	ENERGIA PRIMÁRIA TOTAL	ÓLEO DIESEL	ÓLEO COMBUSTIVEL	GASOLINA	GLP	NAFTA	QUEROSENE	GÁS DE CIDADE E DE COQUERIA	COQUE DE CARVÃO MINERAL	URÂNIO CONTIDO NO UO2	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO E HIDRATADO	OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	PRODUTOS NÃO ENERGÉTICOS DE PETRÓLEO	ALCATRÃO	ENERGIA SECUNDÁRIA TOTAL		
PRODUÇÃO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
IMPORTAÇÃO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
VARIAÇÃO DE ESTOQUES	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
OFERTA TOTAL	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
EXPORTAÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
NÃO-APROVEITADA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
REINJEÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
OFERTA INTERNA BRUTA	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
TOTAL TRANSFORMAÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
REFINARIAS DE PETRÓLEO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
PLANTAS DE GAS NATURAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
USINAS DE GASEIFICAÇÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
COQUERIAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
CENTRAIS ELÉTRICAS DE SERVIÇO PÚBLICO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
CENTRAIS ELÉTRICAS AUTOPRODUTORAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
CARVOARIAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
DESTILARIAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
OUTRAS TRANSFORMAÇÕES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAGEM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CONSUMO FINAL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

CONSUMO FINAL NÃO-ENERGÉTICO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
SETOR ENERGÉTICO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RESIDENCIAL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
COMERCIAL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PÚBLICO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
AGROPECUÁRIO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
TRANSPORTES - TOTAL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RODOVIÁRIO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
FERROVIÁRIO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
AÉREO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
HIDROVIÁRIO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
INDUSTRIAL - TOTAL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CIMENTO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
FERRO-GUSA E AÇO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
FERRO-LIGAS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
MINERAÇÃO E PELOTIZ.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
QUÍMICA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ALIMENTOS E BEBIDAS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
TÊXTIL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PAPEL E CELULOSE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CERÂMICA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
OUTROS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CONSUMO NÃO-IDENTIFICADO	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
AJUSTES	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Fonte: MME, 2005.

4.2. Princípios do Balanço Energético Nacional

É importante explicitar que esta seção e a seguinte foram realizadas fortemente baseadas em relatórios do projeto “Estudos Técnicos de Aperfeiçoamento da Metodologia de Elaboração do Balanço Energético Nacional – BEN, contratado pelo MME ao PPE/COPPE/UFRJ, por interveniência do PNUD”, realizado no ano de 2004/2005. Além desta base, os outros documentos utilizados foram (Olade, 2004), (IEA, 2004) e (United Nations, 2002), e assim, de forma a evitar repetições, referências somente serão explicitadas em caso de real necessidade.

4.2.1. Unidades

No Balanço Energético Nacional, da mesma forma que os demais balanços internacionais, as unidades comerciais são convertidas em uma unidade comum que permita a realização de somatórios e conseqüentemente o fechamento do balanço. A metodologia do Balanço Energético Nacional adota a tonelada equivalente de petróleo (tEP) para a elaboração da matriz de dados energéticos, em consonância com a metodologia de balanços internacionais como os da Eurostat e da Agência Internacional de Energia.

4.2.2. Poderes caloríficos

Até 2001, o conteúdo energético de referência para a conversão para tEP era baseado no poder calorífico superior do petróleo, correspondendo a 10.800 Mcal. A partir de 2002 (ano base 2001), passou-se a adotar um conteúdo energético de referência para a tonelada equivalente de petróleo tEP, correspondendo a 10.000 Mcal, o mesmo valor adotado pelos órgãos responsáveis pela elaboração de balanços internacionais, como a Eurostat e a IEA. Adicionalmente, a conversão para tEP passou a ser realizada a partir do poder calorífico inferior dos energéticos (PCI), incluindo o petróleo. Por exemplo, uma tonelada de petróleo, com poder calorífico inferior de 10.200 kcal/kg³⁰, possui um fator de conversão de 1,020 tEP/t. Também é importante destacar que, diferente do que ocorre com os balanços da Eurostat e IEA, que estabelecem PCIs diferenciados para o petróleo produzido domesticamente, importado e exportado, o BEN utiliza um mesmo PCI para as quantidades de petróleo nacional, importado e exportado.

³⁰ EPE, 2006.

Para ilustração da questão, considere-se o seguinte exemplo: o Brasil processou, no ano de 2002, 586.553.175 barris, importou 139.403.000 barris e exportou 85.761.000 barris, sendo que (ANP, 2004):

- A densidade (t/m³) e o PCI (kcal/kg) do petróleo importado são, respectivamente, 0.85572 e 10.190 (valores médios para o ano de 2002);
- A densidade (t/m³) e o PCI (kcal/kg) do petróleo nacional exportado Marlim são, respectivamente, 0.89857 e 10.190 (valores médios para o ano de 2002);

Sabendo-se que o barril representa 0,158987 m³, tem-se os seguintes dados:

- Petróleo importado: 22.163.264,761 m³ = 18.965.548,92 t = 1,9325894 x 10¹⁴ kcal (ou, utilizando tEP de 10.000 kcal, temos 19.325.894 tEP de petróleo importado);
- Petróleo exportado: 13.634.884,1 m³ = 12.251.897,81 t = 1,2484684 x 10¹⁴ kcal (ou, utilizando tEP de 10.000 kcal, temos 12.484.684 tEP de petróleo exportado) ;

Estas quantidades representam a energia real importada e exportada. Porém, utilizando a metodologia do Balanço Energético Nacional, o PCI do petróleo médio corresponde a 10.200kcal/kg sua densidade, 874kg/ m³ e, portanto, o fator de conversão para tEP médio é 0,891 tEP/ m³. Convertendo as quantidades importadas e exportadas para tEP, temos 19.747.468,9 tEP importado e 12.148.681,7 tEP exportado. Estas seriam as quantidades reportadas no balanço energético. A soma do petróleo exportado e importado obtido pelo primeiro processo é de 31.810.578 tEP e pelo segundo processo, utilizado pelo BEN, temos 31.896.151 tEP. Apesar de a diferença de 85.573 tEP (2,68%) entre as duas metodologias parecer pequena, isto representa quatro vezes a produção de petróleo, por exemplo, das Filipinas no ano de 2004³¹, segundo metodologia IEA (IEA, 2007).

Ou seja, a metodologia do BEN tende a aumentar as quantidades de petróleo importadas e diminuir as quantidades exportadas, pelo fato de que utiliza o mesmo PCI

³¹ Ressalta-se aqui que a comparação não leva em conta eventuais diferenças metodológicas que possam existir na consideração ou não de líquidos de gás natural. Pretendeu-se somente dar uma noção do que representa este número dissonante de tEP contabilizados.

para petróleo importado e exportado. Percebe-se aí a importância da adoção de poderes caloríficos diferenciados para os petróleos importados e exportados.

4.2.3. A contabilização da eletricidade gerada por processos não-combustíveis

Outra mudança ocorrida a partir do BEN 2003 foi o método de contabilização da energia hidráulica para geração de eletricidade. Até 2001, a quantidade energia elétrica de origem hidráulica era calculada utilizando-se um fator de conversão que representava a equivalência térmica da geração elétrica, onde $1 \text{ kWh} = 3132 \text{ kcal}$, ou seja, considerava-se uma eficiência de 1ª Lei de 27,7%, correspondente à eficiência de uma usina térmica equivalente a óleo combustível. Assim, o fator de conversão de 0,29 tEP/MWh³² utilizado para a energia hidráulica superestimava esta fonte em cerca de 3,62 vezes, visto que o fator de conversão teórico para a eletricidade é de 0,086 tEP/MWh ($1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$). No entanto, a partir de 2002, o BEN passou a adotar o critério teórico de conversão para energia hidráulica. Todavia, continua-se a aplicar o critério de equivalência térmica para a energia nuclear³³, eólica e solar (Patusco, 2006).

Vale ressaltar aqui que, na medida em que as edições mais recentes do BEN (a partir do BEN 2003) passaram a considerar o fator de conversão teórico para a energia hidráulica e eletricidade ($1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$: 1º. Princípio da Termodinâmica), a determinar os fatores de conversões com base nos poderes caloríficos inferiores das fontes de energia e a adotar um petróleo de referência com PCI de 10.000 kcal – critérios aderentes àqueles adotados pela IEA e Eurostat, a comparação entre os dados do BEN e de outros países existentes nas publicações anuais destas organizações passou a ser direta.

4.2.4. Classificação das atividades econômicas

A classificação das atividades pertencentes ao setor industrial é realizada com base na CNAE (EPE, 2006) – Código Nacional de Atividades Econômicas - revisão 1

³²Os fatores de conversão são calculados com base no poder calorífico de cada energético em relação ao do petróleo. O fator de 0,29 tEP/MWh foi utilizado no BEN até 2002 (inclusive), quando utilizavam-se os poderes caloríficos superiores dos energéticos. Assim, o petróleo de referência tinha o valor de 10.800kcal/kg. Este fator é resultado da razão entre o consumo médio de óleo combustível em kcal/kWh nas termelétricas brasileiras e o poder calorífico superior do petróleo (3132/10800). Representa, portanto, a equivalência térmica da geração elétrica (eficiência média de geração térmica de 27,5%).

³³ Ver itens 2.4.1 (d) e 3.3.2 (f) deste trabalho.

(ou Código de Atividades da Receita Federal (Portarias no. 907, de 29 de agosto de 1989, e no. 962, de 29 de dezembro de 1987)), que foi desenvolvida tendo por referência a CIIU/ISIC rev. 3.1. A tabela a seguir apresenta a metodologia de divisão das atividades do setor industrial cobertas pelo BEN a partir da classificação CNAE.

Tabela 11: Relação entre atividades de consumo final do BEN e a classificação CNAE.

Código	Atividade CNAE	Atividade de consumo final do BEN
10	Extração de Carvão Mineral	ENERGÉTICO
11	Extração de petróleo e serviços correlatos	ENERGÉTICO
13	Extração de minerais metálicos	MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO
14	Extração de minerais não metálicos	MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO
15	Fabricação de produtos alimentícios e bebidas	ALIMENTOS E BEBIDAS
16	Fabricação de produtos do fumo	OUTRAS INDÚSTRIAS
17	Fabricação de produtos têxteis	TÊXTIL
18	Confecção de artigos do vestuário e acessórios	OUTRAS INDÚSTRIAS
19	Preparação: couros, artefatos, artigos viagem, calçados	OUTRAS INDÚSTRIAS
20	Fabricação de produtos de madeira	OUTRAS INDÚSTRIAS
21	Fabricação de celulose papel e produtos de papel	PAPEL E CELULOSE
22	Edição impressão e reprodução de gravações	OUTRAS INDÚSTRIAS
23	Fabricação: coque, refino pet., comb. nucleares, álcool	ENERGÉTICO
24	Fabricação de produtos químicos	QUÍMICA
25	Fabricação de artigos de borracha e plástico	OUTRAS INDÚSTRIAS
26	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	CIMENTO / CERÂMICA E PARTE EM OUTRAS INDÚSTRIAS
27	Metalurgia básica	FERRO GUSA E AÇO, FERRO-LIGAS E Ñ.FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA
28	Fabricação de prod. de metal - exclusive máq. e equip.	FERRO GUSA E AÇO, FERRO-LIGAS E Ñ.FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA
29	Fabricação de máquinas e equipamentos	OUTRAS INDÚSTRIAS
30	Fabricação de máq. de escritório e equip. de informática	OUTRAS INDÚSTRIAS
31	Fabricação de máquinas aparelhos e materiais elétricos	OUTRAS INDÚSTRIAS
32	Fabricação de máq. aparelhos e equip. comunicações	OUTRAS INDÚSTRIAS
33	Fabricação de instr. médico-hosp. cisão ópticos	OUTRAS INDÚSTRIAS
34	Fabric. e mont. veículos autom, reboques, carrocerias	OUTRAS INDÚSTRIAS
35	Fabricação de outros equipamentos de transporte	OUTRAS INDÚSTRIAS
36	Fabricação de móveis e indústrias diversas	OUTRAS INDÚSTRIAS
37	Reciclagem de sucatas metálicas e não metálicas	OUTRAS INDÚSTRIAS
45	Construção civil	OUTRAS INDÚSTRIAS
00	Outras indústrias	OUTRAS INDÚSTRIAS
40	Elettricidade Gás e Água Quente	ENERGÉTICO
41	Captação Tratamento e Distribuição de Água	OUTRAS INDÚSTRIAS

Fonte: MME, 2005.

Segundo o IBGE - órgão responsável pela gestão e manutenção da CNAE - sua estrutura alinha-se à da classificação internacional dentro dos seguintes parâmetros (IBGE, 2007):

- No primeiro nível (seções): as 17 seções da CNAE são definidas de forma idêntica às da ISIC/CIIU 3.1, inclusive quanto aos códigos formados por uma letra;
- No segundo nível (divisões): as 59 divisões da CNAE também são definidas seguindo estritamente a estrutura da ISIC/CIIU 3.1 e adotando os mesmos códigos numéricos de dois dígitos, com exceção da junção, na CNAE, das divisões 12 Extração de urânio e tório e 13 Extração de minerais metálicos, da ISIC/CIIU.
- No terceiro nível (grupos): neste nível, identificado com códigos numéricos de três dígitos, a CNAE introduz, em relação à estrutura da ISIC/CIIU, um maior detalhamento sempre que necessário para refletir as características da economia brasileira, dentro do princípio de reconstituição dos grupos da classificação internacional.
- No quarto nível (classes): neste nível, identificado com códigos numéricos de quatro dígitos, a CNAE detalha atividades definidas nos grupos, na mesma linha de identificação de segmentos importantes na caracterização da estrutura produtiva do País, inclusive para atendimento a demandas de usuários e produtores de informações sociais e econômicas.

A análise permite verificar as divergências metodológicas na classificação das atividades industriais que impedem a comunicação direta entre a base de dados estatísticos de energia brasileira e as demais bases de dados internacionais. De fato, um dos objetivos da elaboração do BEN é apresentar a estrutura de oferta e consumo final de energia dos setores da economia nacional, dando destaque para atividades com significativa contribuição na estrutura de consumo final de energia. No entanto, como instrumento de auxílio à tomada de decisões e formulação de políticas energéticas, a classificação adotada pelo BEN deveria ser compatível com (ou transladável para) classificações de bases estatísticas econômicas, como o Sistema de Contas Nacionais, que fornece dados de PIB e valor agregado. A comunicação entre a base de dados do SCN e do BEN é de fundamental importância para estudos e análises baseados na intensidade energética dos diversos setores da economia (conforme será visto no capítulo 5 deste trabalho). O atual sistema de classificação das atividades industriais

adotado pelo BEN apresenta discrepâncias em relação à classificação do SCN que podem levar a análises equivocadas da intensidade energética de determinados setores.

4.2.5. Nível de agregação das fontes energéticas e/ou atividades

O balanço completo de energia, contemplando as etapas de oferta, transformação e consumo final das fontes energéticas, é apresentado no BEN por meio de matrizes de dados energéticos. Existem dois tipos de matrizes de dados energéticos: uma de dimensão 49x47 que correlaciona todas as quarenta e nove fontes de energia contempladas pela metodologia de elaboração do balanço; e outra de dimensão 27x47, onde algumas fontes de energia são agregadas de forma a facilitar a visualização. Apesar de não ser publicada, a matriz de dados desagregados (49x47) permite um melhor entendimento do fluxo de energia ao longo das cadeias de energéticos, além de discriminar todas as fontes consideradas na metodologia. A matriz de dados agregados (27x47), por sua vez, é mais adequada para a realização de análises de dados, onde a discriminação detalhada das fontes não é a finalidade principal, mas sim os valores totais de energia para determinadas cadeias de energéticos. A tabela abaixo faz uma correlação entre as fontes de energia da matriz de dados de dimensão 49x47 e as fontes que são agregadas para a montagem da matriz de dados agregados 27x47.

Tabela 12: Correspondência entre os dois tipos de matrizes de dados – Fontes primárias de energia

FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA	
MATRIZ DESAGREGADA (49X47)	MATRIZ AGREGADA (27X47)
Petróleo	Petróleo
Gás natural úmido	Gás natural
Gás natural seco	
Carvão vapor 3100	Carvão vapor
Carvão vapor 3300	
Carvão vapor 3700	
Carvão vapor 4200	
Carvão vapor 4500	
Carvão vapor 4700	
Carvão vapor 5200	
Carvão vapor 5900	
Carvão vapor 6000	
Carvão vapor s/ especificação	
Carvão metalúrgico nacional	Carvão metalúrgico
Carvão metalúrgico importado	
Urânio (U ₃ O ₈)	Urânio (U ₃ O ₈)
Energia hidráulica	Energia hidráulica
Lenha	Lenha
Caldo de cana	Produtos da cana
Melaço	
Bagaço de cana	
Lixívia	Outras fontes primárias
Outras renováveis	
Outras não renováveis	
FONTES SECUNDÁRIAS DE ENERGIA	
MATRIZ DESAGREGADA (49X47)	MATRIZ AGREGADA (27X47)
Óleo diesel	Óleo diesel
Óleo combustível	Óleo combustível
Gasolina automotiva	Gasolina
Gasolina de aviação	
GLP	GLP
Nafta	Nafta
Querosene iluminante	Querosene
Querosene de aviação	
Gás de coqueria	Gás de cidade e de coqueria
Gás canalizado RJ	
Gás canalizado SP	
Coque de carvão mineral	Coque de carvão mineral
Urânio contido no OU ₂	Urânio contido no OU ₂
Elettricidade	Elettricidade
Carvão vegetal	Carvão vegetal
Álcool anidro	Álcool etílico anidro e hidratado
Álcool hidratado	
Gás de refinaria	Outras secundárias de petróleo
Coque de petróleo	
Outros energéticos do petróleo	
Alcatrão	Alcatrão
Asfalto	Produtos não-energéticos do petróleo
Lubrificantes	
Solventes	
Outros não-energéticos do petróleo	

Fonte: MME, 2005.

4.2.6. Qualidade de dados

Conforme exposto no capítulo anterior, a qualidade dos dados é diretamente afetada pela forma como as informações são coletadas. O BEN não é realizado através de coleta padronizada de dados (Schaeffer et al, 2005). Constata-se,

portanto, que a inexistência de um formato padrão para o envio das informações que são coletadas por meio de registros administrativos sobrecarrega as atividades de tratamento e verificação de consistência dos dados. Além disso, como nas demais metodologias expostas no capítulo anterior, não há mecanismo normativo legal que estabeleça a obrigatoriedade do envio de informações por parte das entidades e indústrias autoprodutoras de energia, e assim a solicitação de informações torna-se uma tarefa que consome tempo e recursos humanos.

4.3. Análise da metodologia adotada no Balanço Energético Nacional

4.3.1. Oferta de energia

Produção doméstica de energia

O Calor e Eletricidade

O critério anteriormente analisado de conversão da oferta de base hidroelétrica pelo equivalente térmico baseava-se no fato de os primeiros trabalhos de consolidação de balanços energéticos no país se basearem na literatura internacional que indicava para a energia hidráulica o uso preponderante do fator de equivalência térmica, que tornava equiparáveis as ofertas de energia de países com alta e baixa participação de geração hidráulica³⁴. No entanto, para a oferta de base termelétrica e a demanda de eletricidade, nos balanços internacionais era utilizado o critério teórico de 0,086 tEP/MWh. Tal método de contabilização resultava em perdas (fictícias) elevadas nos balanços consolidados para a transformação de energia hidráulica em energia elétrica, comprometendo o cálculo do rendimento de 1ª Lei para essa fonte. Por esse motivo, o BEN adotava o mesmo critério de equivalente térmico para a oferta e demanda de eletricidade. Ainda assim, a metodologia adotada pelo BEN levava a um sobredimensionamento da participação da eletricidade no consumo final de energia. E também criava imprecisões na análise da eficiência de 1ª Lei da transformação de energia primária em energia secundária, na medida em que normalizava toda a oferta de eletricidade segundo uma termelétrica de eficiência relativamente baixa (típica das plantas a óleo combustível), mas baixa para as termelétricas em ciclo combinado a gás

³⁴ A própria motivação para a elaboração de balanços energéticos nacionais em diversos países surgiu a partir da importância do planejamento estratégico de recursos, principalmente com relação à dependência externa de petróleo e seus derivados, na matriz energética nacional, adquirida como consequência dos choques de petróleo ocorridos na década de 70.

natural, os geradores a diesel, as novas termelétricas a carvão (com queima em elevadas condições de pressão e temperatura) e a hidroelétricas.

No entanto, a partir de 2001, seguindo a tendência das principais agências e organizações responsáveis pela elaboração de balanços energéticos internacionais³⁵, o BEN passou a adotar o critério teórico de conversão para energia hidráulica, ou seja, 0,086 tEP/MWh. Todavia, continua-se a aplicar o critério de equivalência térmica para a energia nuclear, solar, eólica e geotérmica. No BEN, como não são consideradas as fontes solar, eólica e geotérmica, dada a magnitude da quantidade de energia elétrica gerada, somente a energia nuclear utiliza o critério de conversão térmica, que corresponde a uma eficiência de 33,5% para a geração de eletricidade.

O Petróleo e derivados

A produção corresponde à energia primária que se obtém a partir da extração do petróleo bruto³⁶, dentro da fronteira nacional, o que inclui a produção offshore. Não são incluídos na produção os líquidos de gás natural. A produção abrange somente a quantidade comercializável, excluindo-se os volumes reinjetados na formação, que são contabilizados na linha “reinjeção”. Cabe ressaltar que o óleo de xisto também é contabilizado na produção de petróleo.

É importante notar que, diferente do BEN (que considera somente o petróleo bruto no setor de oferta), a IEA/Eurostat contabilizam os líquidos de gás natural, aditivos, oxigenados e outros hidrocarbonetos juntamente com o óleo cru, no setor de oferta de petróleo.

Vale notar, portanto, que as UPGNs não são incluídas entre os centros de transformação da IEA/Eurostat, sendo consideradas o que de fato são: centros de separação físico-química somente.

O Gás natural

A produção de gás natural consiste na produção de gás natural úmido. Inclui, ainda, a quantidade de gás que é re-injetada no poço ou queimada no próprio campo. A produção, menos as parcelas re-injetadas e queimadas mais a importação resulta na oferta interna.

³⁵ São exemplos dessas agências, a Agência Internacional de Energia, o Conselho Mundial de Energia e a Organização Latino Americana de Energia.

³⁶ Os condensados são contabilizados na cadeia do gás natural.

o Carvão Mineral

No Brasil o carvão só é economicamente lavrável nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Santa Catarina, sendo que somente nos estados de SC e RS é que há a ocorrência de carvão passível de coqueificação. A produção brasileira de carvão metalúrgico é bastante reduzida, principalmente após a profunda redução dos subsídios a partir de 1988, sendo caracterizada por um carvão coqueificável pobre, de baixo conteúdo energético, permitindo algum beneficiamento e um transporte à curta distância apenas. (Borges, 2004).

Da mesma forma que o carvão metalúrgico, devido à elevada parcela de material inerte (argilitos e outros), ao alto teor de cinzas (de 20% a 54%) e às múltiplas variações de teores de enxofre, o carvão vapor brasileiro é caracterizado por um conteúdo energético baixo, admitindo um beneficiamento limitado e que não permite transporte a longas distâncias. Dessa forma, a produção de carvão energético é voltada apenas para o consumo do parque termelétrico já instalado e de indústrias petroquímicas e de celulose praticamente em boca de mina³⁷.

Finalmente, devido à relativa concentração da produção de carvão mineral nacional, são realizadas análises da composição química dos carvões em algumas usinas de beneficiamento, na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) e no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Baseada nessas análises a metodologia do BEN identifica 10 tipos de carvão vapor, de acordo com seus poderes caloríficos, e dois tipos de carvão metalúrgico, o nacional e o importado. Os poderes caloríficos adotados para o carvão metalúrgico nacional e importado são fornecidos pela Companhia Siderúrgica Nacional.

A tabela a seguir apresenta a classificação dos tipos de carvão e seus respectivos poderes caloríficos, obtidos a partir desses centros de pesquisa e utilizados na conversão para a unidade comum (tEP).

³⁷ Com a desregulamentação do setor carbonífero, fazendo com que os preços passassem a ser fixados pelo mercado, e o fim do subsídio ao transporte de carvão, esse energético perdeu seu grande fator de competitividade frente ao óleo combustível. Assim, o carvão mineral brasileiro, por problemas de qualidade e más condições geológicas das jazidas, passou a perder boa parte do seu mercado consumidor industrial, com destaque para a indústria cimenteira, grande consumidora deste energético, que passou a substituí-lo por outras fontes de energia. Mas, tem havido consumo de resíduos de carvão por cimenteiras na região de siderúrgicas. Isto ocorre em Cantagalo junto da CSN (SEIPE, 2006).

Tabela 13: Tipos de carvão mineral e poderes caloríficos

Classificação no BEN	Poder calorífico (kcal/kg) ¹
Carvão vapor 3100	2950
Carvão vapor 3300	3100
Carvão vapor 3700	3500
Carvão vapor 4200	4000
Carvão vapor 4500	4250
Carvão vapor 4700	4450
Carvão vapor 5200	4900
Carvão vapor 5900	5600
Carvão vapor 6000	5700
Carvão vapor s/ especificação	2850
Carvão metalúrgico nacional	6420
Carvão metalúrgico importado ²	7400

Fonte: MME, 2005.

o Renováveis e resíduos

Seguindo o mesmo raciocínio dos balanços da IEA e da Eurostat, é possível classificar as fontes renováveis e os resíduos apresentados no BEN em dois grandes grupos:

- Grupo I: Correspondem às fontes que necessitam ser transformadas para oferta de energia primária. São elas, a energia hidráulica, fotovoltaica, solar (térmica), ondas e marés. No BEN, somente a energia hidráulica é considerada.
- Grupo II – Fontes que possuem usos múltiplos no setor de transformação e consumo final e que, devido a sua natureza, podem ser estocadas de maneira convencional. No BEN, correspondem ao carvão vegetal, a lenha e aos produtos da cana.

Para a lenha e o carvão vegetal são utilizadas informações fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), como, por exemplo, o documento “Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura - PEVS” e a PIA – Pesquisa Industrial Anual, grandes indústrias relacionadas a estes energéticos e pelo Projeto Matriz Energética Brasileira, elaborado pelo MME/IPEA³⁸ (EPE, 2006).

Os dados referentes à cana-de-açúcar, álcool e bagaço de cana são fornecidos pelo Departamento do Alcool e do Açúcar (Ministério da Agricultura), pelas Entidades de Classe e Indústrias do Setor.

³⁸ Projeto instituído no início dos anos 70, de forma a rever a matriz energética brasileira periodicamente. No entanto, foi interrompido antes mesmo dos primeiros resultados parciais, devido ao 1º choque do petróleo (Cima, 2006).

Os produtos da cana-de-açúcar são obtidos a partir da cana esmagada para produção de álcool e açúcar. Assim, são considerados como produtos primários: caldo de cana, melaço, bagaço, pontas, folhas e olhaduras, e produtos secundários o álcool anidro e o hidratado. De cada tonelada de cana esmagada para produção de álcool são obtidos cerca de 730 kg de caldo. Vale notar que a água utilizada na lavagem da cana não é considerada (esta quantidade de caldo obtido não é “contaminado” pela água utilizada na lavagem da cana) Quanto ao bagaço, é considerado apenas o de uso energético.

De acordo com a NT COBEN 04/1988 (MME, 1988a), a unidade primária da lenha utilizada no BEN é o metro cúbico estéreo (m³ st)³⁹. Para a lenha de uso residencial (lenha catada), é adotada densidade de 300 kg/m³ st, valor médio identificado em pesquisa realizada pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC em localidades do Estado de Minas Gerais. Para a lenha comercial, o BEN utiliza a densidade de 390 kg/m³ st, segundo dados fornecidos pela BRACELPA. O poder calorífico inferior adotado, tanto para a lenha catada quanto para a lenha comercial, é de 3.100 kcal/kg.

Para o carvão vegetal, o BEN adota a densidade de 250 kg/ m³ e o poder calorífico inferior de 6.460 kcal/kg.

Bunkers

O bunker marítimo internacional é contabilizado nas exportações. Para a elaboração do Balanço Energético Nacional a contabilização do bunker marítimo internacional é feita de acordo com a nacionalidade do navio, ou seja, o combustível fornecido para navios nacionais é contabilizado como consumo do transporte hidroviário, enquanto que o combustível fornecido a navios estrangeiros é contabilizado como bunker marítimo internacional. A metodologia do BEN não estabelece diferenciação entre o tipo de rota (internacional/nacional e costeira). De forma similar, a contabilização do bunker aéreo internacional é feita com base na nacionalidade da empresa aérea, ou seja, o consumo de querosene de aviação por empresas nacionais é incluído em consumo do transporte aéreo, enquanto que o querosene de aviação

³⁹ Metro estéreo é um metro cúbico de madeira não uniforme, empilhada, contando os vãos entre as peças (CEPEA, 2003). Os problemas que envolvem as variações do fator de empilhamento são grandes ocasionando erros sistemáticos na estimativa do volume empilhado quando se realiza um inventário florestal. Para maiores informações, ver Couto e Bastos (1988).

consumido por empresas estrangeiras é contabilizado como bunker aéreo. Adotam-se estes procedimentos em relação ao bunker pois se alega que há muita dificuldade em se determinar a divisão em cabotagem e longo curso (múltiplos portos) para navios, e em voo doméstico e voo internacional (múltiplas escalas) para aviões. Assim, por falta de dados, bunker, na metodologia nacional, é todo o combustível fornecido a navios e aeronaves de nacionalidade estrangeira (Patusco, 2006).

Ressalta-se que nos balanços da Agência Internacional de Energia (IEA) e da Eurostat, como exposto no capítulo anterior, o bunker é apresentado separadamente e se considera o combustível utilizado por todas as embarcações em rotas internacionais, com exceção de navios pesqueiros. No BEN, somente navios de bandeira estrangeira são considerados e as informações disponíveis referem-se ao fornecimento de óleo diesel e óleo combustível. O querosene de aviação fornecido a aeronaves estrangeiras também é considerado como bunker e contabilizado nas exportações. É interessante notar que, embora a lógica de contabilização do consumo de combustíveis para voos internacionais seja análoga à de contabilização do consumo de combustível para viagens marítimas internacionais, as organizações internacionais não costumam contabilizá-lo em seus balanços energéticos. Apenas a Divisão de Estatística das Nações Unidas inclui os dois tipos de consumo na sua matriz de oferta de energia.

Constata-se, portanto, que a metodologia do BEN diverge da metodologia internacional (IPCC/IEA/Eurostat), por estabelecer como critério de separação a nacionalidade da empresa de transporte. Dessa forma, o consumo de combustível de um navio brasileiro, mesmo que em rota internacional, é contabilizado como consumo do transporte hidroviário. De acordo com a metodologia IEA/Eurostat, esse consumo seria contabilizado como bunker marítimo internacional, caso o navio estivesse em rota internacional. Da mesma forma, o consumo de combustível de empresas aéreas internacionais que operam em território nacional é contabilizado pelo BEN como bunker aéreo internacional, divergindo da dos critérios estabelecidos pela IEA/Eurostat e pelo IPCC.

Variação de estoques

o Calor e eletricidade

Embora a energia hidráulica se caracterize como uma fonte primária estocável, tendo em vista o fato de a água poder ser armazenada em reservatórios de hidrelétricas, o BEN a classifica como não-estocável, uma vez que contabiliza somente

a quantidade de água turbinada para a geração de eletricidade (assumindo um rendimento de 100%), não levando em conta a parcela da água que permanece estocada nem a parcela correspondente à energia vertida. A metodologia do BEN é a mesma utilizada pela IEA e Eurostat para a contabilização da energia hidráulica para geração de energia elétrica. A metodologia IEA/Eurostat define um ponto de contabilização estatística das fontes de energia, que deve corresponder ao ponto, na cadeia do energético, onde é factível a utilização direta da fonte no fluxo de energia. No caso da hidroeletricidade, isto significa que o ponto de contabilização estatística corresponde aos terminais dos geradores elétricos, tendo em vista que a energia mecânica contida no fluxo da água dos rios não é utilizada diretamente na cadeia da eletricidade. Cabe notar, no entanto, que há no BEN uma seção que trata dos recursos e reservas energéticas, na qual é apresentado o potencial hidrelétrico – definido como o potencial possível de ser técnica e economicamente aproveitado nas condições atuais de tecnologia, medido em termos de energia firme⁴⁰. O potencial hidrelétrico inventariado compreende as usinas em operação ou construção e os aproveitamentos disponíveis estudados nos níveis de inventário, viabilidade e projeto básico. De acordo com o MME, o potencial estimado situa-se em até cerca de 35% abaixo do valor inventariado.

Como visto anteriormente (no item 2.4.1, letra A), a Olade possui um método de contabilização diferente, que leva em conta o fluxo de água vertido. Este método utiliza uma equação para estimar o balanço de fluxos de água anuais em uma barragem: estoque inicial na represa em janeiro, em dezembro, o fluxo turbinado, o fluxo nos vertedouros, nas comportas, o evaporado e o de infiltração. Como exposto anteriormente, sendo a mensuração destes fluxos possível, este tratamento mostra-se válido, principalmente no caso de países com grandes participações de energia hidráulica na matriz. Tem-se, assim, uma noção da quantidade de energia hidráulica estocada, o que pode ajudar na formulação de políticas e no planejamento energético do país.

⁴⁰ Energia firme do valor máximo de energia capaz de ser suprido continuamente por um sistema, com probabilidade de atender a demanda de 95%, de acordo com a repetição das séries hidrológicas históricas. A energia firme de uma usina é o valor médio que ela pode gerar durante o período crítico. (CATAPAN, 2001).

O Petróleo e derivados, Nuclear e Renováveis

Além da manutenção de estoques operacionais de petróleo e derivados, destaca-se a contabilização do urânio em fase de enriquecimento, como estoque de U_3O_8 , haja visto que o tempo de processamento dessa transformação é, em média, de 21 meses. Assim, a cada ano, é estornada do estoque de U_3O_8 , a parcela correspondente à produção de urânio contido no UO_2 , acrescida das perdas na transformação, que correspondem a cerca de 1,5% da produção. Também é importante ressaltar a importância do registro da variação dos estoques de produtores de álcool etílico, cuja finalidade consiste em compensar flutuações na produção deste energético, além do fato de que o álcool depende da safra de cana-de-açúcar para ser obtido, ou seja, não tem sua produção contínua, como no caso da gasolina. Portanto, no período entressafra, tem que ser estocado⁴¹.

Não-aproveitada

Quantidade de energia que, por motivos técnicos ou econômicos, não é utilizada. Consiste basicamente na quantidade de gás natural que não é processada nem reinjetada, sendo queimada nos flares. Possui sinal negativo.

Reinjeção

Quantidade de gás natural que é reinjetado nos poços de petróleo e/ou gás para manutenção da pressão, de modo a permitir um melhor fator de recuperação. Também possui sinal negativo.

4.3.2. Setor de transformação

Conforme a tabela 10, observa-se que o setor de transformação do BEN apresenta alguns centros distintos dos demais balanços energéticos internacionais.

Na linha “Outras transformações”, contabiliza-se a produção de fontes de energia secundárias que não ocorre nos demais centros. Esse segmento também serve para amenizar ajustes estatísticos relevantes nos fluxos de algumas fontes. Os principais processos contabilizados neste segmento são:

⁴¹ A infra-estrutura de transporte para escoamento deste combustível é considerada suficiente, ao contrário da deficiência em relação aos estoques estratégicos, considerados importantes para o período entressafra. A formação de estoques estratégicos foi prevista na Lei 8.176/91 que institui o Sistema Nacional de Estoques de Combustíveis e o Plano Anual de Estoques Estratégicos. Porém esta lei nunca chegou a ser implementada. Para maiores informações, ver Souza (2006).

- Retorno de energéticos obtidos como subprodutos da indústria petroquímica - GLP, gasolina e óleo diesel, por exemplo – quando do processamento da nafta. Esses efluentes retornam às refinarias, onde são consumidos ou processados para adquirirem especificação adequada.
- Recuperação de condensados de gás natural que não ocorre nas plantas de gás natural - mas nas atividades de operação e limpeza de gasodutos - também é contabilizada em “outras transformações”.
- Transferência de uma parcela de “petróleo” para “óleo combustível” em razão de usos diretos de óleo de xisto (Paraná).
- Transferências realizadas entre refinarias, de produtos de petróleo que sofrem re-especificação ou que são re-utilizados como carga de refinaria, participando novamente do processo de refino. Cabe destacar que se trata de quantidades estimadas, uma vez que a Petrobrás não fornece dados de transferências entre suas refinarias, por tratar suas refinarias como se fossem uma só.

A agregação de diversas atividades em um único segmento do setor de transformação não permite identificar os diferentes fluxos de energéticos relacionados com essas atividades. A metodologia da IEA/Eurostat, por sua vez, classifica essas atividades dentro do setor de transformação, através do segmento chamado “*transferências, trocas e retornos*”, onde são contabilizadas separadamente três atividades, conforme exposto no capítulo anterior. Ressalta-se aqui que, apesar dessa maior agregação na linha “outras transformações”, o BEN adota um nível maior de desagregação quando trata, separadamente, os centros “UPGNs”, “carvoarias” e “destilarias”, que não são contemplados nos balanços da IEA/Eurostat e ONU (mas o são na metodologia Olade). Em relação às UPGNs, como foi explicitado anteriormente, trata-se de um centro de separação, e não de transformação. Quanto às destilarias, o BEN mostra-se mais adequado e preparado à realidade atual, aonde o álcool vem se tornando um energético importante na matriz mundial. Já quanto às carvoarias, é importante seu destaque em linha específica do balanço, pois lenha e carvão vegetal são energéticos bastante representativos na matriz energética brasileira (13,2% da matriz energética em 2004, segundo BEN 2006).

o Calor e Eletricidade

A distinção entre centrais elétricas de serviço público e centrais elétricas autoprodutoras está na atividade final da empresa. De acordo com a metodologia do BEN, centrais elétricas de serviço público são usinas públicas ou privadas, cuja atividade principal é a geração de energia elétrica. Centrais elétricas autoprodutoras são unidades de geração de energia elétrica em empresas públicas ou privadas, onde a produção de eletricidade não é a atividade principal. Ao invés, a geração dos autoprodutores tem como função suprir a demanda de energia elétrica, havendo a possibilidade ou não de comercialização do excedente gerado. Dessa forma, o autoprodutor pode ou não estar conectado a uma rede de transmissão de energia elétrica. A esse motivo, deve-se a grande dificuldade de obtenção de dados de geração de autoprodutores, principalmente nos segmentos de produção mais descentralizados como é o caso da indústria de cerâmica, têxtil e outras.

- Tratamento da cogeração no BEN

Por se tratar de um processo conjunto de produção de eletricidade e calor, deve-se determinar as parcelas de combustível queimado na caldeira para cada fonte de energia. Normalmente, os dados de eletricidade gerada e de consumo total de combustível são informados pelo autoprodutor, cabendo aos responsáveis pela elaboração do BEN a tarefa de calcular as parcelas utilizadas para geração de calor e de eletricidade. A metodologia utilizada no BEN consiste em determinar o consumo de combustível por fonte utilizado para geração de eletricidade com base no rendimento elétrico da central autoprodutora. Obtendo-se a energia necessária por fonte para a geração de energia elétrica, aloca-se o restante da energia consumida para a geração de calor. A figura abaixo apresenta os procedimentos utilizados para o cálculo do consumo de energia por fonte para geração elétrica. Primeiramente é calculado o consumo total de energia para geração elétrica com base no rendimento elétrico da central autoprodutora. Nos casos em que o rendimento elétrico não é informado, utiliza-se um rendimento de 50%. Em seguida são calculadas as parcelas percentuais (mix) de consumo de energia por fonte. Finalmente é calculado o consumo de energia por combustível para geração elétrica dividindo-se proporcionalmente o consumo de energia para geração elétrica pelas parcelas correspondentes a cada combustível. Ressalta-se aqui, mais uma vez, que este rendimento adotado de 50% (índice também adotado pela Olade) é sobredimensionado, visto que: turbinas atuando em ciclo Rankine

possuem eficiência máxima perto de 35% (Ruyck *et al*, 2005), turbinas a gás de menor porte conseguem converter em eletricidade algo em torno de 22% a 35% do combustível utilizado, e as de maior porte chegam a 40%, enquanto que em motores aplicados a sistemas de cogeração a eficiência varia de 32% a 40% (Mata, 2001).

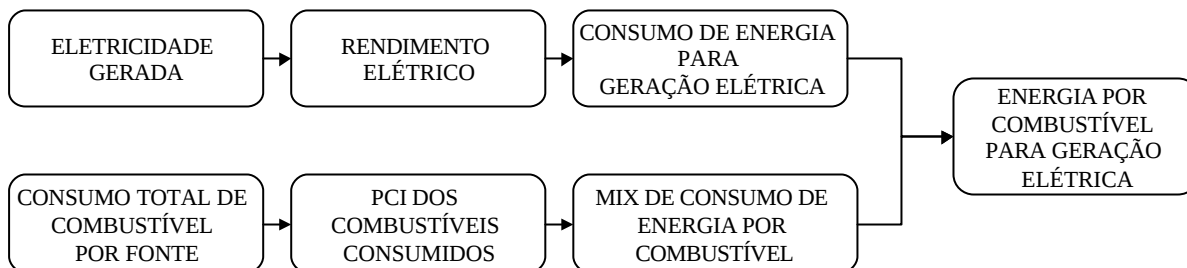


Figura 9: Procedimentos para o cálculo do consumo de combustíveis para geração elétrica em centrais cogeneradoras.

Fonte: Elaboração própria a partir de MME, 2005.

Finalmente, o restante do consumo energético, utilizado para geração de calor é atribuído proporcionalmente a cada fonte de energia de acordo com seus respectivos poderes caloríficos e contabilizado como consumo final do setor ao qual o autoprodutor pertence.

o Petróleo e derivados

É importante destacar que a parcela de líquidos de gás natural que entra nas refinarias é apresentada de forma separada na matriz de dados energéticos do BEN. Sai como produto das plantas de gás natural e de outras transformações⁴² e entra como insumo nas refinarias sob a classificação de outras fontes primárias.

Cabe destacar que na publicação do BEN, o gás natural úmido é agregado ao gás natural seco, utilizando-se seus respectivos conteúdos energéticos. Da mesma forma, asfalto, lubrificantes e solventes são agregados sob a classificação “outras secundárias de petróleo”.

A coleta de dados de produção de derivados de petróleo é realizada pelo MME a partir de registros administrativos enviados pela Petrobras e pelas demais refinarias de petróleo em operação no país. Cabe destacar, no entanto, que a Petrobrás trata as suas refinarias como se fossem uma só. Dessa forma, há determinadas transferências de produtos entre refinarias que não são informadas, o que dificulta o

⁴² Segundo informações coletadas junto ao Ministério de Minas e Energia a parcela contabilizada na atividade “outras transformações” consiste em recuperações de condensados de gás natural resultante da operação e da “limpeza” de gasodutos.

trabalho de contabilização e gera imprecisões estatísticas. Assim a linha “outras transformações” também é utilizada para realizar ajustes no fluxo dessa fonte de energia.

Como o petróleo bruto consiste em uma mistura de uma grande variedade de hidrocarbonetos, sua composição química e conseqüentemente suas propriedades, dependem da localização de onde é extraído. Assim, cada tipo de petróleo apresenta suas próprias características, como grau API, densidade, viscosidade, conteúdo de enxofre e poder calorífico.

A PETROBRAS, por meio dos setores de controle de qualidade das suas refinarias de petróleo e do CENPES, mantém atualizadas as características físico-químicas de todos os seus produtos, estabelecendo ao final de cada ano, coeficientes médios para cada um. Dessa forma, são apresentados no Balanço as massas específicas e poderes caloríficos inferiores como mostra a tabela a seguir. Assim, o BEN utiliza o poder calorífico inferior informado pela Petrobras para determinar o conteúdo energético do petróleo e seus derivados e em seguida realiza a transformação para a unidade comum (tEP), utilizando o valor de 10.000 Mcal/tEP, adotado internacionalmente.

O fluxo reverso da indústria petroquímica, que corresponde ao subproduto acabado ou semi-acabado do processo de fabricação de produtos petroquímicos e que retorna à refinaria para processamento, *blending* ou comercialização, é contabilizado no BEN na linha “outras transformações”. Desta forma, da nafta que vai para a indústria petroquímica, uma parte é transformada na coluna “outros energéticos de petróleo” e parte volta para as refinarias, sob a forma de óleo diesel, óleo combustível, gasolina e GLP.

Há uma parcela de derivados que, tendo sido recolhidos após seu consumo final, passam uma segunda vez pela refinaria, como, por exemplo, os óleos lubrificantes reprocessados. No balanço da Eurostat estes produtos são classificados como *recovered products* e contabilizados após o consumo final (graxas, lubrificantes, etc.) na matriz de oferta, enquanto que o balanço da IEA os contabiliza na matriz de transformação sob a classificação de transferência (*transfers*). No BEN não há informação sobre estes produtos, uma vez que a ANP não fornece este dado ao Ministério de Minas e Energia.

o Gás natural

As plantas de gás natural representam um centro cuja finalidade principal é a separação do gás natural úmido do gás natural seco⁴³, para o seu posterior transporte, distribuição e consumo final. No entanto, a atividade de processamento de gás natural leva à produção de outros energéticos, como a gasolina, o GLP e a nafta. Dessa forma, a metodologia utilizada pelo MME para a contabilização da quantidade de gás natural úmido que entra nas plantas de gás natural consiste em obter-se o conteúdo energético de produtos gerados nesse centro de transformação e em seguida realizar a conversão para unidades comerciais através do poder calorífico do gás natural úmido.

As massas específicas e poderes caloríficos inferiores referentes ao gás natural apresentados no Balanço, da mesma forma que ocorre para o petróleo e seus derivados, são fornecidos pela PETROBRAS que, por meio dos setores de controle de qualidade das suas refinarias e do CENPES, mantém atualizadas as características físico-químicas dos seus produtos, estabelecendo ao final do ano, coeficientes médios para cada um dos energéticos observados em cada ano.

O BEN destaca como um de seus centros de transformação as usinas de gaseificação. Estes centros são responsáveis pela produção de gás canalizado (também chamado de gás manufaturado) a partir de uma variedade de possíveis insumos. No início da década de 70, a produção de gás manufaturado tinha como insumos a nafta e o carvão metalúrgico, com a conseqüente produção de coque de carvão mineral, além do gás. A partir de 1975, o gás manufaturado passou a ser produzido somente a partir de nafta, até a introdução da utilização do gás natural em conjunto com a nafta em 1983. Ao final da década de 90, devido à substituição pelo gás natural, a produção do gás manufaturado entrou em declínio, se extinguindo em 2003.

o Carvão Mineral

As coquearias representam um centro de transformação que tem como finalidade principal a produção de coque de carvão mineral – utilizado como redutor em

⁴³ Gás úmido é aquele que entra nas UPGNs contendo hidrocarbonetos pesados e comercialmente recuperáveis sob a forma líquida (LGN). Gás seco é o produto do processamento do gás úmido, o qual não contém líquidos comercialmente recuperáveis (LGN – líquidos de gás natural). Ao processar o gás natural úmido nas UPGNs, são obtidos os seguintes produtos: (i) o gás seco (também conhecido como gás residual); e (ii) o líquido de gás natural (LGN), que contém propano (C3) e butano (C4) (que formam o gás liquefeito de petróleo - GLP) e a gasolina natural (C5+) (ANP, 2007).

processos industriais - a partir do carvão metalúrgico. Também é produto desse centro de transformação o gás de coqueria e outras fontes secundárias, como o alcatrão. Os dados de produção e consumo de coque, assim como as informações de produção de gás de coqueria e de alcatrão são obtidos pelo MME diretamente das Indústrias (CSN, USIMINAS, AÇOMINAS, CST, COSIPA e outras).

Como foi destacado antes, as usinas siderúrgicas integradas possuem um complexo sistema de reaproveitamento de efluentes energéticos, resultantes dos processos de produção de coque (coquerias), de redução do minério de ferro (alto-fornos) e de produção de aço (aciarias). Cada um desses centros de processamento gera efluentes energéticos que são utilizados como fontes de calor e de geração de energia elétrica em diversos processos, de forma a aumentar a eficiência energética global das siderúrgicas. Por exemplo: a redução do minério de ferro em alto-fornos produz, além do ferro-gusa, o gás de alto-forno, utilizado normalmente como fonte térmica no próprio alto-forno ou em outros processos adjacentes⁴⁴.

A metodologia utilizada pelo BEN consiste em caracterizar as coquerias como um centro de transformação, cujos energéticos secundários consistem no coque de carvão mineral, no gás de coqueria e no alcatrão. Por meio dos questionários preenchidos pelas siderúrgicas, o BEN contabiliza as parcelas de gás de coqueria utilizadas para geração de energia elétrica (centrais elétricas autoprodutoras), consumidas nas próprias coquerias (consumo final do setor energético) e utilizadas nos demais processos industriais (consumo final do setor de ferro gusa e aço).

O BEN, por não apresentar o centro de transformação “alto forno”, como nos balanços Eurostat, ONU e Olade, não contabiliza a transformação do coque em gás de alto-forno, atribuindo todo o coque utilizado no alto-forno ao consumo final industrial. Da mesma forma, toda a produção de gás de alto forno é atribuída à geração de energia elétrica, o que pode subestimar a eficiência de autoprodução de energia elétrica das usinas siderúrgicas e superestimar o consumo final da siderurgia (pois está atribuindo todo o consumo de coque à siderurgia, quando, na verdade, ela somente consumiu a parte do coque que foi utilizada para redução). Dessa forma, a inclusão desse centro de transformação no BEN, além de permitir uma maior compatibilidade

⁴⁴ O gás de alto forno é mais adequado para reaproveitamento de calor do que para geração de energia elétrica, devido ao seu baixo poder calorífico, consequência da grande quantidade de N₂ em sua composição.

com a metodologia dos balanços internacionais, garantiria uma melhor contabilização dos fluxos energéticos para essa atividade.

O Renováveis e resíduos

As carvoarias representam um centro de transformação responsável pela transformação da lenha em carvão vegetal, por meio da pirólise – ou carbonização – da lenha fora do contato do ar. A produção de carvão vegetal é calculada a partir dos dados de consumo setorial de carvão vegetal⁴⁵, levando-se em conta um percentual referente a perdas de distribuição e armazenagem⁴⁶. Assim, obtém-se a quantidade de carvão vegetal que sai das carvoarias e é contabilizada na linha “Carvoarias”.

A quantidade de lenha utilizada para a produção de carvão é obtida através de um coeficiente de rendimento com relação ao carvão produzido. Esse coeficiente de rendimento corresponde à razão entre a massa do carvão vegetal produzido e a massa de lenha utilizada como insumo. A metodologia utilizada para elaboração do balanço considera um rendimento de cerca de 25,3%, ou seja, para cada tonelada de lenha que entra na carvoaria, são produzidos 253 kg de carvão vegetal. Como o conteúdo energético do carvão vegetal e da lenha comercial utilizados na elaboração do BEN correspondem a 6460 kcal/kg⁴⁷ e 3100kcal/kg, respectivamente, o coeficiente de rendimento em termos energéticos corresponde a 52,7%, ou seja, para cada 1 tEP de lenha, é produzido 0,527 tEP de carvão vegetal.

As destilarias são um centro de transformação responsável pela produção de álcool anidro e hidratado a partir do caldo da cana de açúcar e do melaço. Os dados de produção de álcool anidro e hidratado são obtidos a partir das seguintes fontes de informação: (i) A ANP, que dispõe de sistemas de informações que consolidam os dados de vendas das Distribuidoras, por combustível, bem como os dados de produção e estoques de derivados de petróleo; (ii) O Departamento Sucroalcooleiro do Ministério da Agricultura, que acompanha a produção, saídas e

⁴⁵ Os dados de consumo setorial industrial de carvão vegetal são obtidos através do sistema de coleta de informações pela internet, desenvolvido pelo MME, chamado “Entrevista com o fornecedor”. Já o consumo dos outros setores é calculado por interpolações e extrapolações dos dados do projeto Matriz Energética Brasileira, de 1970, dos censos do IBGE e mediante correlações com o consumo setorial dos outros energéticos (EPE, 2006).

⁴⁶ A metodologia não explicita qual é este percentual de desconto sobre o consumo.

⁴⁷ BEN 2006. O poder calorífico empregado no BEN é baseado em pesquisas efetuadas nas Companhias Siderúrgicas Belgo Mineira e Acesita.

estoques de álcool dos produtores; (iii) a Secretaria de Comércio Exterior, que registra as importações e exportações brasileiras de mercadorias e; (iv) a DATAGRO, entidade especializada em questões de açúcar e álcool e que acompanha a evolução do consumo de combustíveis veiculares junto aos produtores e distribuidores.

o Energia nuclear

A metodologia utilizada pelo Ministério de Minas e Energia para a contabilização da energia nuclear utilizada para geração de energia elétrica consiste em apresentar o ciclo do combustível nuclear, contabilizando a energia primária contida no *yellowcake* (U_3O_8), antes do enriquecimento, a energia secundária contida no urânio enriquecido na forma de dióxido de urânio (UO_2) e finalmente a energia elétrica gerada a partir da fissão do combustível nuclear nas centrais elétricas nucleares. A contabilização da energia contida no combustível nuclear é realizada da seguinte maneira: a quantidade (em toneladas) de *yellowcake* produzida é transformada em tEP através de um coeficiente de equivalência informado (fator de conversão) pelas Indústrias Nucleares do Brasil e que, no BEN 2004 correspondeu a 10,139 tEP/t de U_3O_8 . A produção de urânio contido no UO_2 , também em toneladas, é convertida para tEP também utilizando-se um coeficiente de equivalência informado pelas Indústrias Nucleares do Brasil e que, no BEN 2004 correspondeu a 73,908 tEP/t de urânio contido no UO_2 . Tais coeficientes de equivalência levam a perdas energéticas de transformação de U_3O_8 em urânio contido no UO_2 de cerca de 1,5%⁴⁸.

Devido ao grande número de atividades envolvidas na transformação do urânio natural (*yellowcake*) em urânio enriquecido contido em pastilhas de UO_2 componentes dos elementos combustíveis, o tempo de processamento dessa transformação, segundo o MME, é, em média, de 21 meses. Em função disso, todo o urânio que estiver em processamento no ciclo do combustível é registrado no BEN como estoque de U_3O_8 . A parcela correspondente à produção de urânio contido no UO_2 dos elementos combustíveis, acrescida de cerca de 1,5% de perdas na transformação, é estornada a cada ano do estoque de U_3O_8 .

⁴⁸ Em 2003 (MME, 2004), a produção de U_3O_8 foi de 442 t, ou 4483 tEP ($442 \times 10,139$). A produção de urânio contido no UO_2 foi de 60 t, ou 4415 tEP ($60 \times 73,908$). Ou seja, as perdas energéticas na transformação foram de 1,5% ($4415/4483$).

4.3.3. Setor de consumo final

O setor de consumo final da matriz de dados energéticos do BEN é dividido em consumo final energético e consumo final não energético. O consumo final não energético do BEN relaciona os energéticos utilizados para fins onde o conteúdo energético do produto não é a característica fundamental. Fazem parte desta categoria os seguintes casos:

- Quantidades de gás natural seco, gás de refinaria e nafta utilizados pela indústria química e petroquímica para a síntese de produtos como plásticos, borrachas, fertilizantes e pesticidas.
- Derivados de petróleo utilizados em atividades não energéticas como querosene, asfalto, solventes, lubrificantes e outros.
- Parcela de álcool anidro e hidratado que não é consumida no setor de transportes.

O consumo final do energético, por sua vez, é dividido nos seguintes segmentos: setor energético, residencial, comercial, público, agropecuário, transportes e industrial.

O consumo final do setor energético engloba toda energia consumida nos centros de transformação e/ou nos processos de extração e transporte interno de produtos energéticos, na sua forma final. É incluída no consumo do setor energético, a energia consumida nas seguintes atividades:

- Extração de carvão mineral – Classificação CNAE 10
- Extração de petróleo e serviços correlatos - Classificação CNAE 11
- Fabricação de coque, combustíveis nucleares, álcool e refino de petróleo - Classificação CNAE 23
- Eletricidade, gás e água quente - Classificação CNAE 40

Importa perceber que, enquanto que a IEA, Eurostat e Olade apresentam o consumo próprio do setor energético dentro do setor de transformação de seus balanços energéticos, o BEN apresenta o consumo do setor energético dentro do setor de consumo final do balanço energético. A principal implicação dessa diferença metodológica está relacionada com o cálculo da eficiência de transformação e de consumo final da economia, no caso de análises comparativas entre metodologias diferentes. Ao se comparar a eficiência de transformação entre o BEN e um balanço da

IEA, por exemplo, deve-se subtrair o consumo do setor energético do total de transformação no balanço da IEA. De forma análoga, deve-se subtrair o consumo final do setor energético do consumo final total do BEN, no caso de uma comparação de eficiência de consumo final.

Trata-se, portanto, de uma diferença metodológica que merece especial atenção nos casos de comparações internacionais de dados energéticos agregados, como o consumo final total, e o total da transformação.

o Carvão mineral

Como mencionado anteriormente, o consumo final de carvão vapor ocorre de forma reduzida e pulverizada nos diversos segmentos do setor industrial. O carvão metalúrgico importado, além de ser utilizado para produção de coque nas usinas siderúrgicas também é consumido diretamente nos setores de cimento, mineração e pelletização, não ferrosos, na indústria química e outras indústrias. A parcela do gás de coqueria que não é utilizada para geração de eletricidade é utilizada para reaproveitamento térmico e, portanto, contabilizada como consumo final do setor de ferro gusa e aço. Todo o coque de carvão mineral, excluindo-se as perdas na distribuição e armazenagem é atribuído ao consumo final industrial (indústrias metalúrgicas).

É importante destacar que uma parcela do coque é transformada em gás de alto-forno, outra parcela é utilizada no processo de redução⁴⁹ e outra é utilizada como fonte térmica para sustentação das reações de redução. Ou seja, o consumo final de coque no setor industrial é, na realidade, a parcela que foi efetivamente utilizada na redução do minério de ferro. No entanto o BEN não estabelece uma separação entre a parcela utilizada como redutor e como fonte térmica, atribuindo todo o seu consumo nas siderúrgicas ao consumo final energético do setor de ferro gusa e aço.

o Renováveis e resíduos

No setor industrial, a maior parcela do consumo de lenha ocorre nos segmentos de alimentos e bebidas, cerâmica e papel e celulose. Com relação ao consumo de produtos da cana, o consumo se dá principalmente no segmento de alimentos e bebidas (bagaço de cana).

⁴⁹ O processo de redução que ocorre nos alto-fornos consome uma parcela do conteúdo de carbono do coque para redução do minério de ferro. Ou seja, parte do carbono do coque, prende-se ao ferro-gusa, com a conseqüente produção de CO e CO₂.

A maior parte do consumo de álcool anidro e hidratado é para uso energético no setor de transportes, embora uma pequena parte seja para consumo não-energético.

Com relação aos outros setores, merece destaque o setor residencial, onde a lenha ainda é muito utilizada em áreas rurais para aquecimento de água e cocção de alimentos. Vale ressaltar que a contabilização da lenha para consumo final é bastante dificultada pelo fato de uma parcela considerável desse energético ser coletada de forma manual para o consumo, impossibilitando registros precisos de quantidade consumida.

Tendo em vista a inexistência de pesquisas de campo periódicas e suficientemente abrangentes que avaliem o consumo de lenha no Brasil⁵⁰, é necessário lançar mão de pesquisas já realizadas pelo IBGE, como a PNAD (IBGE, 2005) – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios e os Censos, que apresentam a posse de fogões por domicílios, e ainda obter outras informações, como o consumo específico de lenha por fogão, para se estimar o consumo de lenha no Brasil.

De acordo com a Nota Técnica COBEN 07/88 (MME, 1988b), que avalia o consumo residencial de lenha e carvão vegetal do Balanço Energético Nacional, até o BEN de 1987, as séries históricas de consumo setorial de lenha registradas no Balanço foram estimadas com base no Censo de 1970, tendo, portanto, apenas um ano de referência. Acrescido a isto, ainda segundo a NT COBEN 07/88, em 1976 o MME recebeu a recomendação de aumentar o consumo de lenha em alguns setores do Balanço a fim de que a participação do petróleo na oferta interna de energia decrescesse. Acreditava-se, portanto, que as séries de consumo setorial de lenha poderiam estar acumulando desvios significativos.

A partir de 1985, com a publicação do Censo de 1980 pelo IBGE, a realização de pesquisas pelas equipes Estaduais de Balanços Energéticos e informações da pesquisa industrial do CNP, foi possível uma reavaliação, por parte do MME, das séries históricas do consumo setorial de lenha. Verificou-se, na época que as séries históricas, de fato, vinham acumulando desvios significativos.

Com relação ao setor residencial, embora houvesse bastante coerência entre os resultados obtidos a partir dos Censos de 1970 e 1980, uma nova série para o

⁵⁰ Pesquisas de campo sobre o uso deste energético foram realizadas esporadicamente em alguns anos e limitadas à alguns Estados da União e universo amostral incompleto.

consumo de lenha para cocção de alimentos foi estimada pelo MME, tomando por base as seguintes informações disponibilizadas nas fontes citadas acima:

- Número de domicílios
- Número de fogões por tipo de combustível
- Consumo específico de cada combustível
- Número de pessoas por domicílio
- Rendimento de cada tipo de fogão
- Consumo médio em energia útil

Vale ressaltar que, além das informações acima, a metodologia de cálculo do consumo de lenha do BEN assume algumas hipóteses para estimar o consumo residencial de lenha para cocção. Para a variável ‘domicílios com mais de um fogão’, por exemplo, obtida nas pesquisas citadas acima, admite-se dois fogões. Ademais, na medida em que os dados das pesquisas referem-se a um determinado ano é necessário fazer extrapolações e interpolações para se atualizar a série histórica. Desta forma, algum grau de arbitrariedade sempre estará presente na avaliação do consumo final deste energético.

5. Padronização Metodológica de Balanços Energéticos e Impactos no uso de Indicadores

5.1. Introdução aos Indicadores Energéticos

Como resultado das crises do petróleo nos anos 70 e 80, os países procuraram reduzir a dependência do óleo importado⁵¹. Ainda hoje, a segurança energética mantém-se como fator crítico no debate internacional. Além disso, as questões ambientais surgiram como preocupações crescentes (e reconhecidas como estranguladoras do crescimento), e as emissões de gases do efeito estufa provenientes do setor energético, por exemplo, ilustram os desafios adicionados ao debate especializado (IEA, 2004). A economia de energia que se seguiu após as crises energéticas mostrou que o crescimento econômico pode ser desacoplado do uso de energia, assim como as emissões de CO₂. Além disso, percebeu-se que o custo de economizar um determinado montante de energia é menor que produzir este mesmo montante (Swisher *et al*, 1997). Assim, sabe-se que, devido aos avanços tecnológicos e a uma maior compreensão dos efeitos e impactos da energia e dos sistemas energéticos, um país em desenvolvimento hoje pode realizar a transição de uma economia agrícola a uma industrial com custos menores e menos dano ambiental em comparação ao processo ao qual os atuais países desenvolvidos se submeteram (Vera e Langlois, 2007). Desta forma, entende-se a importância de induzir eficiência energética e procurar um mix energético mais limpo e diversificado.

Assim, de forma a alcançar estes objetivos, necessita-se de ferramentas de análise que forneçam informações a respeito dos aspectos econômicos, sociais e ambientais da produção e do consumo de energia. (Cima, 2006). Os indicadores de energia descrevem a ligação entre o uso de energia e a atividade humana em uma estrutura desagregada (Schipper *et al*, 2001). São, essencialmente, medidores do consumo de energia e dos fatores que geram este consumo. Através deles, pode-se, por exemplo, construir razões de energia consumida por unidade de uma determinada atividade (intensidade energética) de forma a calcular mudanças na eficiência energética. Ou seja, seu uso e análise permitem identificar tendências em meio a

⁵¹ Ver capítulo 2 deste trabalho.

informações desagregadas e observar como o uso de energia e as emissões de gases causadores do efeito estufa são moldados por fatores técnicos e econômicos, como novas tecnologias, estrutura econômica e preços da energia. Seu uso também permite comparações internacionais, fundamentais para identificação de potenciais para redução de intensidade energética, e, assim, embasar o desenvolvimento de políticas nacionais que persigam estes potenciais (Farla e Blok, 2001). Enfim, indicadores ajudam na mensuração do progresso do desenvolvimento energético sustentável. Para isso, são necessárias informações detalhadas sobre a economia e as atividades humanas, ou seja, indicadores baseados em níveis menores de desagregação⁵². Como contra-exemplo, cita-se o indicador de uso de energia em relação ao Produto Interno Bruto (PIB). Como esta última medida macroeconômica agrega vários setores e atividades, com diferentes intensidades energéticas para cada, se houver mudanças no mix de atividades da economia, o indicador sofrerá alterações significativas, mesmo no caso de não haver mudança na intensidade energética específica dos setores⁵³. Portanto, vê-se que indicadores energéticos em nível desagregado são necessários para avaliar o impacto de preços, políticas e outros fatores tanto no consumo, quanto na produção de energia. Até mesmo, ou principalmente, porque medidas que induzam eficiência energética precisam do perfil de consumo de energia de uso final, pois é aí que atuam⁵⁴. Ou seja, são

⁵² É evidente que as políticas escolhidas impactam no tipo de indicador necessário, seu nível de desagregação e assim, a informação necessária para gerá-lo (Schipper *et al*, 2001). Portanto, percebe-se a interdependência entre a geração de informação e a política energética adotada.

⁵³ Como ilustração pode-se citar o exemplo dos países participantes da IEA, onde a oferta total primária de energia por unidade de PIB caiu em 1/3 entre 1973 e 2000, em média. Porém, parte desta explicação cabe ao fato de que a produção de bens energo-intensivos se tornou uma fração menor do PIB. Assim, a queda na razão energia/PIB sobreestima os melhoramentos na eficiência energética. É interessante expor que as reduções nas intensidades energéticas de uso-final nos países da IEA têm diminuído desde o final da década de 80. Isto pode ser explicado pela queda nos preços da energia após 1985, o que enfraqueceu o incentivo para manter a economia de energia. Além disso, tais preços combinados com o fato de que as intensidades energéticas já haviam sido bastante reduzidas resultaram em gastos bem menores tanto para consumidores industriais quanto residenciais (IEA, 2004c).

⁵⁴ Os modelos de uso final são ideais para projeções de eficiência energética porque se consegue observar mudanças nos níveis tecnológicos e de serviço. A análise *bottom-up* permite descrição da estrutura tecnológica de uso e conversão de energia permitindo o delineamento de programas voltados para o setor. Estes, por sua vez, podem ser descritos como uma série de ações *demand-side* (pelo lado da demanda) e instrumentos políticos que são usados para implementá-las. Mostram-se necessários porque somente os

necessários para a formulação de políticas eficientes e fundamentais para o planejamento energético integrado.

Indicadores energéticos não são meramente estatísticas de energia. Estas ferramentas vão além das estatísticas básicas, providenciando uma compreensão mais profunda a respeito de relações causais entre energia, meio-ambiente e economia, e destacando ligações que podem não ser tão evidentes se observadas apenas através de estatísticas básicas. Em conjunto, indicadores oferecem um retrato do sistema energético como um todo, mostrando ligações e *trade-offs* entre suas várias dimensões, incluindo aí implicações futuras de decisões e comportamentos estabelecidos no presente (Vera e Langlois, 2007).

Em resposta às ações da Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (CSD)⁵⁵ e ao Capítulo 40 da Agenda 21, o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (UNDESA) começou a trabalhar, em 1995, em um conjunto de indicadores de desenvolvimento sustentável. Deste trabalho resultaram 58 indicadores, dos quais somente 3 eram relacionados a energia (consumo anual de energia *per capita*, intensidade de uso energético e percentagem de consumo de recursos energéticos renováveis). Assim, de forma a complementar o esforço da Comissão, a Agência de Energia Atômica Internacional (IAEA) inicia, em 1999, um programa em Indicadores para Desenvolvimento Energético Sustentável (*Indicators for Sustainable Energy Development - ISED*), em cooperação com diversas agências internacionais, como IEA, Eurostat e UNDESA. O trabalho possuía dois objetivos: complementar o trabalho desenvolvido pela CSD e aprimorar e aprofundar as estatísticas energéticas necessárias à promoção do desenvolvimento sustentável (Vera e Langlois, 2007). Assim, desejava-se criar um conjunto único de indicadores de forma que pudesse ser usado em qualquer país, pois estabelece uma metodologia padronizada de coleta, processamento e análise de informações relacionadas ao uso de energia,

mecanismos de mercado não são suficientes para trazer o nível desejado de eficiência energética. Para maiores informações, ver Swisher *et al*, 1997.

⁵⁵ A Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (CSD) foi estabelecida pela Assembléia Geral das Nações Unidas em dezembro de 2002 para assegurar a efetiva implementação das indicações da Conferência Internacional das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992 (*1992 Earth Summit*). A comissão é responsável pela revisão do progresso na implementação da Agenda 21 e na Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Possui 53 Estados membros e encontros anuais (UNDESA, 2007).

eliminando-se, assim, duplicação de esforços por organizações internacionais. Cabe lembrar que nenhum conjunto de indicadores pode ser definitivo, uma vez que o próprio objetivo de um indicador é absorver a evolução das características do sistema energético de um país. Portanto, deve haver espaço para as prioridades e condições específicas dos países. (IAEA, 2005). Este conjunto de indicadores oferece uma base que pode, e deve, ser particularizada para cada país, atendendo às necessidades dos seus sistemas energéticos. Ou seja, há um conjunto preestabelecido de indicadores e metodologias de uso geral, que permitem uma comparação direta entre países. Porém, há a possibilidade de inclusão de novos indicadores, de forma a expor particularidades.

Abaixo segue tabela com a base de indicadores ISED, divididos por dimensão (econômica, social e ambiental):

Tabela 14: Base de indicadores ISED.

Dimensão Econômica	1. População
	2. PIB per capita
	3. Preços de energéticos
	4. Participação setorial no PIB
	5. Distância percorrida por passageiros
	6. Atividade do transporte de cargas
	8. Valor adicionado de alguns produtos manufaturados energo-intensivos
	9. Intensidades energéticas
	10. Intensidade Energética de alguns segmentos energo-intensivos
	11. Matriz energética
	12. Eficiência de suprimento de energia
	13. Status do desenvolvimento e uso de tecnologias de redução da poluição
	14. Intensidade energética total
	15. Investimentos no setor energético
	16. Consumo de energia per capita
	17. Produção primária de energia
	18. Dependência externa de energia
Dimensão Social	19. Desigualdades de Renda
	20. Relação entre a renda dos 20% mais pobres e preços de energéticos
	21. Fração da renda disponível gasta com consumo de energia
	22. Percentual de domicílios sem acesso a fontes modernas de energia
Dimensão Ambiental	23. Quantidade de emissões de poluentes
	24. Concentração de poluentes em áreas urbanas
	25. Área territorial onde os índices de acidificação excedem o limite máximo
	26. Quantidade de emissões de gases de efeito estufa
	27. Descarga de radionuclídeos na atmosfera
	28. Poluição em bacias hidrográficas
	29. Geração de resíduos sólidos
	30. Quantidade de resíduos sólidos acumulados
	31. Geração de rejeito radioativo pela cadeia nuclear
	32. Acúmulo de rejeito radioativo
	33. Área tomada por infra-estrutura do setor energético
	34. Acidentes fatais por cadeia energética
	35. Percentual do potencial hidrelétrico disponível
	36. Reservas provadas de combustíveis fósseis
	37. Tempo remanescente das reservas de combustíveis fósseis (Taxa R/P)
	38. Reservas provadas de urânio
	39. Tempo remanescente das reservas provadas de urânio
	40. Intensidade de uso de recursos florestais como combustível
	41. Taxa de desflorestamento

Fonte: Cima, 2006.

5.2. Indicadores e Balanços Energéticos

Os balanços energéticos fazem parte do primeiro passo do planejamento energético: o desenvolvimento das bases de dados. Seu principal objetivo é prover informação para as demais fases do planejamento. Ou seja, ao iniciar o estudo do sistema energético de um país, o balanço energético será o primeiro instrumento a ser consultado. Assim, percebe-se que estas matrizes energéticas fazem parte da base de

formulação de indicadores, pois muitos dados necessários a este processo são delas retirados. Portanto, a metodologia dos balanços energéticos impacta diretamente na qualidade destes indicadores.

Contradições em estatísticas podem resultar em falsas conclusões a respeito de mercados, por exemplo. De forma a ilustrar a questão pode-se realizar uma pergunta aparentemente fácil de ser respondida, face a diversidade de bases de dados existente atualmente: qual foi a produção de petróleo brasileira para o ano de 2004? Consultando os Balanços energéticos publicados pela IEA e MME, tem-se as seguintes respostas, respectivamente: 79.139 tEP (IEA, 2007) e 76.843 tEP (EPE, 2006). Ou seja, a resposta pode ser influenciada por fatores dissonantes, como: definição de produção de petróleo, fatores de conversão ou mesmo definição de petróleo. Pode-se, por exemplo, chegar a uma conclusão errônea de retração de mercado, caso se comparem dados de dois anos subseqüentes, um em cada metodologia. Portanto, se estes fatores não forem levados em consideração, a comparação e agregação de dados serão inadequadas, assim como as políticas derivadas.

Farla e Blok (2001) expuseram algumas diferenças encontradas em dados de consumo de energia provenientes de diversas fontes estatísticas internacionais:

Tabela 15: Diferenças em dados de consumo de energia provenientes de fontes nacionais estatísticas.

Fator	Descrição
Limites do sistema e definição de uso de energia	Phylipsen <i>et al</i> (1997) relataram 5 modos diferentes de reportar o consumo de energia, dependendo do limite de sistema aplicado (energia útil, energia de uso final, energia comprada, energia final, energia líquida disponível).
Autoprodução de eletricidade	Dependendo do limite do sistema aplicado, a autoprodução de energia pode ser tratada como parte do setor de transformação, ou como parte do setor industrial que realiza a autoprodução. Essas diferenças podem levar a distorções no consumo setorial de energia.
Poderes caloríficos	Uso de poderes caloríficos superiores ou inferiores.
Uso não-energético de combustíveis	Tais combustíveis podem ou não ser identificados e incluídos nas estatísticas de energia.
Classificação de combustíveis	Algumas estatísticas classifica combustíveis derivados por seu estado físico, enquanto outras os classificam pela fonte primária geradora (por exemplo, gás de alto-forno pode ser classificado como gás ou como produtos de carvão).
Fontes energéticas não-convencionais e/ou renováveis	Estas fontes podem ou não ser incluídas nas estatísticas. Um exemplo é o uso de combustíveis derivados da lenha na indústria de papel e celulose.

Fonte: Farla e Blok, 2001.

Surge, então, a questão da padronização de metodologias de balanços energéticos, não só de modo a convergir às metodologias consagradas internacionalmente, mas também de modo a tornar compatíveis os dados energéticos

com os dados das instituições nacionais responsáveis pela coleta de informação⁵⁶. A falta de padronização a respeito, por exemplo, da classificação das atividades econômicas, definição de fontes e de atividades afeta diretamente os indicadores e, portanto, a confiabilidade das análises feitas a partir deles (Farla e Blok, 2001). É necessário, pois, o aprimoramento constante da metodologia dos balanços energéticos, no caso, o BEN, de modo que se busque a convergência com as metodologias padronizadas internacionalmente. Entretanto, faz-se mister atender às peculiaridades nacionais em termos de fontes energéticas e tecnologias adotadas, pois um balanço energético deve revelar as características do país. Nota-se aqui a não obrigatoriedade de tornar as metodologias idênticas, mas sim compatíveis, identificando, inclusive, as distinções entre as mesmas. O importante a se destacar é a necessidade de transparência metodológica nas estatísticas, para que se possa trazer um determinado dado à luz da metodologia desejada.

É importante também destacarmos a importância dos balanços energéticos regionais no planejamento energético do país. Ressalta-se ainda mais tal fato em um país com características tão diversas quanto o Brasil, seja em aspecto climático, social ou econômico. Muitas políticas de GLD são focadas regionalmente, em razão do próprio conceito de análise *bottom-up* (necessidade de caracterização desagregada da demanda). Assim, percebe-se a importância das estatísticas neste nível, e conseqüentemente, a necessidade de melhoria constante dos balanços estaduais. A convergência destas estatísticas regionais às nacionais também é fundamental, em função da própria análise pretendida: se o conceito é partir de um nível mais desagregado pra alcançar um nível mais agregado, é lógico que ambos têm que apresentar as mesmas metodologias para que este processo seja possível.

A seguir, demonstram-se as inconsistências entre dados nacionais e internacionais, que podem derivar de diversos aspectos, como poderes caloríficos adotados, classificação de atividades, classificação industrial, definição de combustíveis, entre outros. Para isso, explicitam-se problemas de classes diferentes e calcula-se como estas divergências afetam indicadores energéticos.

⁵⁶ Para informações a respeito de como a qualidade e compatibilidade dos dados atuais afetam o desenvolvimento de indicadores de intensidade energética para comparações internacionais na indústria do ferro e aço, ver Farla e Blok (2001).

5.3. Desvios do BEN em relação aos balanços internacionais

De forma a ilustrar as diferenças metodológicas entre o Balanço Nacional e os balanços internacionais e suas conseqüências na comparação de indicadores internacionais, seguem alguns exemplos onde são contabilizadas tais discrepâncias.

5.3.1. Classe I - Colocação de atividade: setor energético

Em balanços energéticos, um dos principais problemas encontrados diz respeito à colocação do consumo do setor energético, fazendo parte ou não do setor de consumo final. Isto afeta o cálculo de eficiência total de primeira lei para o sistema energético de um país. Ademais, influencia também na contabilização das emissões de gases de efeito estufa do setor de consumo final de um país. Estes dois casos serão mostrados a seguir.

Eficiência Energética

A eficiência energética é um indicador muito importante, visto que melhorias no desempenho dos diversos estágios do sistema energético de um país é uma maneira efetiva de diminuir o consumo energético global. Ou seja, este indicador está relacionado ao menor uso de energia para obtenção da mesma quantidade de serviços ou produtos finais. Por exemplo, no setor industrial, a eficiência energética pode ser mensurada pela quantidade de energia requerida por tonelada de produto final. Além disso, este indicador também é importante para questões de aquecimento global e poluição atmosférica, competitividade industrial e comercial e segurança energética (Patterson, 1996). A melhoria na eficiência energética é parte de qualquer estratégia de longo prazo para promoção do desenvolvimento sustentável (Farla e Blok, 2001).

A eficiência energética pode ser mensurada, basicamente, de quatro pontos de vistas diferentes (Patterson, 1996):

- Termodinâmico: são indicadores de eficiência baseados em medidas derivadas da termodinâmica;
- Físico – termodinâmico: são indicadores híbridos onde a entrada de energia é medida em unidades termodinâmicas, mas a saída resultante é medida em unidades físicas, como por exemplo, toneladas de produto ou quilômetros;

- Econômico – termodinâmico: também são indicadores híbridos onde a saída do processo é medida em termos de preços de mercado. A entrada de energia ao processo é medida em termos termodinâmicos;
- Econômico: medem mudanças na eficiência energética puramente em termos de valores de mercado. Ou seja, ambas as entradas e saídas do processo são medidas em termos monetários.

Enfim, um indicador de eficiência energética é formado pela divisão de um dado relativo a consumo de energia por um denominador, que pode ser PIB, valor adicionado, volume, etc (Karbuz, 1998).

O indicador utilizado nesta seção do trabalho será o termodinâmico, mais precisamente, baseado na 1ª Lei da Termodinâmica. Mede-se, portanto, a eficiência em termos do conteúdo entálpico das entradas e saídas do processo. Ou seja, a razão é construída baseada na variação de entalpia da saída do processo dividida pela variação de entalpia da entrada do processo. Haverá, é claro, perdas associadas a todos os passos do processo de conversão. Ao reduzir estas perdas consegue-se diminuir o consumo de energia primária (Patterson, 1996).

Volta-se agora à questão acerca de como diferenças em balanços energéticos impactam na construção de indicadores de eficiência energética. O Balanço Energético Nacional aloca a parcela de consumo do setor energético no setor de consumo final, fazendo parte do consumo energético. Já os balanços da IEA, Eurostat, Olade e ONU consideram-no fora do consumo final. Tomar-se-ão dois casos possíveis: alocando o consumo do setor energético dentro do setor de consumo final e fora do setor de consumo final. Para isso, usar-se-á como base a oferta total de energia e a energia do consumo final do sistema energético brasileiro constantes no BEN para os anos de 1994 a 2003.

$$n_{1^a\ lei} = \frac{UFE}{TPES}, \text{ onde:}$$

UFE: *Useful Final Energy* (Energia de uso final)

TPES: *Total Primary Energy Supply* (Oferta de energia primária total)

Além disso:

ESC: *Energy Sector Consumption* (Consumo do setor energético)

Para a consideração do consumo do setor energético fora do consumo final subtrai-se *ESC* de *UFE*.

Assim, tem-se, como resultado, a tabela 16, onde são mostradas as eficiências de 1ª lei para o sistema energético brasileiro, considerando o consumo do setor energético no consumo final (n) e fora do consumo final (n'):

Tabela 16: Cálculo das eficiências energéticas para o sistema energético brasileiro, considerando o consumo do setor energético no consumo final (n) e fora do consumo final (n') (1000 tEP).

ano	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994
TPES	201.704	198.737	193.927	190.440	189.219	185.562	180.671	171.726	162.940	157.288
UFE	180.800	178.160	172.188	171.954	170.482	168.437	164.776	155.282	147.698	142.688
ESC	15.855	14.391	13.576	12.858	13.447	14.369	15.423	13.842	12.833	13.323
UFE' (=UFE - ESC)	164.945	163.769	158.612	159.096	157.035	154.068	149.353	141.440	134.865	129.365
n (=UFE/TPES)	89,64%	89,65%	88,79%	90,29%	90,10%	90,77%	91,20%	90,42%	90,65%	90,72%
n' (= UFE'/TPES)	81,78%	82,40%	81,79%	83,54%	82,99%	83,03%	82,67%	82,36%	82,77%	82,25%

Fonte: Elaboração própria a partir de MME (2005).

Para visualizar melhor a diferença entre as eficiências energéticas encontradas segue o gráfico abaixo:

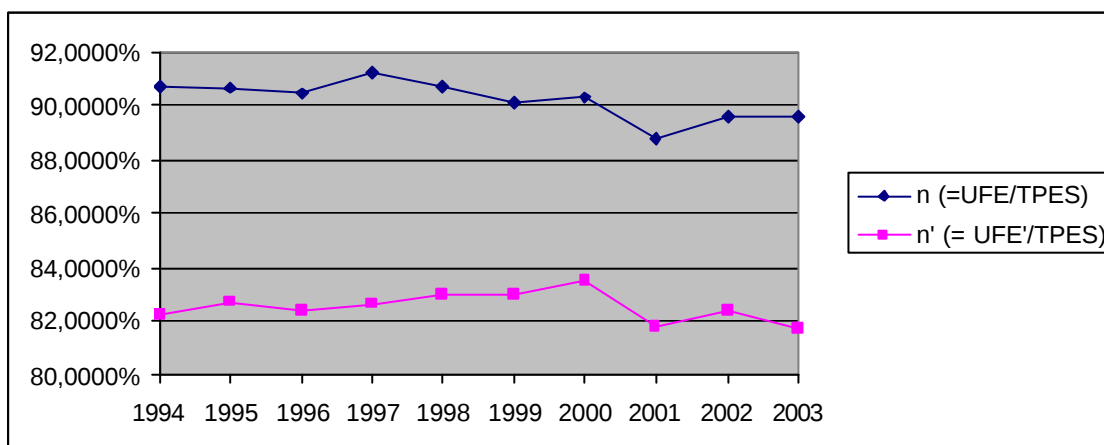


Figura 10: Eficiências energéticas para o sistema energético brasileiro, considerando o consumo do setor energético no consumo final (n) e fora do consumo final (n').

Fonte: Elaboração própria a partir de MME (2005).

Emissões de CO2

Além de exemplificar o impacto de colocação de atividade sobre o indicador de eficiência da conversão do sistema energético para um país, pode-se também, utilizando o mesmo problema de alocação do consumo do setor energético, calcular as emissões de gases do efeito estufa – no caso, CO₂ – do setor de consumo final. Assim, calcular-se-iam, novamente, duas situações: emissões do setor de consumo final considerando o consumo do setor energético e desprezando este consumo. Novamente, a importância deste indicador tem crescido durante o século XX, face o

aumento de mais de 30% na quantidade de CO₂ na atmosfera desde a era pré-industrial, principalmente devido à utilização de combustíveis fósseis e o desflorestamento (IAEA, 2005).

Adotou-se como padrão a metodologia *bottom-up* desenvolvida pelo IPCC (caracterizada pelo cálculo das emissões de gases de efeito estufa a partir da desagregação da oferta e do consumo de energia), porém, adequada às características particulares do sistema energético brasileiro⁵⁷. A metodologia original *bottom-up* desenvolvida pelo IPCC caracteriza-se pelo cálculo de gases de efeito estufa (neste caso calcular-se-á apenas as emissões de CO₂) a partir da desagregação da oferta e do consumo de energia. Porém, esta metodologia não cobre características particulares dos sistemas energéticos de todos os países, já que necessita ser genérica para que possa ser utilizada como base de referência. Daí sua adaptação desenvolvida neste documento que foi utilizado, aqui, como referência.

A emissão anual de CO₂ do setor ou atividade i , $\omega_i^{CO_2}$, é calculada como:

$$\omega_i^{CO_2} = (44/12) * 10^{-3} * \sum_b (\epsilon_b^{CO_2} * C_{bi} - CS_{bi}) * \Lambda_b$$

onde:

C_{bi} = consumo anual real do combustível do tipo b utilizado pelo setor ou atividade i (TJ);

$\epsilon_b^{CO_2}$ = fator de emissão de carbono por unidade de energia contida no combustível do tipo b , utilizado pelo setor ou atividade i , em (t C/TJ);

CS_{bi} = quantidade anual de carbono do combustível b , utilizado no setor ou atividade i , estocada em produtos não energéticos (t C);

Λ_b = fração do carbono do combustível do tipo b realmente oxidada na combustão,

A constante de valor 44/12 é aplicada na conversão da quantidade de carbono elementar liberada em massa de dióxido de carbono.

O processo aplicado é resumido nas seguintes etapas (Schechtman *et al*, 1998):

⁵⁷ Para maiores informações a respeito da metodologia, consultar Schechtman *et al*, 1998.

- Determinação do consumo real de combustíveis pelo setor de consumo final, através dos dados obtidos no Balanço Energético 2005 para o ano de 2004;
- Conversão do consumo real para terajoules – TJ (corresponde a C_{bi});
- Transformação do consumo de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo seu fator de emissão de carbono (corresponde a $e_b^{CO_2} * C_{bi}$);
- Determinação da quantidade de carbono de cada combustível estocada em produtos não energéticos e a dedução desta quantidade do carbono contido no carbono real, para se computar o conteúdo de carbono possível de ser emitido (corresponde a $(e_b^{CO_2} * C_{bi}) - CS_{bi}$);
- Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível, ou seja, para se computar a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão e emitida (corresponde a multiplicar por Λ);
- Conversão da quantidade de carbono elementar oxidado em emissões de CO₂ (corresponde a multiplicar por 44/12).

Primeiramente, este processo foi aplicado utilizando os valores totais de consumo final. Em seguida, subtraíram-se os valores do consumo do setor energético dos valores do consumo final e compararam-se os resultados obtidos de emissões para o setor de consumo final para os dois casos.

Ressalta-se que algumas fontes relatadas no BEN e no IPCC possuem nível de agregação diferente. Exemplo: no BEN consolidado o querosene iluminante e o de aviação estão agregadas em apenas uma coluna, “querosene”. Porém, a metodologia IPCC considera cada uma em separado. Sendo assim, uma vez que o BEN não apresenta esta distinção, a quantidade de cada tipo de querosene foi obtida através da matriz 49X47, publicada em cada ano juntamente com o BEN (MME, 2005), e que apresenta algumas fontes mais desagregadas e em suas unidades comerciais.

Assim, as seguintes tabelas foram confeccionadas:

Tabela 17: Emissões de CO₂ do setor de consumo final considerando o consumo do setor energético.

	petróleo	gás natural	carvão vapor	carvão met.	lenha	bagço da cana	lêvula	outros renováveis	óleo diesel	óleo comb.	gasolina	GLP	Nafta	Querosene iluminante	querosene aviação	Gás cidade	gás de coqueria	Coque carvão min	carvão vegetal	álcool etílico	gás de refinaria	coque de petróleo	outros energéticos de petróleo	asfalto (betume)	lubrificantes	outros não energéticos do petróleo	alcatrão
consumo final (1000IEP)	0	12.188	310	3.284	10.180	0	0	117	32.657	6.431	13.642	7.182	7.169	94	2.344	0	1.342	6.817	6.353	0	3.558	3.423	2.015	1.046	838	1.919	224
consumo final (TJ) = Cbi	0	509.833	12.971	137.406	425.950	0	0	4.874	1.366.402	269.079	570.795	300.502	299.958	3.953	98.075	0	56.134	285.230	265.816	0	148.887	143.215	84.292	43.765	35.063	80.293	9.372
$e_s^{CO_2}$ (IC/TJ)	20,0	15,3	25,8	25,8	29,9	29,9	20,0	29,9	20,2	21,1	18,5	17,2	20,0	19,6	19,5	15,3	29,5	27,5	32,2	14,8	18,2	27,5	20,0	22,0	20,0	20,0	25,8
$e_b^{CO_2} * C_{bi}$ (IC)	0	7.800.439	334.644	3.545.071	12.735.899	0	0	145.747	27.601.314	5.677.577	10.788.025	5.168.638	5.999.163	77.485	1.912.469	0	1.655.950	7.843.828	8.559.272	0	2.709.736	3.938.426	1.685.841	962.917	701.269	1.605.858	241.808
CNE_{bi} (TJ)	0	30.837	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	299.958	2.956	0	0	0	0	21.590	6.086	0	0	43.765	35.063	80.293	7.280	
j_{bi}	0	0,33	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0,80	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,75
$CS_{bi} = CNE_{bi} * e_b^{CO_2} * j_{bi}$ (IC)	0	155.695	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.799.337	57.945	0	0	0	0	0	0	110.764	0	0	962.917	350.634	1.605.858	104.874
$(e_b^{CO_2} * C_{bi}) - CS_{bi}$ (IC)	0	7.644.744	334.644	3.545.071	12.735.899	0	0	145.747	27.601.314	5.677.577	10.788.025	5.168.638	1.199.833	19.540	1.912.469	0	1.655.950	7.843.828	8.559.272	0	2.598.972	3.938.426	1.685.841	0	350.635	0	100.933
Λ_b	0,990	0,995	0,980	0,980	0,870	0,870	0,990	0,870	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,995	0,995	0,990	0,880	0,990	0,995	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,980
$(e_b^{CO_2} * C_{bi}) - CS_{bi} / \Lambda_b$ (IC)	0	7.606.523	327.951	3.474.170	11.080.232	0	0	126.800	27.325.301	5.620.802	10.680.145	5.116.950	1.187.834	19.345	1.893.344	0	1.647.670	7.765.390	7.532.159	0	2.585.977	3.899.041	1.668.983	0	347.129	0	98.914
$\frac{14}{12} * (e_b^{CO_2} * C_{bi}) - CS_{bi} / \Lambda_b$ (ICO2)	0	27.890.575	1.202.489	12.738.622	40.627.517	0	0	464.932	100.192.769	20.609.606	39.160.531	18.762.145	4.355.392	70.931	6.942.261	0	6.041.457	28.473.097	27.617.918	0	9.481.917	14.296.485	6.119.603	0	1.272.805	0	362.686
$10^{-18} * \frac{44}{12} * (e_b^{CO_2} * C_{bi}) - CS_{bi} / \Lambda_b$ (GgCO2)	0	27.893	1.202	12.739	40.626	0	0	465	100.193	20.610	39.161	18.762	4.355	71	6.942	0	6.041	28.473	27.618	0	9.482	14.296	6.120	0	1.273	0	363

Fonte: Elaboração própria a partir de Schechtman *et al* (1998).

Tabela 18: Emissões de CO₂ do setor de consumo final, não considerando o setor energético.

		8.074.000tep destinadas ao residencial = 50% emite 2.201.000tep ao públ., com.e agro. = 80% emite 5.478.000tep ao ind. = 80% emite				considera-se 100% renovável. Portanto, não emite				Considera-se 100% renovável. Portanto, não emite		50% do cimento não é renovável.								considera-se 100% renovável. Portanto, não emite										
coeficiente de conversão (de IEP para TJ): quantidade X (10.000*10.000*1.000.000) / 0,239*10E12) = 41,841		petróleo	gas natural	carvão vapor	carvão met.	lenha	bagaco da cana	lúvia	plutas renováveis	óleo diesel	óleo comb.	gasolina	GLP	latita	querosene luminante	querosene aviação	gás cidade	gás de coqueira	coque carvão min	carvão vegetal	alcoól etílico	gás de refinaria	coque de petróleo	queros energéticos de petróleo	estilato (betume)	lubrificantes	queros não energéticos do petróleo	placitrão		
consumo final (1000 IEP)		0	12.185	310	3.284	10.180	0	117	32.657	6.431	13.642	7.182	7.169	94	2.344	0	1.342	6.817	6.353	0	3.555	3.423	2.015	1.046	831	1.919	224			
Consumo setor energético (1000IEP)		0	2.948	0	0	0	0	7.462	0	148	1.040	0	46	0	0	0	304	0	0	0	3.36	0	0	0	0	0	0			
consumo final sem setor energético(1000 IEP)		0	9.237	310	3.284	10.180	0	117	32.508	5.391	13.642	7.136	7.169	94	2.344	0	1.038	6.817	6.353	0	197	3.423	2.015	1.046	831	1.919	224			
consumo final (TJ) = Cbi		0	386.485	12917	137.408	425.950	0	4.874	1.360.205	225.565	570.795	298.577	299.958	3.953	98.078	0	43.214	285.230	265.816	0	8.255	143.215	84.292	43.769	35.063	80.293	9.372			
$e_b^{CO_2} \cdot C_{bi}$	(IC/TJ)	20,0	15,3	25,8	25,8	29,9	29,9	20,0	29,9	20,2	21,1	18,8	19,2	20,0	19,6	19,5	15,3	29,5	27,5	32,2	14,8	18,2	27,5	20,0	22,0	20,0	20,0	25,6		
$e_b^{CO_2} \cdot C_{bi}$	(IC)	0	5.913.226	334.644	3.545.071	12.735.899	0	145.747	27.476.226	4.759.418	10.788.025	5.135.531	5.999.163	77.485	1.912.465	0	1.280.720	7.843.828	8.559.272	0	150.314	3.938.426	1.685.841	962.917	701.265	1.605.858	241.806			
CNE_{bi}	(TJ)	0	30.837	0	0	0	0	0	0	0	0	0	299.958	2.956	0	0	0	0	0	21.590	6.086	0	0	43.769	35.063	80.293	7.280			
Φ_{bi}		0	0,33	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0,80	1,00	0	0	0	0	0,00	0,00	1,00	1,00	0	1,00	0,50	1,00	0,75			
$CS_{bi} = CNE_{bi} \cdot e_b^{CO_2} \cdot j_{bi}$	(IC)	0	155.695	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.799.331	57.945	0	0	0	0	0	0	110.764	0	0	962.917	350.634	1.605.858	140.874			
$(e_b^{CO_2} \cdot C_{bi}) - CS_{bi}$	(IC)	0	5.757.531	334.644	3.545.071	12.735.899	0	145.747	27.476.226	4.759.418	10.788.025	5.135.531	1.199.833	19.540	1.912.465	0	1.280.720	7.843.828	8.559.272	0	39.550	3.938.426	1.685.841	0	350.635	0	100.933			
Λ_b		0,990	0,995	0,980	0,980	0,870	0,870	0,990	0,870	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,995	0,995	0,990	0,880	0,990	0,995	0,990	0,990	0,990	0,990	0,980			
$(e_b^{CO_2} \cdot C_{bi}) - CS_{bi} \cdot \Lambda_b$	(IC)	0	5.728.743	327.951	3.474.170	11.080.232	0	126.800	27.201.464	4.711.824	10.680.145	5.084.176	1.187.834	19.345	1.893.344	0	1.274.316	7.765.390	7.532.159	0	39.352	3.899.041	1.668.983	0	347.125	0	98.914			
$\frac{44}{12} \cdot (e_b^{CO_2} \cdot C_{bi}) - CS_{bi} \cdot \Lambda_b$	(ICO2)	0	21.005.392	1.202.489	12.738.622	40.627.517	0	464.932	99.738.700	17.276.689	39.160.531	18.641.978	4.355.392	70.931	6.942.261	0	4.672.492	28.473.097	27.617.918	0	144.290	14.296.485	6.119.603	0	1.272.805	0	362.686			
$10^{18} \cdot \frac{44}{12} \cdot (e_b^{CO_2} \cdot C_{bi}) - CS_{bi} \cdot \Lambda_b$	(GgCO2)	0	21.005	1.202	12.739	40.628	0	465	99.738	17.277	39.161	18.642	4.355	71	6.942	0	4.672	28.473	27.618	0	144	14.296	6.120	0	1.273	0	363			
																														94.141.312
																														345.184.812
																														345.185

Fonte: Elaboração própria a partir de Schechtman *et al* (1998).

As tabelas 17 e 18 foram realizadas tomando como preceitos as seguintes observações (Schechtman *et al*, 1998):

- para a lenha utilizada via queima direta, a quantidade de biomassa renovável varia de acordo com o setor de consumo. Para o setor residencial, adotou-se a hipótese de que 50% da lenha é renovável, pelo tipo de coleta praticado (aparas de árvores e lenha catada do chão). Para o setor industrial, considerou-se que apenas 20% da lenha tem origem renovável (programas de reflorestamento). Para os setores comercial, público e agropecuário, adotou-se a mesma percentagem;
- para os produtos da cana-de-açúcar, considerou-se 100% de reciclagem, em virtude da absorção de carbono durante o crescimento da planta (emissão líquida nula de carbono);
- para a lixívia, por ser subproduto da indústria de papel e celulose, considerou-se 100% de renovação;
- para os resíduos vegetais, adotou-se a hipótese de que são de origem renovável e equivalem ao resultado total de “outras recuperações” subtraído de 50% do total que se destina à geração de eletricidade (centrais autoprodutoras) e de 50% do total que se destina à indústria do cimento.

Têm-se então, aplicando tal metodologia aos dados de consumo final constantes no BEN ano 2005, os seguintes resultados:

- considerando o consumo do setor energético dentro do consumo final: 366.684 Gg CO₂;
- considerando o consumo do setor energético fora do setor de consumo final: 345.185 Gg CO₂;

Vê-se, portanto, uma diferença de 5,863% de redução de emissões de dióxido de carbono se o setor energético não for considerado no setor de consumo final (o que representa 21,49 milhões de toneladas de emissão de dióxido de carbono anualmente).

5.3.2. Classe II: Definição das atividades

Inconsistências entre balanços energéticos também podem ser formadas por usos de conceitos diferentes para as mesmas atividades, impossibilitando

uma comparação direta. Como exemplo, pode-se citar a questão do uso de gás natural para sustentação do transporte em gasodutos. Tem-se que, para a IEA, tal uso encontra-se contabilizado como consumo do transporte, em linha específica para “transporte em gasodutos”. Porém, no caso da Eurostat, ONU e do próprio BEN (a Olade não explicita este consumo), o uso é atribuído ao consumo do setor energético.

Da mesma forma, pode-se citar o uso de combustível para transporte marítimo internacional. No caso da IEA e Eurostat, considera-se uma linha exclusiva, no setor de oferta, para *bunkers*, que é definido como combustível cedido a navios em rotas internacionais, sejam nacionais ou estrangeiros⁵⁸. No caso nacional, este consumo é contabilizado na linha “exportação”, e mesmo assim, possui outra conceituação (combustível cedido a navios estrangeiros, independente da rota).

De forma a exemplificar-se a questão, trabalhar-se-á sobre o caso da classificação industrial adotada. Na representação estatística e na análise dos fenômenos econômicos não é possível levar em conta as características individuais dos agentes, dado o tamanho do universo e a diversidade de formas de atuação. Os agentes econômicos precisam, então, ser agrupados de acordo com características comuns. Assim, todo processo econômico, para ser descrito pelas estatísticas, requer classificações sistematizadas (IBGE, 2007). Conforme exposto anteriormente nos capítulos 3 e 4, os balanços energéticos da IEA e Olade adotam o sistema CIIU/ISIC (*Internacional Standard Industrial Classification of all Economic Activities*), Eurostat adota NACE, o BEN adota, em parte, a CNAE 1.0 (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) e o balanço energético das Nações Unidas não explicita o sistema adotado. Para exemplificar a influência da estrutura do sistema de classificação de atividades econômicas sobre comparações e análises econômico-energéticas comparar-se-ão os balanços da IEA e o BEN em dois casos: cálculo da intensidade energética do setor “minerais não-metálicos” e tratamento do álcool etílico na classificação. Ressalta-se aqui que o setor industrial, em virtude de sua demanda energética ser bastante representativa (segundo Karbuz (1998), essa demanda é responsável por mais de um terço do consumo energético final mundial), é área fundamental para ser estudada por analistas e tomadores de decisão.

Setor “minerais não-metálicos”

⁵⁸ Para maiores informações a respeito do tratamento fornecido à questão dos bunkers, ver capítulo 3.

O setor “minerais não-metálicos” compreende a atividade de fabricação de minerais não-metálicos como vidro e produtos do vidro, cimento, artefatos de concreto, gesso, cimento e estuque, produtos cerâmicos, aparelhamento de pedras e fabricação de cal e de outros produtos de minerais não-metálicos. O balanço da IEA adota as seguintes sub-divisões para o setor industrial, de acordo com CIIU/ISIC ver. 3.1:

- Ferro e aço
- Químico e petroquímico
- Metais não-ferrosos
- Minerais não-metálicos
- Equipamentos de transporte
- Maquinaria
- Mineração e extração
- Alimentos e indústria do tabaco
- Papel, celulose e gráfica
- Madeira e produtos de madeira
- Construção
- Têxtil e couro
- Não especificado

Já o balanço nacional segue, em parte, a CNAE. Seus sub-setores de consumo final industriais são:

- Cimento
- Ferro-gusa e aço
- Ferro-ligas
- Mineração e pelletização
- Não ferrosos e outros da metalurgia
- Química
- Alimentos e bebidas
- Têxtil
- Papel e celulose
- Cerâmica
- Outros

A correspondência entre CIIU/ISIC e CNAE, para os grupos e divisões, pode ser observada pela tabela abaixo, para o setor “minerais não-metálicos”:

Tabela 19: Correspondência entre ISIC rev. 3.1 e CNAE 1.0 para Divisão 26.

Classificação ISIC rev. 3.1		
Divisão	Grupo	Descrição
26		FABRICAÇÃO DE OUTROS PRODUTOS MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	26.1	Fabricação de vidro e produtos do vidro
	26.9	Fabricação de outros minerais não metálicos
Classificação CNAE 1.0		
Divisão	Grupo	Descrição
26		FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	26.1	Fabricação de vidro e produtos do vidro
	26.2	Fabricação de cimento
	26.3	Fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e estuque
	26.4	Fabricação de produtos cerâmicos
	26.9	Aparelhamento de pedras

Fonte: (Schaeffer *et al*, 2005)

A tabela abaixo abre os grupos em suas classes e mostra a correspondência entre CIIU/ISIC e CNAE:

Tabela 20: Correspondência entre as classes da ISIC rev. 3.1 e CNAE 1.0 para a Divisão 26

ISIC rev. 3.1	CNAE 1.0	Descrição
26.10	26.11-5	Fabricação de vidro plano e de segurança
	26.12-3	Fabricação de embalagens de vidro
	26.19-0	Fabricação de artigos de vidro
26.91	26.49-2	Fabricação de produtos cerâmicos não-refratários para usos diversos
26.92	26.42-5	Fabricação de produtos cerâmicos refratários
26.93	26.41-7	Fabricação de produtos cerâmicos não-refratários para uso estrutural na construção civil
26.94	26.20-4	Fabricação de cimento
	26.92-1	Fabricação de cal virgem, cal hidratada e gesso
26.95	26.30-1	Fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e estuque
26.96	26.91-3	Britamento, aparelhamento e outros trabalhos em pedras (não associados à extração)
26.99	26.99-9	Fabricação de outros produtos de minerais não-metálicos

Fonte: (Schaeffer *et al*, 2005)

Já a metodologia do BEN desagrega as atividades contempladas pela Divisão 26 da CNAE 1.0 em três sub-setores do consumo industrial. São eles:

- Cimento – Este sub-setor corresponde à atividade de fabricação de clínquer e cimento, identificada pela Classe 26.20-4 da classificação CNAE 1.0.
- Cerâmica – Corresponde às atividades de fabricação de produtos cerâmicos não-refratários para uso estrutural na construção civil (CNAE 26.41-7); fabricação de produtos cerâmicos refratários

(CNAE 26.42-5); e fabricação de produtos cerâmicos não-refratários para usos diversos (CNAE 26.49-2).

- Outros – As demais atividades da Divisão 26 da CNAE 1.0, listadas na tabela acima, são incluídas no sub-setor “outros”, juntamente com atividades do setor industrial que não se enquadram nos sub-setores industriais estabelecidos pela metodologia do BEN.

A desagregação dos setores “cimento” e “cerâmica” no BEN mostra-se até interessante, visto que tais setores são, notadamente, consumidores de carvão vegetal/resíduos vegetais e lenha (MME, 2005), respectivamente, em sua produção e, portanto, alvo de constantes estudos em virtude do crescimento de interesse sobre fontes renováveis. O setor cimenteiro, por exemplo, pode operar com combustíveis menos nobres. Já o segmento de cerâmica vermelha é grande consumidor de lenha dentro do setor de minerais não metálicos, e seu uso de biomassa de madeira apresentou um grande crescimento nos últimos dez anos (Schwob, 2007). Além disso, este setor é intensivo em mão-de-obra, tem demanda energética ampla (utiliza vários combustíveis) e grande participação da energia no custo final do produto. Portanto, essa desagregação facilita a análise do setor e formulação de políticas para, por exemplo, inserção do gás natural neste setor (Schwob, 2007).

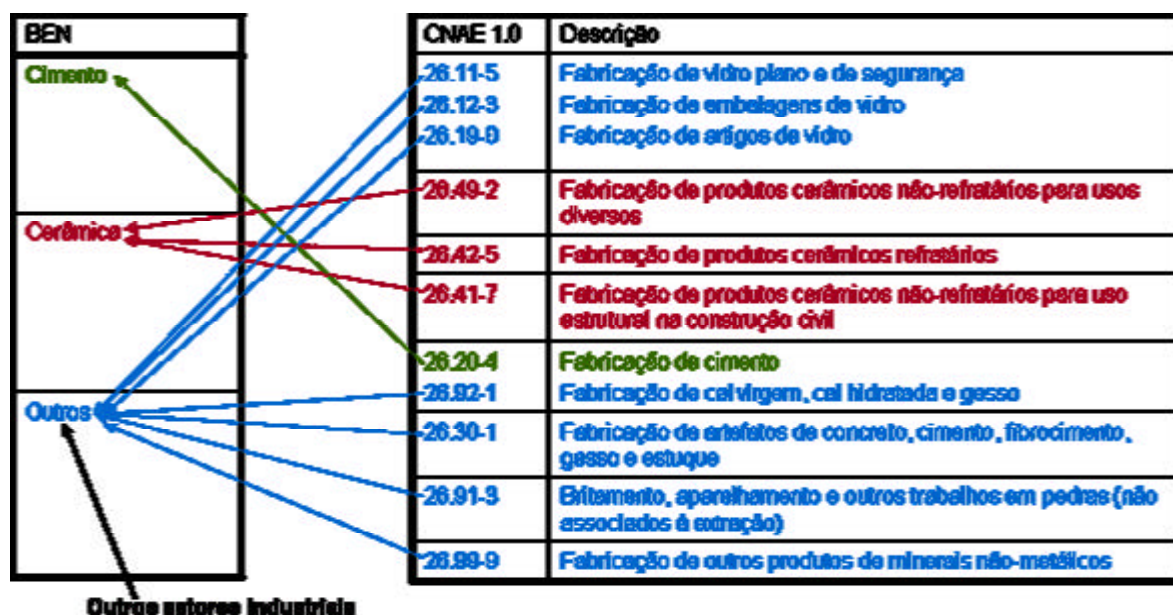


Figura 11: Reorganização da divisão “minerais não metálicos” na estrutura do BEN.

Fonte: Elaboração própria a partir de MME (2005) e IBGE (2007).

Ou seja, o BEN não segue a classificação da CNAE e desagrega a divisão 26 em apenas três itens, conforme mostrado na figura acima. O principal

problema identificado na classificação adotada pelo BEN consiste na impossibilidade de re-agregação da divisão 26 da CNAE. Ou seja, caso se pretenda consultar o BEN para saber qual foi o consumo energético desta divisão, precisar-se-ia re-agregar os sub-setores para recomposição da divisão 26. Não se encontraria problemas quanto aos sub-setores “cimento” e “cerâmica”, porém, quanto às sub-divisões remanescentes da divisão 26, elas estão todas agregadas no sub-setor “outros” do BEN, e portanto, seus consumos energéticos estão misturados ao consumo energético de outras atividades incluídas no sub-setor “outros”. A desagregação nos sub-setores “Cimento” e “Cerâmica” não se revela tão problemática, visto que, apesar de representarem subdivisões da classificação padrão, esses sub-setores podem ser re-agregados, sem perda de informações, a fim de se enquadrarem nos padrões da classificação nacional. No entanto, a agregação das demais atividades do sub-setor de “minerais não-metálicos” como fabricação de vidros, cal virgem, hidratada, gesso, britamento, etc. em “outros”, juntamente com uma série de outras atividades que não se enquadram nas demais classificações econômicas do BEN, impossibilita qualquer tipo de re-agregação desse sub-setor. Isto introduz grandes incertezas às estimativas de intensidade energética da atividade “minerais não-metálicos”, conforme será visto a seguir.

Com relação à compatibilidade com o Sistema de Contas Nacionais⁵⁹ (IBGE, 2007a), constata-se o mesmo problema de agregação, uma vez que para essa atividade, o SCN obedece exatamente à classificação CNAE e conseqüentemente a classificação adotada pela metodologia IEA. A tabela abaixo apresenta onde são contabilizadas as atividades relacionadas ao sub-setor de minerais não-metálicos nas bases de dados consideradas nesse estudo.

⁵⁹ Este documento divulga dados relativos às tabelas de recursos e usos, contas econômicas integradas, contas regionais do Brasil, Produto Interno Bruto dos municípios e matriz de insumo-produto. Através deste documentos serão obtidos os valores adicionados necessários ao cálculo da intensidade energética.

Tabela 21: Correspondência entre SCN, CNAE, BEN, CIIU/ISIC e IEA/Eurostat

Sistema de Contas Nacionais	CNAE 1.0	BEN (subsetor)	CIIU/ISIC rev. 3.1	IEA/Eurostat (subsetor)
Fabricação de minerais não metálicos	26.11-5	Outros	26.10	Minerais não metálicos
	26.12-3			
	26.19-0			
	26.49-2	Cerâmica	26.91	
	26.42-5		26.92	
	26.41-7		26.93	
	26.20-4	Cimento	26.94	
	26.92-1	Outros		
	26.30-1		26.95	
	26.91-3		26.96	
	26.99-9		26.99	

Fonte: (Schaeffer *et al*, 2005)

Intensidade energética

A intensidade energética é utilizada como uma forma de visualizar-se a eficiência com a qual os recursos estão sendo utilizados. É construída através da razão entre a energia utilizada (no numerador) e o produto final (no denominador). A energia utilizada é, geralmente, medida em unidades termodinâmicas (por exemplo, Joules consumidos na produção de aço)⁶⁰. e o produto final é medido tanto em volume (toneladas de aço) ou valor de mercado (valor monetário do aço produzido)⁶¹ Tem-se, porém, que mudanças na intensidade energética podem, não necessariamente, representar mudanças na eficiência do processo estudado, mas sim, mudanças na estrutura do processo. Por exemplo, uma queda na intensidade energética da indústria do aço pode significar tanto maior eficiência na produção de cada tonelada de produto finalizado, quanto uma mudança na produção em direção a produtos finalizados, pois a etapa de finalização de produtos de aço requer menos energia que a etapa de fabricação do aço bruto (Freeman *et al*, 1997). Assim, estes efeitos de estrutura de produção podem

⁶⁰ O valor monetário da energia utilizada no processo (numerador) também é considerado apropriado como forma de medir esta energia (Patterson, 1996 e Freeman *et al*, 1997).

⁶¹ Quanto maior o nível de agregação da indústria, mais desejável é o uso de valor de mercado para medir o produto final (denominador). Atribui-se a isso a dificuldade de medir o volume do produto final quando a produção da indústria é muito diversificada. É difícil somar toneladas de produtos diferentes, que possuem requisitos de energia diferentes. Assim, um indicador de intensidade energética construído com o volume de produção de diversos produtos não oferecerá uma boa visão a respeito das tendências na eficiência técnica com a qual a energia está sendo utilizada (Freeman *et al*, 1997).

ser mais bem explicitados se a intensidade energética for decomposta em componentes de eficiência e de estrutura.

Comparações internacionais de indicadores de intensidade energética são importantes, pois podem ajudar a identificar potenciais para redução de uso energético. A análise de diferenças em intensidades energéticas entre países pode, por exemplo, revelar os motivos que determinam as mudanças em padrões de uso energético ao longo do tempo. Além disso, pode expor o papel que preços, renda e estruturas econômicas e demográficas possuem em relação ao uso de energia. O conhecimento destes potenciais, por sua vez, pode servir de base para políticas nacionais de redução de intensidade energética, ou mesmo, para o desenvolvimento de regras acerca de níveis aceitáveis de emissão de gases de efeito estufa por região (Farla e Blok, 2001).

Entretanto, existem problemas com relação à qualidade e disponibilidade de dados sobre energia e produção necessários à construção destes indicadores. Como expõe Karbuz (1998), há barreiras na comparação de dados de consumo energético em nível internacional devido a muitas diferenças nas definições destes dados provenientes de fontes estatísticas nacionais. Portanto, se tais indicadores são utilizados no desenho de políticas nacionais, e se há problemas na qualidade destes indicadores, compreende-se como a disponibilidade e qualidade de dados impactam no planejamento energético. Nesta seção do trabalho, busca-se, portanto, mostrar exatamente esta questão, ao se desenvolver indicadores de intensidade energética para o setor de “minerais não-metálicos” através de duas metodologias distintas.

O setor industrial é o maior consumidor energético dentre os consumidores de energia final (IEA, 2004c). É importante, pois, analisar as tendências na eficiência energética, na composição de produtos e no *mix* de combustíveis utilizados neste setor, de forma a visualizar melhorias tecnológicas e mudanças na estrutura do setor industrial. Melhorias nas intensidades energéticas deste setor representam utilização mais eficiente de recursos energéticos e reduções em impactos ambientais negativos. Segundo IEA (2004c), as indústrias no setor de consumo final que mais utilizam energia e que, portanto, deveriam ser alvo de uma avaliação da intensidade energética são as de ferro e aço, metais não-ferrosos, química, minerais não-metálicos, cimento e papel e celulose.

Para o cálculo da intensidade energética de um setor, são necessários seu Valor Adicionado VA e o uso de energia neste setor. O Valor adicionado pode ser

definido como o valor que a atividade agrega aos bens e serviços consumidos no seu processo produtivo. É a contribuição ao produto interno bruto pelas diversas atividades econômicas, obtida pela diferença entre o valor de produção e o consumo intermediário absorvido por essas atividades (IBGE, 2007a). Este dado será obtido do documento Sistema de Contas Nacionais - SCN, elaborado pelo IBGE. Já o consumo de energia do setor é obtido através do balanço energético.

Suponha-se agora que se tem dois balanços energéticos para o Brasil, em um ano qualquer, um seguindo a metodologia IEA e o outro sob a metodologia BEN. Tem-se também os dados de valor adicionado obtidos do SCN. O objetivo é calcular a intensidade energética para o setor de “minerais não-metálicos” através dos dados dos dois balanços e do SCN. Ressalta-se aqui que será usado neste cálculo o valor adicionado a preços correntes⁶², em R\$, e a energia medida em *J* (o tEP será convertido para *J*).

O cálculo deste indicador utilizando o balanço IEA seria de fácil realização: simplesmente pegar-se-ia o dado de consumo de energia para o setor diretamente do balanço, que possui uma linha específica “minerais não-metálicos”, e o dado de valor da transformação industrial para o setor utilizando o SCN. Ambos os documentos são compatíveis na classificação.

Já o cálculo da intensidade energética através dos dados apresentados no BEN mostrar-se-ia mais complexo. Ocorre que se tem os dados de consumo energético para o setor de cerâmica e para o setor de cimento, mas não se tem os dados do restante da divisão 26. O valor adicionado do setor “minerais não-metálicos” é disponível no SCN, desagregado em “cimento” e “outros produtos de minerais não metálicos”, ou seja, basta apenas somar os dois e tem-se o valor adicionado do setor “minerais não-metálicos”. Assim, têm-se duas alternativas: ou se trabalha com o indicador de intensidade energética subestimado (o numerador consideraria apenas cerâmica e cimento, mas o denominador abrangeria toda a atividade) ou se estima a fração do valor adicionado referente às demais atividades do setor que não cerâmica e cimento e subtrai-se esta do valor adicionado total do setor, tendo-se assim, a intensidade energética para os setores de cerâmica e cimento.

⁶² Geralmente, indicadores de intensidade energética são obtidos utilizando-se preços constantes, portanto, referenciados a um ano base (=100). Porém, devido ao fato de que aqui neste tópico não será elaborada uma série ao longo do tempo, mas sim, somente uma comparação entre duas metodologias para o mesmo ano, usar-se-á o valor corrente de preço.

Para o caso de se calcular a intensidade energética somente dos dois setores “cerâmica” e “cimento”, há que se obter uma maneira de estimar a parcela do valor adicionado que se refere somente a estas duas atividades. Para isso, usar-se-á o Valor da Transformação Industrial, que é obtido através da Pesquisa Industrial Anual – PIA, realizada pelo IBGE. Este dado econômico pode ser definido como a diferença entre valor bruto da produção industrial e o custo das operações industriais (IBGE, 2005a). Estes, por sua vez, são definidos como:

- Valor bruto da produção industrial - soma de vendas de produtos e serviços industriais (receita líquida industrial), variação dos estoques dos produtos acabados e em elaboração, e produção própria realizada para o ativo imobilizado;
- Custo das operações industriais - custos ligados diretamente à produção industrial, ou seja, é o resultado da soma do consumo de matérias-primas, materiais auxiliares e componentes, da compra de energia elétrica, do consumo de combustíveis e peças e acessórios; e dos serviços industriais e de manutenção e reparação de máquinas e equipamentos ligados à produção prestados por terceiros;

A diferença entre o Valor da Transformação Industrial e o Valor Adicionado é que o primeiro representa o valor da transformação industrial de onde são retiradas somente as matérias-primas, enquanto que o segundo exclui todos os insumos (por exemplo, aluguéis, transporte, comunicação, etc) (Ferreira e Guillén, 2004). O Valor da Transformação Industrial, obtido pela Pesquisa Industrial Anual, é o que mais se aproxima do conceito de Valor Adicionado a partir do qual se obtém o PIB (IEDI, 2006).

Na PIA, o setor “minerais não-metálicos” (divisão 26) está desagregado ao nível de grupo (ao contrário do SCN, que desagrega o setor em “cimento” e “outros produtos de minerais não-metálicos”). Tem-se, portanto, o valor da transformação industrial somente para os sub-setores desejados, ou seja, cimento (grupo 26.2) e cerâmica (grupo 26.4). O que se pretende é calcular o peso que os grupos 26.2 e 26.4 possuem no valor da transformação industrial da divisão 26 e aplicar mesmo peso sobre o valor adicionado do setor de minerais não-metálicos, de forma a obtermos o valor adicionado somente do setor de cimento e cerâmica.

1ª alternativa: alocar a quantidade de energia utilizada pelos dois setores “cerâmica” e “cimento” no numerador da equação, e no denominador, o valor

adicionado do setor “minerais não-metálicos” (utilizando-se o SCN 2005 e o BEN 2005 – ano base 2004, e convertendo-se o tEP para J):

Tabela 22: Valores adicionados e consumo energéticos para setor minerais não-metálicos.

SCN	Valor adicionado corrente - 2004 (1.000.000 R\$)	BEN	Consumo energético - 2004 (1.000 tEP)
Cimento	3.281	Cimento	2.648
Outros produtos de minerais não	9.140	Cerâmica	3.215

Fonte: IBGE (2007a) e MME (2005).

$$IE = \frac{E}{VA} = \frac{E_{cerâmica} + E_{cimento}}{VA_{\text{minerais não-metálicos}}} = \frac{(2.648 + 3.215) \times 10^3 \text{ tEP}}{(3.281 + 9.140) \times 10^6 \text{ R\$}} = 198,5 \text{ MJ / R\$}$$

2ª alternativa: de forma a tentar diminuir o desvio da intensidade energética em razão da inclusão das outras atividades no denominador, far-se-á uma aproximação no valor adicionado do setor “minerais não-metálicos”, extraindo a parte referente aos demais setores que não cerâmica e cimento. Para isso, obtém-se informações a respeito do valor da transformação industrial do setor desagregado, disponível na PIA, e calcula-se o peso dos setores que se quer excluir. Assim, aplica-se tal peso no valor adicionado total:

Tabela 23: Valores adicionados, consumo energético e valor da transformação industrial para o setor de minerais não-metálicos.

SCN	Valor adicionado corrente 2004 (1.000.000 R\$)	BEN	Consumo energético 2004 (1.000 tEP)	PIA	Valor da transformação industrial 2004 1.000 R\$	
Cimento	3.281	Cimento	2.648	26.2 - Fabricação de cimento	5.172.822	peso
Outros produtos de minerais não metálicos	9.140	Cerâmica	3.215	26.4 - Fabricação de produtos cerâmicos	3.269.405	
				26 - Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	15.863.712	
						53,2%

Fonte: IBGE (2007a), MME (2005) e IBGE (2005).

Aplicando-se a participação de 53,2% dos setores de cerâmica e cimento sobre o valor adicionado total, temos R\$ 6.608 x 10⁶. Assim:

$$IE = \frac{E_{cerâmica} + E_{cimento}}{VA_{cerâmica e cimento}} = \frac{(2.648 + 3.215) \times 10^3 \text{ tEP}}{6.608 \times 10^6 \text{ R\$}} = 371,2 \text{ MJ / R\$}$$

Como esta segunda alternativa é mais precisa, observa-se um aumento de 87% na intensidade energética.

Porém, se forem utilizados no numerador da intensidade energética os dados de consumo para os dois setores, e no denominador somente os dados estimados de valor adicionado para os dois setores, não se teria o valor da intensidade energética para o setor “minerais não-metálicos”, mas somente para os setores “cerâmica” e “cimento”, e não haveria assim condições de comparação entre o indicador obtido pela metodologia IEA e pela metodologia BEN. Portanto, vê-se como metodologias de BE’s impactam na comparação de indicadores energéticos.

Uma possível solução para o problema de re-agregação do sub-setor de “minerais não-metálicos” seria a criação, no BEN, de um sub-setor chamado “outros minerais não-metálicos”, que englobaria as demais atividades desse sub-setor, que atualmente são classificadas dentro do sub-setor “outros” do BEN. Dessa forma, respeitando-se as especificidades do Balanço Energético Nacional – ao separar os setores de cimento e cerâmica – seria possível compatibilizar o sistema de classificação do BEN com as demais metodologias de classificação nacionais (CNAE e SCN) e internacionais (CIIU/ISIC) (Schaeffer *et al*, 2005).

Tratamento do álcool etílico nas classificações industriais

É interessante aqui se destacar o tratamento oferecido ao álcool etílico a partir das classificações industriais.

A CIIU/ISIC considera a fabricação do álcool etílico no grupo 155 – fabricação de bebidas, enquanto que a CNAE a comporta na divisão 23, junto às demais atividades produtoras de combustíveis. No Brasil, o principal uso da produção de álcool é como combustível, quer na forma de álcool anidro (álcool etílico anidro combustível) usado em mistura com a gasolina (praticamente toda gasolina recebe 22% de mistura de álcool anidro), quer na forma de álcool hidratado (álcool destilado) usado diretamente como combustível. Porém, na divisão 23, a divisão de álcool compõe um grupo específico (23.4), permitindo assim comparações internacionais (basta retirar este grupo da divisão para recompor a divisão da mesma forma que a classificação CIIU/ISIC) (IBGE, 2007).

Assim sendo, percebe-se a particularização da classificação de acordo com necessidades do país. Lembra-se aqui que álcool etílico está crescendo muito em importância mundial, como forma de substituição aos combustíveis fósseis. Portanto,

seria interessante passar a considerar-se sua produção como combustível e não como bebidas. Mesmo que isto não fosse feito, a separação do álcool das outras atividades do grupo já se mostraria razoável. E, apesar disto, a classificação CIIU/ISIC não possui uma classe específica para este energético (“1551 - *Distilling, rectifying and blending of spirits; ethyl alcohol production from fermented materials*”). Ou seja, não há como retirar a fabricação de álcool deste grupo para possibilitar comparações internacionais, como a CNAE permite.

5.3.3. Classe III: Definição das fontes:

Nesta seção, abordar-se-ão o conceito de energia renovável e como é definida a eletricidade e contabilizada a energia primária utilizada na sua geração.

Conceito de energia renovável

Conforme exposto anteriormente, o uso de energia resulta em impactos ambientais, chamados externalidades, e a avaliação destes custos ambientais é um dos objetivos do planejamento energético integrado, de forma a reconhecer a melhor maneira de atendimento à demanda por energia.

A energia renovável é fundamental para redução da pobreza e para permitir o desenvolvimento sustentável, pois pode ofertar energia necessária por períodos indefinidos de tempo reduzindo substancialmente a emissão de poluentes no nível global e regional (em comparação aos combustíveis fósseis) (Goldemberg e Coelho, 2004). Portanto, diminui a geração de externalidades. Além disso, provê diversidade nos mercados de oferta de energia, aumentando as oportunidades de emprego em indústrias locais e trazendo segurança de suprimento energético, por diminuir necessidade de importação de energia. Tem-se, então, que os balanços energéticos devem acompanhar a evolução da participação da energia renovável da matriz energética dos países. Porém, apesar de o consumo de fontes não-fósseis ser crescente, seu nível real é de difícil mensuração devido a incertezas estatísticas (IEA/OECD/Eurostat/UNECE, 2004).

O primeiro problema a ser destacado é que nem toda biomassa pode ser considerada como renovável, e este problema refere-se, especialmente, à lenha (e conseqüentemente, ao carvão vegetal). Os balanços energéticos, de uma forma geral, não diferenciam a quantidade de lenha renovável e a não-renovável. Este fato é de grande importância principalmente aos países em desenvolvimento.

O termo “renovável” só pode ser aplicado à lenha crescida e reposta em uma taxa pelo menos igual à taxa com que é cortada (United Nations, 1991)⁶³. Goldemberg e Coelho (2004) introduziram o conceito de “biomassa moderna” e “biomassa tradicional”. A primeira representa a biomassa produzida de uma forma sustentável, e a biomassa tradicional, portanto, aquela produzida em forma não-sustentável e utilizada como fonte não-comercial – usualmente com baixas eficiências.

Assim, por exemplo, lenha pode ser retirada de florestas de uma forma irreparável, ou seja, o ecossistema pode ser severamente prejudicado até sua destruição. O combate ao desflorestamento para manter a produção de madeira, preservar solo, água, ar e biodiversidade é explicitamente considerado na Agenda 21 (IAEA, 2005). O desflorestamento, principalmente para obtenção de combustível, é visto como questão essencial nos países em desenvolvimento, pois a lenha é a principal fonte de energia em muitos países em desenvolvimento (Goldemberg e Coelho, 2004), principalmente no setor residencial, devido a que uma parcela da população é privada do acesso a fontes modernas de energia (Cima, 2006). Por exemplo, no ano de 2004, a lenha consumida no setor residencial representou 51,25% de toda lenha destinada ao consumo final do país (MME, 2005). Cabe ressaltar que a coleta e a extração de lenha são realizadas diretamente pelo consumidor ou por pequenos extratores que comercializam informalmente este produto, não sendo registrados pelas estatísticas disponíveis.

Por outro lado, esta questão tem menos importância em países desenvolvidos, onde o consumo de lenha é bem reduzido, e se não o é, provém de madeira de reflorestamento. Em países da OECD, a maioria da biomassa utilizada é a chamada biomassa moderna, constituída de lenha de reflorestamento e resíduos de lenha, urbanos e rurais (Goldemberg e Coelho, 2004). As figuras abaixo ajudam a ilustrar a importância das fontes renováveis em cada grupo de países, pertencentes à OECD e não pertencentes à OECD:

⁶³ United Nations (1991) expõe uma interessante visão sobre produção de lenha: este termo só faria sentido quando a lenha cresce especificamente direcionada ao consumo como produto energético, usualmente em plantações específicas para este propósito. Entretanto, este tipo de lenha contribui somente com pequena parcela (em países em desenvolvimento) em relação à lenha realmente consumida. Assim, se a produção levasse em conta somente as plantações neste propósito, não representaria uma visão real da situação para ser incorporada nas estatísticas nacionais.

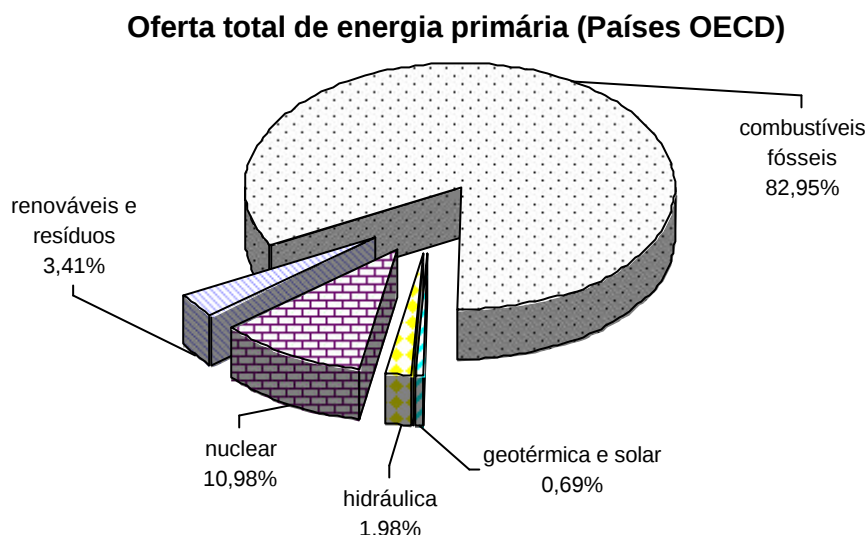


Figura 12: Oferta total de energia primária para países OECD.

Fonte: IEA, 2004b.

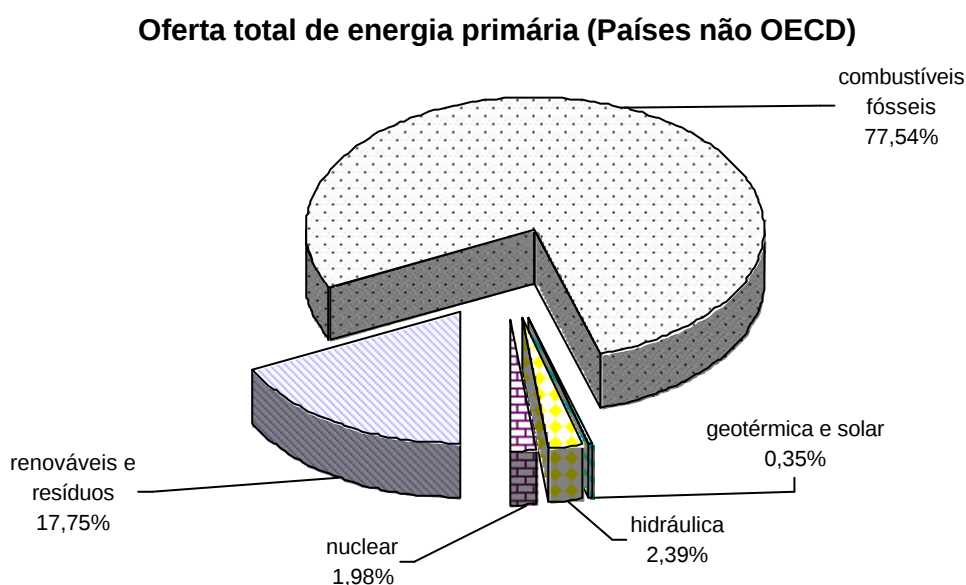


Figura 13: Oferta total de energia primária para países não OECD.

Fonte: IEA, 2004a.

Na verdade, a grande parcela de renováveis mostrada no gráfico dos países em desenvolvimento inclui grandes quantidades de biomassa, e nem toda biomassa, por sua vez, pode ser considerada renovável.

No caso brasileiro, até a década de 70 a lenha representava a principal fonte de energia do país. Contudo, era constituída, em sua maior parte, de lenha nativa, ou seja, retirada diretamente das florestas nativas. Seu uso abrangia os setores residencial (cocção de alimentos), industrial (aquecimento) e agropecuário (secagem de

grãos) (Cima, 2006). Atualmente, porém, a parcela de biomassa renovável, e portanto, lenha de reflorestamento, já é significativa no Brasil (Goldemberg e Coelho, 2004 e Geller *et al*, 2004). O consumo de lenha renovável varia de acordo com o setor de consumo. No setor residencial, por exemplo, a parcela é estimada em 50%, e nos setores industriais, comercial, público e agropecuário esta parcela cai para 20%. Para as carvoarias este percentual foi estimado em 54% para o ano de 1994 (Schechtman *et al*, 1998). Ressalta-se que os números apresentados no BEN para consumo final de lenha baseiam-se em séries históricas (construídas através dos Censos de 1970 e 1980 realizados pelo IBGE) e extrapolações (MME, 1988a), e, portanto, são sujeitos a desvios significativos da realidade, também em função da idade das pesquisas. Como destaca Schwob (2007), 68,6% do consumo de lenha, resíduos agrícolas e industriais na indústria de cerâmica vermelha (estrutural) está fora das estatísticas oficiais (no caso, BEN 2005).

O mesmo problema se aplica ao caso da Olade, por representar países em desenvolvimento. Portanto, deve-se ter ciência de que, ao se trabalhar com a quantidade de lenha expressa no balanço energético na formulação de possíveis indicadores de participação de energia renovável na matriz energética, o indicador estará contaminado por uma parte não-renovável de lenha, e, portanto, não representará com fidelidade o retrato da situação energética do país.

Outro problema avistado em relação às fontes renováveis é o nível de agregação com que as metodologias internacionais apresentam seus dados. Destaca-se o caso da IEA, que agrega, em “combustíveis renováveis e resíduos”, resíduos que não são necessariamente renováveis (conforme exposto no capítulo 3). A Eurostat, por outro lado, destaca que, em sua coluna “biomassa” somente são considerados resíduos renováveis. Assim, nas metodologias IEA e ONU, o nível de agregação é muito alto, impossibilitando, por exemplo, a análise da cadeia do álcool etílico em suas matrizes energéticas. A metodologia Olade, por sua vez, agrega o álcool etílico à gasolina, e, portanto, também dificulta a análise desta cadeia. Já o BEN estrutura melhor a cadeia deste energético de importância crescente. Todos estes pontos afetam a formulação de indicadores sobre participação de renováveis na matriz energética de um país.

Apesar da pouca relevância despendida às fontes renováveis em seus balanços energéticos, a IEA, ONU e Eurostat já sinalizam na direção de reverter este quadro, reconhecendo a importância e o crescimento da participação destas fontes no cenário mundial (IEA/OECD/Eurostat/UNECE, 2004).

Contabilização da eletricidade primária

Como as fontes de energia nuclear, hidráulica e geotérmica são transformadas em eletricidade (energia secundária), introduz-se aí o problema de contabilização da energia primária. É necessária a adoção de convenções para que esta energia primária seja mensurada na unidade de contabilização do balanço energético.

Existem diferentes maneiras de contabilização destas energias. Há possibilidade de contabilizá-las em termos do conteúdo energético do combustível fóssil equivalente que seria necessário para gerá-las (portanto, uma eficiência de conversão de 33%), ou considerando-as como as próprias energias primárias (eficiência de 100%), ou utilizando eficiências mais próximas da realidade (33% para nuclear, 80% para hidrelétrica – hipotética eficiência média de centrais hidrelétricas - e 10% para geotérmica). De modo a ilustrar o impacto da escolha das eficiências de conversão de energia primária sobre a eficiência energética de um sistema (1ª lei da termodinâmica), serão utilizados os casos abaixo (United Nations, 1982):

Tabela 24: Eficiências de conversão para cada caso.

Caso	Eficiências de conversão (%)		
	Nuclear	Hidráulica	Geotérmica
A	33	33	33
B	33	80	10
C	100	100	100

Fonte: United Nations, 1982.

Nos balanços abaixo, serão adicionadas colunas para cada fonte energética acima e linhas para cada centro de transformação relacionado, de forma a explicitar a contabilização.

Tabela 25: Balanço energético simplificado para o caso A.

	Carvão	Petróleo	Derivados	Nuclear	Hidráulica	Geotérmica	Elettricidade	TOTAL
Produção	100			10	10	10		130
Importação	10	100						110
Exportação			-1					-1
Oferta interna	110	100	-1	10	10	10	0	239
Centrais Nucleares				-10			3	-7
Centrais Hidráulicas					-10		3	-7
Centrais Geotérmicas						-10	3	-7
Centrais Térmicas convencionais			-90				30	-60
Refinarias		-100	95					-5
TOTAL	0	-100	5	-10	-10	-10	39	-86
Consumo final	110	0	4	0	0	0	39	153

Fonte: United Nations, 1982.

Tabela 26: Balanço energético simplificado para o caso B.

	Carvão	Petróleo	Derivados	Nuclear	Hidráulica	Geotérmica	Elettricidade	TOTAL
Produção	100			10	3,75	30		143,75
Importação	10	100						110
Exportação			-1					-1
Oferta interna	110	100	-1	10	3,75	30	0	252,75
Centrais Nucleares				-10			3	-7
Centrais Hidráulicas					-3,75		3	-0,75
Centrais Geotérmicas						-30	3	-27
Centrais Térmicas convencionais			-90				30	-60
Refinarias		-100	95					-5
TOTAL	0	-100	5	-10	-4	-30	39	-99,75
Consumo final	110	0	4	0	0	0	39	153

Fonte: United Nations, 1982.

Tabela 27: Balanço energético simplificado para o caso C.

	Carvão	Petróleo	Derivados	Nuclear	Hidráulica	Geotérmica	Elettricidade	TOTAL
Produção	100			3	3	3		109
Importação	10	100						110
Exportação			-1					-1
Oferta interna	110	100	-1	3	3	3	0	218
Centrais Nucleares				-3			3	0
Centrais Hidráulicas					-3		3	0
Centrais Geotérmicas						-3	3	0
Centrais Térmicas convencionais			-90				30	-60
Refinarias		-100	95					-5
TOTAL	0	-100	5	-3	-3	-3	39	-65
Consumo final	110	0	4	0	0	0	39	153

Fonte: United Nations, 1982.

A tabela abaixo mostra os resultados encontrados em cada caso:

Tabela 28: Resultados na oferta interna de energia pela variação da eficiência de conversão.

Caso	Oferta Interna	Perdas na transformação	Consumo Final
A	239	86	153
B	252,75	99,75	153
C	218	65	153

Fonte: United Nations, 1982.

Como visto acima, a variação da eficiência de conversão altera o total da oferta de energia e das perdas de conversão, mas não a quantidade de energia no consumo final. Assim, percebe-se a importância de definir claramente as rotas adotadas na construção de um balanço energético.

A seguir, calcula-se a eficiência de 1ª lei para os sistemas, de forma a ilustrar o impacto que a eficiência de conversão adotada produz:

Tabela 29: Cálculo das eficiências de 1ª lei para sistemas energéticos com eficiências de conversão distintas.

	caso A	caso B	caso C
Oferta interna	239	252,5	218
Consumo final	153	153	153
η 1ª lei	64,02%	60,59%	70,18%

Fonte: Elaboração própria a partir de United Nations (1982).

De forma, então, a visualizar o impacto da adoção de eficiências de conversão sobre os balanços energéticos aqui estudados, aplicar-se-á a eficiência de conversão de energia hidráulica considerada na metodologia Olade (adota 80%) sobre os dados de energia hidráulica e eletricidade constantes no BEN 2005 (adota 100%) (ano base 2004):

Tabela 30: Impacto das eficiências de conversão sobre a oferta de energia primária total de um sistema energético.

EFICIÊNCIA DE 100%			EFICIÊNCIA DE 80%		
Energia hidráulica	Eletricidade	TPES	Energia hidráulica	Eletricidade	TPES
TPES	-27.588	213.370	TPES	-34.485	220.267
Centrais elétricas serviço público	-26.538	30.060	Centrais elétricas serviço público	-33.173	30.060
Centrais elétricas autoprodutoras	-1.050	3.260	Centrais elétricas autoprodutoras	-1.313	3.260
PARTICIPAÇÃO DA HIDRÁULICA NA TPES =		12,93%	PARTICIPAÇÃO DA HIDRÁULICA NA TPES =		15,66%

Fonte: Elaboração própria a partir de MME (2005) e Olade (2004).

Ou seja, caso um analista, de posse dos balanços energéticos do Brasil e do México (metodologia Olade) compare a participação da energia hidráulica sobre a TPES (*Total Primary Energy Supply*) destes países, a conclusão tomada estará equivocada, caso o analista não tenha ciência da diferença nas eficiências de conversão adotadas.

5.3.4. Classe IV: Desagregação de atividades:

O aço, basicamente, é uma liga de ferro e carbono. Comparado ao ferro apresenta maior resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo o aço passou a representar cerca de 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial (IBS, 2007). O ferro utilizado no processo vem do minério de ferro e é fortemente associado ao oxigênio e à sílica. Já o carbono é fornecido pelo carvão mineral ou, em alguns casos, pelo carvão vegetal. O carvão exerce duplo papel na fabricação do aço: como combustível, permite alcançar altas temperaturas (cerca de 1.500° Celsius) necessárias à fusão do minério. Como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério devido à alta temperatura, deixando livre o ferro. Este processo de remoção do oxigênio do ferro para ligar-se ao carbono chama-se redução e ocorre dentro de um equipamento chamado alto forno. Porém, antes de serem carregados no alto-forno, o minério e o carvão são preparados, para que o processo tenha maior rendimento e economia. Através da sinterização, o minério pulverizado é fundido com fíler calcário ou areia silicosa mais coque pulverizado. Este material é conhecido como sínter, e será introduzido no alto-forno. Já a preparação do carvão mineral consiste em sua destilação na coqueria, para retirada de impurezas, na ausência de ar e à temperatura de aproximadamente 1300°, durante 18 horas. Este processo, conhecido como coqueificação, provoca a liberação de gases (gás de coqueria) e resulta em um resíduo poroso, composto basicamente de carbono, com elevada resistência mecânica e alto ponto de fusão denominado coque metalúrgico. Co-produtos deste processo são o gás de coqueria, alcatrão, entre outros, que são separados e purificados e utilizados como combustíveis na manufatura do aço. O coque metalúrgico é utilizado no alto-forno na obtenção do ferro-gusa e, pulverizado, nos processos de sinterização e aciaria (Limeira, 2000). A figura 14 ilustra o processo simplificado:

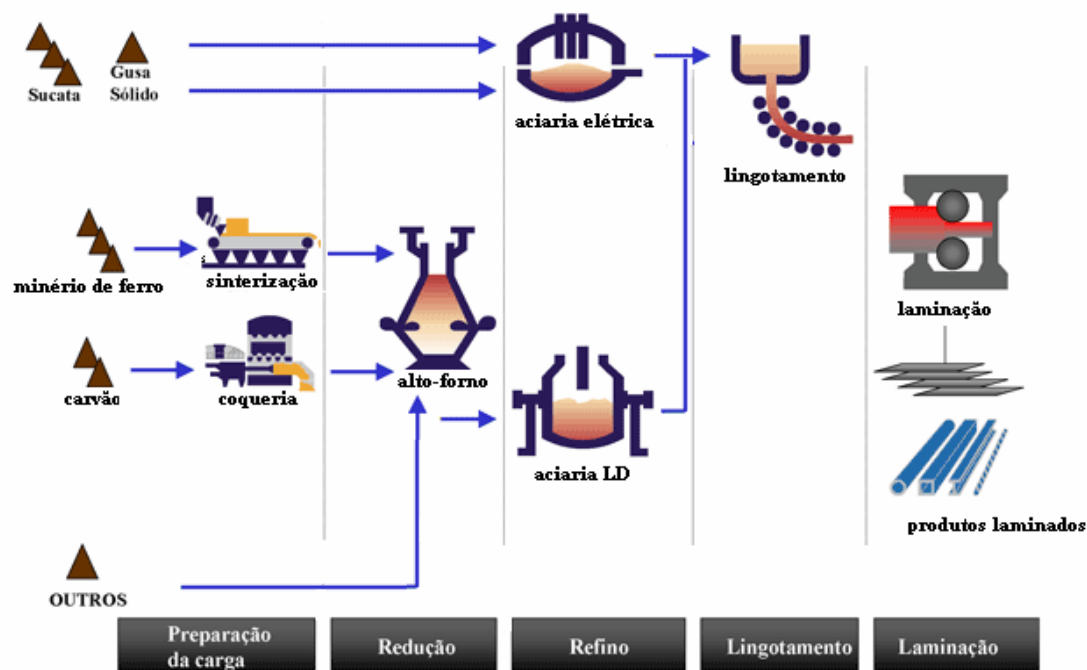


Figura 14: Processo simplificado da produção de aço.

Fonte: IBS, 2007.

Após a entrada no alto-forno, o minério de ferro é reduzido através de uma reação exotérmica. Oxigênio aquecido a uma temperatura de 1000°C é soprado pela parte de baixo do alto forno. O carvão, em contato com o oxigênio, produz calor que funde a carga metálica e dá início ao processo de redução do minério de ferro em um metal líquido: o ferro-gusa. O gusa é uma liga de ferro e carbono com um teor de carbono muito elevado (IBS, 2007). Deste processo resultam o ferro-gusa, escória de alto-forno (impurezas como calcário, sílica, etc, que servirão de matéria-prima para a fabricação de cimento) e gás de alto-forno. A etapa seguinte é a fabricação do aço, onde o ferro-gusa é levado para a aciaria, e submetido à temperatura de 1700°C. Através da injeção de oxigênio pela massa fundida, oxidam-se e eliminam-se as impurezas, assim como o excesso de carbono.

A indústria siderúrgica é um importante *player* no consumo energético mundial. Para o ano de 1998, representou um consumo de 5% do total (Farla e Blok, 2001) e no caso nacional, seu consumo é de 25% de toda energia consumida no setor industrial (BEN, 2005). Da mesma forma, é grande foco de emissão de gases do efeito estufa (Hidalgo *et al*, 2005). O cenário futuro desta indústria é, ainda, de crescimento, em virtude da crescente demanda dos países em desenvolvimento. Apesar da parcela importante de emissões de gases de efeito estufa, a crescente percentagem de reciclagem de aço nesta indústria têm contribuído para evitar mais emissões e diminuir

o consumo de energia (IISI, 2006). Além disso, a utilização de co-produtos do processo, como gás de alto-forno, também contribui neste sentido. Por tudo isso, há muita informação sobre consumo de energia e intensidade energética para este setor.

A produção brasileira neste setor é bastante significativa no cenário mundial. Em 2005, o país representou o 9º maior produtor de aço mundial, entregando 31.6 milhões de toneladas métricas de aço ao mercado, e o 5º maior produtor de ferro-gusa.(IISI, 2006). Possui ainda, duas empresas com posição de destaque mundial em relação à entrega de aço ao mercado, a Gerdau, em 14º, e a Usiminas, em 29ª. Frente à importância da indústria de ferro e aço no Brasil, seria interessante o BEN oferecer maior destaque a esta questão.

Por constituir setor energo-intensivo, e ser o maior consumidor do setor industrial, é importante que balanços energéticos destaquem a cadeia e os processos utilizados na indústria de ferro e aço. Tem-se que, apesar de o alto-forno não ser destinado à conversão de combustíveis, mas à manufatura do ferro, é considerado parte do setor de transformação, pois converte um energético (coque) em outro energético (gás de alto-forno). Portanto, em virtude da grande magnitude com que usa combustíveis, não se pode deixar de registrar estes processos. A seguir, mostra-se o tratamento oferecido nos balanços energéticos estudados.

Tabela 31: Estruturação da cadeia do carvão mineral nos balanços energéticos estudados.

EUROSTAT	Carvão	Patent fuels	Coque	Linho	Briquetes	Alcatrão	Gases derivados	IEA	Carvão	Gases	ONU	Carvão duro, linho e turfa	Briquetes e coques	Gás manufaturado	OLADE	Carvão	Coque de carvão e de petróleo	Gases	BEN	Carvão metalúrgico	gás de cidade e coqueria	coque de carvão	alcatrão
Plantas de <i>patent fuels</i> e briquetes								Plantas de gaseificação			Plantas de briquetes												
Coquerias								Transformação do carvão			Coquerias				Coquerias e Alto-fornos				Coquerias				
Alto-fornos											Alto-fornos												
Plantas de gaseificação											Plantas de gaseificação												
Indústrias Ferro e Aço								Indústrias Ferro e Aço			Indústrias Ferro e Aço				Indústria				Indústrias Ferro e Aço				

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA (2004), United Nations (2005), Olade (2004) e EPE (2006).

Resumindo, portanto, o exposto nos capítulos 3 e 4 a respeito do tratamento ofertado pelas metodologias estudadas à questão de contabilização do coque entre alto-fornos e consumo final:

- Eurostat: mostra-se como a metodologia mais adequada, por expor, em seu setor de transformação, o centro “alto-forno”, e dividir

a quantidade total de coque que entra em um alto-forno entre o consumo final e gás de alto-forno. Apresenta um nível alto de desagregação dos energéticos da cadeia do carvão. O gás de alto-forno, por sua vez, pode ser reutilizado no alto-forno (considerado consumo do setor energético), na autoprodução de energia (consumo do setor de transformação) ou utilizados em outros processos da siderurgia que não o alto-forno (atribuídos ao consumo final). Assume que a conversão de coque para gás de alto-forno ocorre sem perdas.

- IEA: apesar de possuir a mesma metodologia de contabilização da Eurostat para a cadeia de carvão, não explicita isto em seu balanço energético, agregando todos os produtos da cadeia em somente duas colunas, “carvão” e “gases”, e possuindo apenas 2 centros relacionados ao carvão, quais sejam “plantas de gaseificação” e “transformação do carvão”. O nível de agregação de seu balanço energético é alto, dificultando a visualização das cadeias. Como a coleta de dados é realizada da mesma forma que a Eurostat realiza, pois são os mesmos questionários, a apresentação dos dados na matriz poderia ser no mesmo nível de agregação.
- Olade: considera que todo coque que entra no alto-forno deve ser atribuído ao setor de transformação. Ou seja, todo o coque que sai da coqueria entra no setor alto-forno, e não é dividido entre este e o consumo final, como IEA/Eurostat fazem. Considera que se trata de um “reciclo interno” e, talvez por isso, considere em uma mesma linha coquerias e alto-fornos. A agregação do coque de petróleo na mesma coluna que coque de carvão dificulta a visualização da cadeia do carvão.
- ONU: apresenta o centro “alto-forno”, porém, da mesma forma que Olade, o agrega ao centro coqueria, dificultando bastante a visualização da quantidade de coque produzida na coqueria e que é inserida no alto-forno. Em sua metodologia não explicita como é a divisão entre coque atribuído ao consumo final e à geração de gás de alto-forno.

- BEN: não apresenta o centro “alto-forno” em seu setor de transformação. Credita todo o coque que é consumido no alto-forno ao setor de consumo final.

De forma a ilustrar o impacto que a metodologia adotada pelo BEN oferece sobre o indicador de consumo energético do setor industrial, mais precisamente, da indústria de ferro-gusa e aço, aplicar-se-á o método da Eurostat acerca da contabilização dos derivados do carvão mineral sobre a matriz BEN 2006 (ano base 2005). Para isso, será inserido no setor de transformação o centro “alto-forno”, de forma que se possa contabilizar o coque transformado em gás de alto-forno e aquele efetivamente consumido pelo setor de consumo final.

Na falta de dados a respeito da produção de gás de alto-forno para o caso brasileiro, o método utilizado será aplicar, sobre os dados do BEN 2006, as proporções apresentadas no balanço energético 2005 da Eurostat, para 27 países da União Européia (Eurostat, 2007), entre os energéticos em questão relacionados à cadeia do carvão mineral. Ressalta-se que, escolhendo um universo maior de países, os dados apresentados compreendem uma média das indústrias siderúrgicas, e, portanto, representam tecnologias diversas. Trata-se de um modo melhor de se embasar, ao invés de utilizar os dados de apenas um país. Existem, é claro, diferenças tecnológicas na indústria siderúrgica entre cada país⁶⁴. Porém, o objetivo é apenas poder, de alguma forma, estimar qual seria o impacto da introdução do centro de transformação alto-forno sobre a contabilização energética da indústria de ferro-gusa e aço. Portanto, assumir-se-á que as indústrias siderúrgicas em questão possuem características semelhantes.

As matrizes do BEN ano base 2005 e Eurostat, compostas apenas com os energéticos de interesse em cada caso são:

⁶⁴ A União Européia possui países de grande peso na produção mundial de aço, assim como o Brasil. Para ilustrar, no ano de 2005, a produção da Alemanha, Itália, França e Espanha representaram, respectivamente, as 6ª, 10ª, 12ª e 14ª maiores produções mundiais de aço. A proporção de utilização de fornos a oxigênio e arco elétrico na União Européia e no Brasil são parecidas, 61,2 e 38,8%, e 76,2 e 22%, respectivamente (IISI, 2006). Para maiores informações a respeito da manufatura de aço, consultar De Beer *et al*, 1998.

Tabela 32: Balanço energético simplificado para os principais produtos e atividades envolvidos na indústria de ferro-gusa e aço, para Eurostat 2005.

1.000 tEP	carvão	coque	gás de coqueria	gás de alto-forno
oferta total		2.112	0	0
entrada centrais térmicas públicas	145.568		913	3.852
entrada autoprodução	6.316		765	2.655
entrada coquerias	45.081	116		
entrada gaseificação	436			
entrada district heat	3.792			
entrada alto-forno	0	14.538		
saída coquerias		33.954	7.821	
saída alto-forno				14.601
saída gaseificação				
consumo setor energético		225	2.939	1.664
- consumo coquerias e gaseificação	339	225	2.661	1.273
perdas	40		131	754
consumo final não energético	234	252		
consumo final energético	29.337	20.663	3.063	5.686
- consumo final industrial	20.172	20.284	3.063	5.686
- ferro e aço	9.323	19.014	2.682	5.682

Fonte: Eurostat, 2007.

Tabela 33: Balanço energético simplificado para os principais produtos e atividades envolvidos na indústria de ferro-gusa e aço a partir de BEN 2006.

1.000 tEP	coque
Oferta interna bruta	1.069
coquerias	5.363
perdas	-12
consumo final	6.420
setor energético	0
industrial - TOTAL	6.420
cimento	39
ferro gusa e aço	6.067
ferro ligas	92
mineração e pelot.	80
não-ferrosos e outros metalurgia	139
papel e celulose	3

Fonte: EPE, 2006.

Para poder-se adicionar o centro alto-forno no setor de transformação do BEN, teríamos que obter a quantidade de coque que é transformada em gás de alto-forno, e depois, o destino deste gás de alto-forno, que pode ir à autoprodução, ser reinjetado no próprio alto-forno (consumo setor energético) ou consumido pelo setor de consumo final. A idéia aqui é aplicar o mesmo retrato destes destinos que ocorreram no balanço Eurostat para o caso brasileiro.

A primeira proporção será feita entre a quantidade total disponível de coque no ano (produzido nas coquerias $\pm$ oferta interna - perdas) para o balanço Eurostat e o coque inserido no alto-forno. Esta proporção será aplicada sobre o coque

disponível no BEN. Vê-se, no Balanço Eurostat, que a quantidade de coque direcionada ao alto-forno (14.538 tEP) dividida pela quantidade disponível (produção das coquerias + oferta total = 36.066 tEP) resulta na percentagem de 40,3%. Esta proporção é aplicada sobre a quantidade de coque disponível no BEN (oferta interna + produção coquerias + perdas). Assim, tem-se a quantidade de coque transformada em gás de alto-forno (pois a Eurostat adota uma eficiência de conversão de 100%, e que também será adotada aqui por simplificação). O restante do coque disponível (59,7%) no BEN será distribuído entre os setores e indústrias do consumo final na mesma proporção anterior à diminuição do coque que foi ao alto-forno.

Tabela 34: Oferta interna, produção, perdas e consumo de coque retratados no BEN 2006.

1.000 tEP	coque	proporção no consumo final
Oferta interna bruta	1.069	
coquerias	5.363	
perdas	-12	
consumo final	6.420	
setor energético	0	
industrial - TOTAL	6.420	1
cimento	39	0,6075%
ferro gusa e aço	6.067	94,5016%
ferro ligas	92	1,4330%
mineração e pelot.	80	1,2461%
não-ferrosos e outros metalurgia	139	2,1651%
papel e celulose	3	0,0467%

Fonte: EPE, 2006.

Tabela 35: Aplicação da proporção encontrada no Balanço Eurostat sobre o coque disponível no BEN.

1.000 tEP	coque	gás de alto-forno
Oferta interna bruta	1.069	
coquerias	5.363	
alto-forno	-2.588	2.588
perdas	-12	
consumo final	3.832	
setor energético		
industrial - TOTAL	3.832	
cimento	23	
ferro gusa e aço	3.621	
ferro ligas	55	
mineração e pelot.	48	
não-ferrosos e outros metalurgia	83	
papel e celulose	2	

Fonte: Elaboração própria a partir de Eurostat (2007) e EPE (2006).

Em seguida, tratar-se-á da distribuição do gás de alto-forno por entre os setores. Têm-se 3 opções de tratamento ao gás de alto-forno, de acordo com a

metodologia Eurostat: autoprodução, consumo do setor energético ou consumo final do setor industrial. Em relação ao consumo do setor energético, perdas e consumo do setor industrial, adotar-se-ão as mesmas proporções que a Eurostat, pois está se assumindo aqui as mesmas características para as indústrias siderúrgicas da Eurostat e no Brasil. Estes destinos ao energético serão implementados na matriz do BEN na mesma proporção que ocorreram na matriz da Eurostat. Após esta destinação, o restante do gás de alto-forno será atribuído à autoprodução⁶⁵. No caso da Eurostat, existe uma parcela de gás de alto-forno destinada às centrais elétricas de serviço público. Não se adotou tal destino no caso brasileiro.

Tabela 36: Aplicação das proporções encontradas no balanço Eurostat sobre o BEN. Unidades: tEP

1.000 tEP	coque	gás de alto-forno
Oferta interna bruta	1.069	
coquerias	5.363	
alto-forno	-2.588	2.588
autoprodução		-1.152
perdas	-12	-134
consumo final	3.832	
setor energético		295
industrial - TOTAL	3.832	
cimento	23	
ferro gusa e aço	3.621	1.007
ferro ligas	55	
mineração e pelot.	48	
não-ferrosos e outros metalurgia	83	
papel e celulose	2	

Fonte: Elaboração própria a partir de Eurostat (2007) e EPE (2006).

É claro que existem outras alterações provocadas no balanço energético, como, por exemplo, o aumento da quantidade gerada de eletricidade provocada pela destinação de parte do gás de alto-forno à autoprodução, ou o aumento nas perdas. Porém, estas correções não serão mostradas aqui, pois não são o alvo do assunto aqui tratado. Ressalta-se apenas que a eletricidade gerada pela autoprodução utilizando gás de alto-forno será consumida pelo setor de ferro-gusa e aço. Este dado, porém, não é explicitado pelo balanço energético da Eurostat. De modo a estimá-lo, portanto, usar-se-á uma eficiência usual de termelétrica convencional para a conversão

⁶⁵ A título de enriquecimento do trabalho, cita-se aqui a distribuição do consumo de gás de alto-forno na Usina Presidente Vargas, pertencente à Companhia Siderúrgica Nacional: 17% direcionado a coqueria, 25% direcionados à autoprodução, 27% consumidos no alto-forno e 31% perdidos (CSN, 1996).

do gás de alto-forno em eletricidade, ou seja, eficiência de 33%, sobre a quantidade de gás de alto-forno destinada a autoprodução na tabela 36.

Pode-se, agora, comparar o consumo final de coque do setor de ferro-gusa e aço antes e depois da inserção do centro de transformação alto-forno na matriz. Anteriormente, ao setor de consumo final industrial era destinada toda a quantidade de coque importada/exportada mais a produzida. Após a inserção do centro alto-forno, podem-se separar as quantidades de coque consumidas realmente daquelas transformadas em gás de alto-forno e este, por sua vez, pode ser separado nas parcelas consumidas diretamente e destinadas a autoprodução. O consumo total da indústria de ferro-gusa e aço será composto pelo coque consumido na redução do minério de ferro, mais a parcela de gás de alto-forno consumida diretamente e a eletricidade que foi gerada pela autoprodução a gás de alto-forno (aplicando-se eficiência de 33% sobre a quantidade de gás de alto-forno destinada a autoprodução).

Tabela 37: Diferença no consumo de coque da indústria de ferro-gusa e aço, considerando a inserção de alto-forno no setor de transformação.

1000 tEP	Antes	Depois		
	coque	coque	gás alto-forno	eletricidade
consumo indústria ferro-gusa e aço (tEP)	6.067	3.621	1.007	380
TOTAL	6.067	5.009		
Diferença	82,56%			

Fonte: Elaboração própria a partir de Eurostat (2007) e EPE (2006).

Esta diferença de 82,56% é bastante significativa, visto que se aplica à enorme quantidade de combustíveis consumidos por esta indústria.

Ou seja, a inserção do alto-forno na matriz do BEN “corrigiria” o consumo da indústria de ferro-gusa e aço. Da forma anterior, sem a consideração do alto-forno, o consumo desta indústria era sobreestimado e assim, poder-se-ia tomar conclusões equivocadas a respeito, por exemplo, da intensidade energética de setor.

6. CONCLUSÃO

Primeiramente, analisou-se a importância da informação no planejamento energético. Para isso, caracterizou-se o caráter de dualidade da informação (é um bem, possui mercado e ao mesmo tempo faz parte de qualquer outro mercado), e sua relação no surgimento de falhas de mercado. O fato de que a informação tem características de bem público e ser bem meritório justifica a importância de sua provisão por parte do governo, de forma a corrigir possíveis assimetrias de informação nos mercados, direcionando seus desenvolvimentos e induzindo práticas de benchmarking. Esta regulação informacional tornou-se ainda mais importante com a abertura dos mercados de energia e as privatizações de empresas, que pulverizaram as fontes de informação e introduziram a questão da confidencialidade de dados.

A partir do 1º choque do petróleo, em 1973, e com a percepção da grande dependência em relação ao petróleo, as nações industrializadas passaram a direcionar maior atenção a um planejamento dos sistemas energéticos. Surgiu um questionamento acerca da importância deste energético, do modo com que até então era utilizado, do seu impacto na economia e de possíveis fontes que viessem a substituí-lo. Enfim, passou-se a despender grande atenção ao uso da energia, e não mais somente à sua oferta. Porém, através disto, percebeu-se a falta de estatísticas detalhadas que relacionassem as diferentes formas de energia entre si e seus usos.

O surgimento da Agência Internacional de Energia (IEA) ocorreu como uma tentativa de, entre outras metas, se debelar este quadro, com o comprometimento dos países membros de estabelecer um sistema de informação sobre energia. Assim, diante de todo interesse insurgente a respeito da dinâmica energética, sentiu-se necessidade da criação de uma estrutura de contabilização que representasse todas as fontes e fluxos de energia utilizados no país em uma única unidade, de forma que cada fluxo possa ser traçado desde sua origem (produção ou importação), passando pela transformação até seu consumo.

Estas matrizes de contabilização que aí surgiram - os balanços energéticos - formam a base do planejamento energético, permitindo análises e a obtenção de indicadores que norteiam a condução de políticas energéticas. Assim, outras entidades estatísticas, que não somente a IEA, passaram a realizar balanços

energéticos. Atualmente, destacam-se a Eurostat, Olade e ONU, e no âmbito Nacional, o Ministério de Minas e Energia.

Essas matrizes são o primeiro passo na análise da situação energética de um país, e, portanto, sempre são usadas na comparação internacional. Diante disto, é importante que haja uma convergência metodológica entre elas. Assim, o capítulo 3 deste trabalho iniciou-se fazendo um apanhado geral acerca dos princípios dos balanços energéticos das metodologias internacionais escolhidas para análise. Alguns princípios estudados não são compatíveis entre si, como, por exemplo, a classificação das atividades econômicas e o nível de agregação de fontes e/ou atividades.

Em relação às metodologias internacionais de oferta, transformação e consumo das cadeias energéticas, existem muitas disparidades. Na cadeia da eletricidade e calor, um dos principais pontos que se destaca é a contabilização das fontes primárias de eletricidade, em especial em relação à energia hidráulica e à nuclear. Ainda, a cogeração também é ponto delicado nas metodologias, devendo-se gastar mais atenção com relação ao rendimento adotado da transformação.

Com relação ao petróleo e derivados, a definição de bunkers incita debates internacionais, como forma de possibilitar a contabilização das emissões de gases de efeito estufa nos inventários nacionais, de acordo com a metodologia IPCC. Existem muitos pontos frágeis ainda, como a questão da alocação do consumo militar de combustível, ou a definição de bunker aéreo. Ademais, a metodologia Olade, por exemplo, não recomenda a definição desta atividade na matriz do balanço energético devido a dificuldades de obtenção de dados a respeito, e à conseqüente fragilidade das informações, caso se tentasse obtê-las.

Para a cadeia de carvão mineral, a atenção é voltada à adoção do centro de transformação “alto-forno”, o que retrataria melhor o fluxo de energéticos no balanço.

Na cadeia das energias renováveis e resíduos, um grande problema que surge é o alto nível de agregação destas fontes nos balanços energéticos, inclusive agregando-se fontes não-renováveis às fontes renováveis. Por exemplo, agregação, por parte da metodologia Olade, do álcool etílico à gasolina. Este procedimento vai de encontro à crescente importância das fontes energéticas na matriz energética mundial, pois não possibilita uma análise correta a seu respeito.

Uma questão mais geral a respeito das metodologias estudadas refere-se à alocação do consumo do setor energético, se fazendo parte ou não do consumo final

do sistema energético. Ademais, a desagregação do setor industrial nos balanços, e a classificação industrial adotada, também é foco de grandes divergências. Frente à crescente relevância das questões ambientais para o Planejamento Energético (Cima, 2006 e Nunes, 2005), impende a correta identificação do padrão de consumo de combustíveis dentro de cada indústria e setor de consumo, de forma a viabilizar medidas de conservação de energia e redução de emissão de gases do efeito estufa.

Entre todas as análises efetuadas, deve-se atentar à questão do *trade-off* existente entre desagregação de dados, e, portanto, maior dificuldade de obtenção de informações, e importância de fontes na matriz energética.

Na análise do Balanço Energético Nacional e sua comparação às metodologias internacionais, destaca-se o esforço de convergência ocorrido nos últimos anos, como a adoção do PCI dos energéticos, e a mudança do método de contabilização da energia hidráulica para geração de eletricidade: a partir de 2002, o BEN passou a adotar o critério teórico de conversão, abandonando o método de equivalência térmica. Porém, ainda restam muitos pontos de divergência das metodologias internacionais. Na cadeia de calor e eletricidade, destaca-se a questão da cogeração e o rendimento adotado de conversão, na falta de informações, de 50%, sendo um fator bastante elevado para a tecnologia de turbinas e motores existente. Quanto à cadeia de petróleo e derivados, um ponto de divergência é a questão do bunker: a metodologia nacional não diferencia o tipo de rota, internacional ou nacional, mas a bandeira do navio, divergindo da sugestão de contabilização do IPCC. Na cadeia de gás natural, a inclusão de Unidades de Processamento de Gás Natural no centro de transformação não é correta, pois não se trata de centro transformador. Em relação ao carvão vegetal, a metodologia nacional não inclui o centro “alto-forno” no setor de transformação, o que impossibilita a contabilização correta do consumo do gás de alto-forno: todo o consumo deste energético é atribuído ao setor de consumo final, sobreestimando o consumo de, por exemplos, siderúrgicas. Na cadeia de renováveis e resíduos, a questão que se destaca é a necessidade de separação entre a lenha renovável da não-renovável, pois se trata de energético de peso grande no consumo de alguns setores, como o residencial. Para energia nuclear, o BEN possui metodologia mais detalhada que as internacionais, destacando o ciclo do combustível nuclear. Pontos mais gerais destacados são a inclusão de diversas atividades no segmento do setor de transformação “outras transformações”, que não permite identificar os diferentes fluxos de energéticos relacionados com essas

atividades, e a divergência entre a desagregação do setor industrial entre a CNAE e a apresentação realizada pelo BEN.

Todas estas divergências entre balanços energéticos impactam nas atividades relacionadas ao planejamento energético, pois estas matrizes energéticas são o primeiro passo na análise da situação energética de um país. Em especial, destaca-se aqui o caso dos indicadores energéticos, que são necessários para identificação de tendências em meio a informações desagregadas, caso dos balanços energéticos. Assim, percebe-se que a metodologia dos balanços energéticos impacta diretamente na qualidade destes indicadores, pois a base de dados necessários à formulação destas ferramentas são os balanços energéticos.

O indicador de eficiência energética é diretamente afetado pela escolha de alocação do consumo do setor energético: aumenta, se a alocação for no setor de consumo final, e diminui, se alocado fora do setor de consumo final. O mesmo ocorre para as emissões do consumo final de um país. Já o indicador de intensidade energética de um setor industrial é altamente prejudicado pelo nível de agregação adotado no balanço energético para o setor, ou pela não concordância entre a classificação de atividades industriais adotada no sistema de contas nacionais de um país e os setores industriais elencados no balanço energético. A participação de energias renováveis na matriz energética de um país também é um indicador que tem sua formulação dificultada se ocorrer a agregação de fontes não renováveis às renováveis. Esta agregação também pode ocorrer por problemas de definição do que é, realmente, fonte renovável. Um último indicador analisado é o consumo energético do setor industrial, mais especificamente a indústria de ferro-gusa e aço: este é extremamente afetado se não houver no setor de transformação a inclusão do centro “alto-forno”, pois, caso contrário, o consumo desta indústria é sobreestimado.

Portanto, deve-se ter ciência das divergências metodológicas encontradas em balanços energéticos internacionais para que comparações internacionais conduzidas por tomadores de decisão ou em processos de benchmarking não sejam equivocadas e direcionem decisões a partir de falsas conclusões. Ainda, a investigação a respeito destas questões poder-se-ia voltar à convergência de balanços nacionais e regionais, pois muitas políticas de GLD são focadas regionalmente, em razão do próprio conceito de análise *bottom-up* (necessidade de caracterização desagregada da demanda). Ressalta-se, assim, a necessidade de melhoria constante dos

balanços estaduais, principalmente em um país com características tão diversas quanto o Brasil.

Somando-se a estas questões, seria interessante também a análise futura de pontos ainda em discussão na atualidade, como o debate acerca de bunkers internacionais e as intenções das entidades internacionais em despendar maior atenção às cadeias dos energéticos renováveis.

Diante de todo o exposto neste trabalho, é importante destacar a questão da obrigatoriedade da cessão de informação, e a forma desta cessão, em meio a setores energéticos cada vez mais desregulados. A referência que pode ser usada aqui é o caso da *Energy Information Administration* (EIA), a agência de estatística do Departamento de Energia norte-americano (EIA, 2007). O seu objetivo na divulgação de informações é promover ações políticas sadias, mercados energéticos eficientes e compreensão pública sobre energia e sua interação com a economia e o meio ambiente. Por lei, o trabalho do EIA é independente de considerações políticas do governo, e todos os seus produtos são acessíveis em seu *website*. As leis que o criaram e regulam⁶⁶ asseguram poder de coerção para o fornecimento de dados por parte dos integrantes do sistema energético. Além disso, garantem independência do governo com relação ao conteúdo de seus relatórios. Em esfera mais ampla, também se destaca o *Freedom of Information Act*, de 1966, disponibilizando ao público norte-americano acesso aos registros do Governo Federal, com algumas exceções (informação confidencial, financeira e comercial). Ou seja, há uma notória ciência da importância da divulgação da informação, de forma a promover transparência acerca dos processos.

Este demonstra ser um campo de estudo bastante interessante e importante a ser desenvolvido, como recomendação em continuidade a esta dissertação, focando no caso brasileiro. Como não há legislação a respeito da obrigatoriedade de fornecimento de dados, nem tampouco possíveis sanções no caso do não fornecimento, tem-se que o processo de elaboração de estatísticas energéticas é frágil e baseado em dados fornecidos sem padronização e confiabilidade necessários.

Além disso, outro campo de importante aprofundamento em termos de estudo seria a disponibilização, em termos eletrônicos, de maiores detalhes acerca do

⁶⁶ Entre as principais : *Federal Energy Administration (FEA) Act*, de 1974, *Energy Conservation and Production Act*, de 1976, *Department of Energy (DOE) Organization Act*, de 1977, *Energy Policy Act of 1992* e *Energy Policy Act of 2005* (EIA, 2007).

Balanço Energético Nacional⁶⁷, como matrizes auxiliares e mais detalhadas e um possível manual acerca da metodologia de elaboração da matriz do BEN, já que em meio eletrônico não há limite de espaço pra a disponibilização de documentos, o que ocorre no caso do documento físico do BEN.

⁶⁷ O Ministério de Minas e Energia disponibiliza, em seu *website*, uma matriz 49X47 (o Balanço Energético Nacional oficial é matriz 27X47), onde há exposição das fontes energéticas de modo mais desagregado (49 fontes mostradas, ao invés das 27 da matriz oficial) (MME, 2007). Este processo não é seguido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2007).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2007, Disponível em <http://www.anp.gov.br>.
- _____, 2004, **Anuário Estatístico Brasileiro do petróleo e do Gás Natural 2004**. Rio de Janeiro, RJ.
- ARAÚJO, Antônio B., BRITO, Romildo P., VASCONCELOS, Luís S., 2006, **Exergetic analysis of distillation processes—A case study**. Energy, 32: pp. 1185-1193.
- BALLINI, R., SILVA, D., SOARES, S. e CARNEIRO, A. A. F. M., 2003, **Interpretação lingüística da operação ótima de uma usina hidroelétrica através de redes neurais nebulosas adaptáveis**. SBA Controle e Automação, 14: pp. 330-337.
- BAPTISTA, Alessandra Sleman Cardoso, 2006, **Análise da viabilidade econômica da utilização de aquecedores solares de água em Resorts no Nordeste do Brasil**. Tese MSc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2006.
- BORGES, Ítalo Lopes, 2004, **“Processo de Adequação Ambiental na Indústria Carbonífera: Estudo de Caso sobre a Implantação de Um Sistema de Gestão Ambiental”**. Tese MSc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2004.
- BRITO, Carlos Alberto de, 2005, **“A inserção da dimensão ambiental na teoria econômica”**. Revista Prima Facie, 6: pp. 108-130.
- CALAINHO, José Adalberto Lage, HORTA, Cid Antunes, GONÇALVES, Carmo e FERREIRA, Wandyr de Oliveira, **Evolução tecnológica no dimensionamento da terceira unidade geradora para a UHE Coaracy Nunes**. XIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE. 1997, Belém, Brasil.
- CATAPAN, Edílson Antônio, 2001, **“Aspectos relevantes do método fluxo de caixa descontado na avaliação de empresas de energia elétrica em processo de privatização”**. Tese MSc. UFSC. Florianópolis. 2001
- CAVE, Martin e BALDWIN, Robert, 1999, **Understanding Regulation**. Oxford: Oxford University Press.

- CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 2003. **Informativo CEPEA – Setor florestal 2003**, nº 22. Disponível em <http://www.cepea.esalq.usp.br>.
- CIMA, Fernando M., 2006, **Utilização de indicadores energéticos no planejamento energético integrado**. Tese MSc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2006.
- COMINO, Stefano, 2006, **Entry and exit with information externalities**, *Journal of Economic Behavior & Organization*, 60. pp. 85-99.
- COUTO, Hilton T. Z., BASTOS, Nelson L. M., 1988, **Fator de empilhamento para plantações de Eucaliptus no Estado de São Paulo**. IPEF, Piracicaba (38): pp. 23-27, 1987.
- CSN – Companhia Siderúrgica Nacional, 1996, **Balanço Energético Global Usina Presidente Vargas**.
- DE BEER, Jeroen, WORREL, Ernst, BLOK, Kornelis, 1998, **Future technologies for energy-efficient iron and steel making**. Annual Review Energy and Environment, 23: pp. 123-205.
- DE MICHELIS, Alberto, CHANTRAINE, Alain, 2003, **Memoirs of Eurostat- Fifty years serving Europe**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- DOE – U. S. Department of Energy, 2007. Disponível em <http://www.doe.gov>.
- EIA – Energy Information Administration, 2007. Disponível em <http://www.eia.doe.gov/>
- ELETROBRAS, 1999, **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Disponível em <http://www.eletronbras.gov.br>
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2007. Disponível em <http://www.epe.gov.br>
- _____, 2006, **Balanço Energético Nacional 2006**. Disponível em <http://www.ben.epe.gov.br>.
- EUROSTAT, 2007, **Base de dados Online**. Disponível em: <http://www.eu.int/comm/eurostat>.

- FAO, 1997, **Data collection & analysis for area-based energy planning - A Case Study in Phrao District, Northern Thailand**. Bangkok: Food and Agriculture Organization of The United Nations
- _____, 2001, **Reform and Decentralization of Agricultural Services: A Policy Framework**. Roma: Food and Agriculture Organization of The United Nations.
- FARLA, Jacco C. M., BLOK, Kornelis, 2001, **The quality of energy intensity indicators for international comparison in the iron and steel industry**. Energy Policy, 29: pp. 523-543.
- FERREIRA, Pedro Cavalcanti, GUILLÉN, Osmani Teixeira de Carvalho, 2004, **Estrutura competitiva, produtividade industrial e liberalização comercial no Brasil**". Revista Brasileira de Economia: 58. Rio de Janeiro.
- FONSECA, A. R. Barroso, SOARES, W. T. T., MARTINEZ, C. B., TORRES, L. A. B., AGUIRRE, L. A., 2003, **Levantamento de Incertezas no Cálculo do Rendimento de um Grupo Gerador**. III Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica – CITENEL, Salvador, Brasil.
- FREEMAN, Scott L., NIEFER, Mark J., ROOP, Joseph M., 1997, **Measuring industrial energy intensity: practical issues and problems**. Energy Policy, 25: pp. 703-714.
- GELDERS, Dave, 2005, **Public Information problems in the implementation of public policy: the long road of the reflecting license plate in Belgium**. Government Information Quarterly 22: pp. 374-388.
- GELLER, Howard, SCHAEFFER, Roberto, SZKLO, Alexandre, TOLMASQUIM, Maurício, 2004, **Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil**. Energy Policy, 32: pp. 1437-1450.
- GOLDEMBERG, José, COELHO, Suani Teixeira, 2004, **Renewable energy—traditional biomass vs. modern biomass**. Energy Policy 32: pp. 711-714.
- HEZRI, A. A, 2004, **Sustainability indicator system and policy processes in Malaysia: a framework for utilisation and learning**. Journal of Environmental Management, 73: pp. 357-371.

- HIDALGO, Ignácio, SZABO, Laszlo, CISCAR, Juan Carlos, SORIA, Antonio, 2005, **Technological prospects and CO2 emission trading analyses in the iron and steel industry: A global model**. Energy, 30: pp. 583-610.
- IAEA, 2005, **Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodology**. Austria: Agência Internacional de Energia Atômica .
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007 – **Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CONCLA**, versão 1.0, segunda edição, Rio de Janeiro, RJ.
- _____, 2007a – **Sistema de Contas Nacionais** - Brasil 2000 – 2005, Rio de Janeiro, RJ.
- _____, 2005, **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2005– PNAD**. Brasil.
- _____, 2005a – **Pesquisa Industrial Anual 2005**. Brasil.
- IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2007. Disponível em <http://www.ibs.org.br>.
- IEA – *International Energy Agency*, 2007. **Base de dados Online**. Disponível em <http://www.iea.org>.
- _____, 2006, **Major Challenges Faced in Data Collection in OECD Countries, Taking the Energy Indicators Work Forward**. . IEA, Paris.
- _____, 2004, **Energy Statistics Manual**. IEA, Paris.
- _____, 2004a, **Energy Balances of non-OECD countries**. IEA, Paris.
- _____, 2004b, **Energy Balances of OECD countries**. IEA, Paris.
- _____, 2004c, **Oil Crises & Climate Challenges - 30 years of Energy Use in IEA Countries**. . IEA, Paris.
- _____, 2001, **Nuclear Power in the OECD**. IEA, Paris.
- _____, 1994, **IEA: The First 20 years – volume I: Origins and Structure**. . IEA, Paris.
- _____, 1994a, **IEA: The First 20 years – volume II: Major Policies and Actions**. . IEA, Paris.
- IEA/OECD/Eurostat/UNECE, 2004, **Energy Statistics Working Group Meeting**. IEA, Paris.

- IEDI – Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, 2006. Carta IEDI n. 227, **Produtividade Industrial: Crescendo Mas Perdendo o Fôlego**. Setembro, 2006.
- IEFS – International Energy Forum, 2007. Disponível em <http://www.iefs.org.sa>
- IFIAS, 1974, **Energy Analysis, IFIAS Report n.6**. Sweden: International Federation of Institutes of Advanced Study.
- IISI – International Iron and Steel Institute, **World Steel in Figures 2006**. Disponível em www.iisi.org.
- IPCC, 2006, **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Disponível em <http://www.ipcc.ch/>
- JANNUZZI, Gilberto, SWISHER, Joel, 1997, **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos**. Campinas: Autores Associados.
- KARBUZ, Sohb, 1998, **Achieving accurate international comparisons of manufacturing energy use data**. Energy Policy, 26: pp. 973-979.
- KINOSHITA, Yuko e MODY, Ashoka, 1997, **The usefulness of private and public information for foreign investment decision**, Policy Research Working Paper, 1733.
- KONAR, Shameek e COHEN, Mark, 1997, **Information As Regulation: The Effect of Community Right to Know Laws on Toxic Emissions**. Journal of Environmental Economics and Management, 32: pp 109-124.
- LASTRES, Helena M. M., 1999, **Informação e conhecimento na nova ordem mundial**. Ciência da Informação, 28: pp.72-78.
- LERNER, Gerson Luiz Soriano, 2006, **Estudo de impactos na geração hidroelétrica ao longo do Rio São Francisco devido à transposição de suas águas utilizando modelo matemático de fluxos em Rede Acquanet**. Tese MSc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2006.
- LIMEIRA, Rogério Durante, 2000, **Aços para a construção civil**. Notas de Aula. UNICAMP.

- MACHADO, Giovani. M., 2002, **O papel de indicadores no planejamento energético: conceitos e aplicações**. In: Anais do IX Congresso Brasileiro de Energia: Soluções para Energia no Brasil. Rio de Janeiro.
- MATA, Cristian Roberto da, 2001, **Análise econômica de sistemas de co-geração de energia elétrica no setor terciário**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Minas Gerais.
- MEADOWS, Donella H., MEADOWS, Dennis I., RANDERS, Jorgen, BEHRENS, William W., 1972, **The Limits to Growth**. Roma: The Club of Rome.
- MIT – Massachusetts Institute of Technology, 2006, **The Future of Geothermal Energy**. MIT, Idaho Falls.
- MME – Ministério de Minas e Energia, 2007. Disponível em <http://www.mme.gov.br>
- _____, 2005, **Balanco Energético Nacional 2005**. MME, Brasília, DF.
- _____, 2004, **Balanco Energético Nacional 2004**. MME, Brasília, DF.
- _____, 1988, **Nota Técnica COBEN 05/88**. Disponível em <http://www.mme.gov.br>.
- _____, 1988a, **Nota Técnica COBEN 04/88**. Disponível em <http://www.mme.gov.br>.
- _____, 1988b, **Nota Técnica COBEN 07/88**. Disponível em <http://www.mme.gov.br>.
- NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta, 2007, **Uso racional: a fonte energética oculta**. Estudos Avançados, 21: pp. 91-105.
- NTIA - National Telecommunications and Information Administration, 2007. Disponível em <http://www.ntia.doc.gov/>.
- NUNES, Luciana dos Santos. **Regulação e Sustentabilidade: o caso do setor petróleo no Brasil**. Tese MSc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2005.
- O'TOOLE, L., 2000, **Research on policy implementation: Assessment and prospects**. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 10: pp. 263-288.
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development, 2007. Disponível em <http://www.oecd.org/>.
- OLADE – Organización Latinoamericana de Energía, 2007. Disponível em <http://www.olade.org.ec>

- _____, 2006, **Manual de JODI**.
- _____, 2004, **Metodología para la elaboración de los balances de energía**. Outubro, 2004.
- PATUSCO, João Antônio Moreira, 2006, **Balances Energéticos Internacionais – Metodologia**. Apresentação Ministério de Minas e Energia, Caracas, agosto de 2006.
- PATTERSON, Murray G., 1996, **What's is energy efficiency?** Energy Policy, 24: pp. 377-390.
- PHYLIPSEN, G. J. M., BLOK, K. e WORRELL, E, 1997, **International comparisons of energy efficiency-Methodologies for the manufacturing industry**. Energy Policy, 25: pp. 715-725.
- PINDYCK, Robert e RUBINFELD, Daniel, 2002, **Microeconomia**. São Paulo: Prentice Hall.
- PINTO, Helder Q. Jr e SILVEIRA, Joyce Perin, 1999, **Elementos da regulação setorial e de defesa da concorrência: uma agenda de questões para o setor de energia**. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo.
- PIRES, Melissa C. P. e PINTO, Helder Q., 2000, **Assimetria de informações e problemas regulatórios**. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo.
- PSBS - Public Sector Benchmarking Service, 2006. Disponível em <http://www.benchmarking.gov.uk/>.
- RODRIGUEZ-ANÓN, J., Prouupin, J., GONZÁLEZ-ANÓN, M., NÚÑEZ-REGUEIRA, L., 1998, **Energy Recovery from Municipalsolid waste in small communities**. Journal of Thermal Analysis, 52: pp. 1005-1012.
- RUYCK, J. De, DELATTIN, F., BRAM, S, 2005, **Co-utilization of biomass and natural gas in combined cycles through primary steam reforming of the natural gas**. Energy, 32: pp.371-377.
- SCHAEFFER, R., SZKLO, A., MACHADO, G. (coord.), 2005. **Proposta Metodológica para Elaboração do Balanço Energético Nacional**. Relatórios Técnicos # 1, 2, 3 e 4. Ministério de Minas e Energia. Brasília/DF.

- SCHAEFFER, Roberto, WIRTSHAFTER, Robert (1991). **An exergy analysis of the Brazilian Economy: from Energy production to final energy use**. Energy, 17: pp. 841-855.
- SCHECHTMAN, R., SZKLO, A. S., and SALA, J., 1998, **CO₂ Emissions Inventory based on the Bottom Up Approach. Technical Report. Project BRA/95/G31 – Enabling Brazil to Fulfill its Commitments to the UN Framework Convention on Climate Change**. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- SCHIPPER, Lee, UNANDER, Fridtjof, MURTISHAW, Scott e TING, Mike, 2001, **Indicators of Energy use and Carbon Emissions: Explaining the Energy Economy Link**. Annual Review of Energy and Environment, 26: 49-81.
- SCHMIDT, Andreas U., 2006, **Multi-level markets and incentives for information goods**. Information Economics and Policy, 18: pp. 125-138.
- SCHWOB, Marcelo Rousseau Valença, 2007, **“Perspectivas de difusão do gás natural na indústria brasileira de cerâmica vermelha”**. Tese MSc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2007.
- SEIPE, 2006. **Balanço Energético do Estado do Rio de Janeiro 2000-2002**. Rio de Janeiro: SEINPE. 172 p.
- SILVA, Andréa Santos da, 2006, **As hidrelétricas em São Paulo: evolução das técnicas e processos**. Fundação Patrimônio Histórico da Energia e Saneamento – FPHEs. São Paulo.
- SLESSER, Malcolm, 2002, **Using the net energy concept to model the future**. In: Ireland's Transition to Renewable Energy. Thurles: Feasta.
- SOUZA, Raquel Rodrigues de, 2006, **“Panorama, Oportunidades e Desafios para o mercado mundial de álcool automotivo”**. Tese MSc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2006.
- SSC, 1999, **Roles of Central and Local Government in Joint Problems**. New Zealand: State Services Commission.
- STADLER, Ines e CASTRILLO, David, 2001, **An Introduction to the Economics of Information: Incentives and Contracts**. Oxford: Oxford University Press.

- STIGLITZ, Joseph, 1999, **On liberty, the right to know, and public discourse: the role of transparency in public life**. Oxford: Oxford Amnesty Lecture.
- STIGLITZ, Joseph, 2001, **Information and the change in the paradigm in economics**. New York: Columbia University.
- SUE, Deng-Chern, CHUANG, Chia-Chin, 2002, **Engineering design and exergy analyses for combustion gas turbine based power generation system**. *Energy*, 29: pp. 1183-1205.
- SWISHER, Joel, JANNUZZI, Gilberto e REDLINGER, Robert, 1997, **Tools and Methods for Integrated Resource Planning**. Denmark: United Nations Environment Programme.
- SZKLO, Alexandre, 2005, **Fundamentos do Refino de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência.
- TREANTON, Karen, 2001, **Methodology of International Energy Balances**. Paris: International Energy Agency.
- UNDESA - United Nations Economic and Social Development, 2007. Disponível em <http://www.un.org/esa/>
- ÚNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar, 2007. Disponível em <http://www.portalunica.com.br>
- United Nations, 2005. Disponível em <http://www.un.org>
- _____, 2002, **Energy for Sustainable Development: A Policy Agenda**. New York: United Nations Development Programme.
- _____, 1992, *Agenda 21*. Rio de Janeiro: United Nations Division for Sustainable Development.
- _____, 1991, **Energy Statistics: a manual for developing countries**. New York: Statistics Division of the United Nations Secretariat.
- _____, 1987, **Report of the World Commission on Environment and Development (Brundtland Report)**. General Assembly Resolution 42/187, dezembro de 1987.
- _____, 1982, **Concepts and Methods in Energy Statistics, with special reference to energy accounts and balances: A Technical Report**. New York: Statistics Division of the United Nations Secretariat.

- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, 2007.
Disponível em <http://unfccc.int>
- UNIPEDE, 1999, **UNIPEDE Electricity Outlook 1998**. Bélgica.
- VANCE, Cecília de Salles e CASTRO, Nivalde J. de, 2001, **As tecnologias de informação e a estratégia de competição**. IV Encontro de Economistas de língua portuguesa, Évora, outubro de 2001.
- VELAZQUEZ, Silvia M. S. G., 2000, **“A cogeração de energia no segmento de papel e celulose: contribuição à matriz energética do Brasil”**. Tese MSc. USP. São Paulo. 2000.
- VERA, Ivan e LANGLOIS, Lucille, 2007, **Energy indicators for sustainable development**. Energy, 32: pp. 875-882.
- VIDAL, A., BEST, R., RIVERO, R., CERVANTES, J., 2006, **Analysis of a combined power and refrigeration cycle by the exergy method** Energy, 31: pp. 3401-3414.
- YOON, Kiho, 2002, **The optimal level of copyright protection**. Information Economics and Policy, 14: pp. 327-348.

ANEXO 1 - Cadeias de Energéticos

Neste anexo, serão explicitados os processos internos de cada cadeia de energético e seus principais conceitos, de forma a criar uma padronização acerca da constituição destas cadeias e embasar a elaboração de balanços energéticos.

Os itens seguintes explicam as cadeias de calor e eletricidade, petróleo e derivados, gás natural, carvão, renováveis e resíduos e nuclear.

É importante que este anexo seja apreciado conjuntamente ao Anexo 2, pois assim ter-se-á uma visão geral de um balanço energético básico.

Este anexo é inteiramente baseado em IEA (2004) e Schaeffer *et al* (2005).

A1.1. Calor e Eletricidade

Eletricidade é gerada como energia primária e secundária. Eletricidade primária é obtida a partir de fontes diretas da natureza, como hidráulica, solar, eólica, ondas e marés. Eletricidade secundária é gerada a partir do calor da fissão do combustível nuclear, do calor solar e geotérmico, da combustão de combustíveis primários, como carvão, gás natural, petróleo, renováveis e resíduos. Depois que a eletricidade é gerada, ela é transmitida para os consumidores finais através de sistemas de transmissão e distribuição nacionais ou internacionais.

De maneira similar, calor também é produzido como energia primária e secundária. Calor primário é obtido a partir de fontes diretas da natureza, como a geotérmica e a solar. Calor secundário é obtido a partir da fissão do combustível nuclear e da combustão de combustíveis primários, como carvão, gás natural, petróleo, renováveis e resíduos. Calor também é utilizado para transformar eletricidade em calor em boilers (caldeiras) elétricos e bombas de calor. Também pode ser produzido e consumido no próprio local, ou distribuído através de uma rede de dutos para consumidores distantes.

Nos últimos tempos, o mercado de energia elétrica tem experimentado grandes transformações. Houve privatizações e o surgimento ou aumento da concorrência; os gases do efeito estufa ganharam importância e precisam ser quantificados. Portanto, todas estas questões aumentam a necessidade de dados precisos e confiáveis a respeito da produção, capacidade e consumo de eletricidade, de forma a

gerenciar melhor o desenvolvimento destes problemas e trazer segurança de fornecimento.

As informações coletadas para contabilização no balanço energético referem-se a todas as fontes de eletricidade e calor, à função do produtor e ao tipo de central.

As fontes de eletricidade e calor referem-se à forma de energia utilizada para geração de eletricidade e calor, como por exemplo, cinética (hidro, eólica), térmica (nuclear, geotérmica) e combustível (carvão, petróleo e derivados).

Existem dois tipos de função para o produtor:

- O produtor de serviços públicos de eletricidade ou calor consiste na empresa, pública ou privada, que fornece eletricidade e calor como sua atividade principal.
- O autoprodutor de eletricidade é uma empresa que produz eletricidade ou calor para suprir o consumo de sua atividade cujo objetivo principal não é a produção de calor ou eletricidade.

É importante destacar que o termo “produtor de serviços públicos” refere-se à natureza do serviço e não à propriedade do capital, aplicando-se tanto a empresas de serviços públicos quanto a empresas privadas. Da mesma forma, um autoprodutor pode ser uma empresa pública ou privada.

Portanto, o termo aplica-se à função do produtor e não à propriedade.

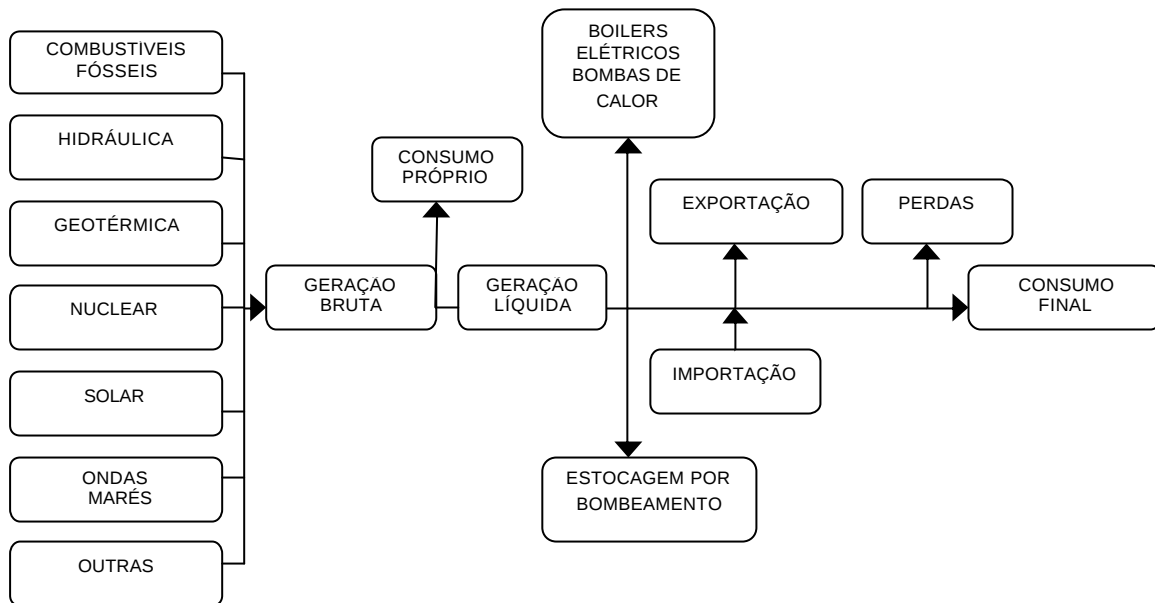
Quanto ao tipo de central, três classificações são empregadas:

- Somente eletricidade – Centrais que geram somente eletricidade.
- Cogeração (CHP) – Centrais que geram eletricidade e calor simultaneamente.
- Somente calor – Centrais que produzem somente calor.

Uma central de cogeração é aquela que possui pelo menos uma unidade de cogeração. Caso a central possua ainda unidades de geração somente de calor ou eletricidade, ela ainda é considerada uma central de cogeração, a menos que os dados de consumo de combustível e de produção sejam disponíveis para cada unidade individualmente.

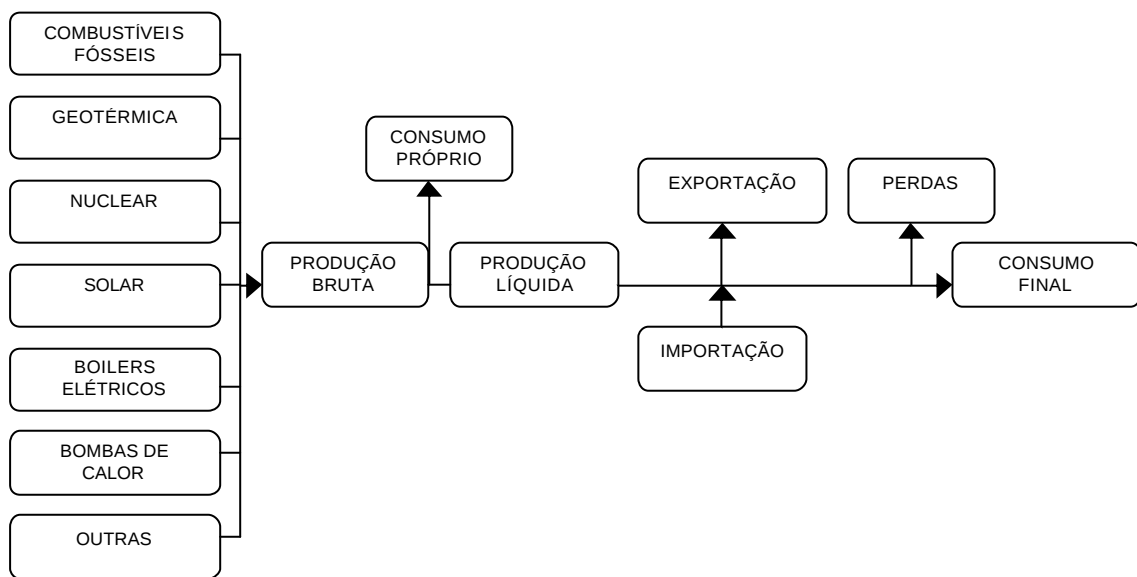
As figuras abaixo representam as cadeias da eletricidade e do calor, da oferta ao consumo final.

Figura 15: Cadeia da eletricidade.



Fonte: Schaeffer *et al*, 2005.

Figura 16: Cadeia do calor.



Fonte: Schaeffer *et al*, 2005.

Diferentemente das cadeias de petróleo, carvão e renováveis, as cadeias de eletricidade e calor não oferecem a possibilidade de estocagem. Dessa forma, a oferta de eletricidade e calor consiste basicamente na produção a partir da energia primária e no comércio externo (importação/exportação).

A eletricidade é produzida como primária ou secundária nas usinas; esta quantidade total produzida é chamada produção bruta. As usinas consomem uma porção de eletricidade para uso próprio. A produção líquida é obtida deduzindo este consumo próprio da produção bruta, e então é distribuída pelo sistema nacional de

transmissão aos consumidores finais, ou transformada em calor por boilers elétricos ou bombas de calor, ou estocada em reservatórios por bombeamento (essas centrais elétricas de estoque por bombeamento utilizam parte da energia líquida gerada para bombear água para seus reservatórios, normalmente quando há excesso de oferta de energia hidráulica; nos momentos de maior demanda de energia, de forma a evitar o consumo de combustíveis fósseis para complementação térmica, essas centrais utilizam a energia hidráulica que foi bombeada para a geração de energia elétrica). A eletricidade também pode ser exportada por linhas de transmissão conectadas a outros países em caso de excesso, ou importada em caso de escassez. Alguma perda ocorre durante a transmissão ou distribuição.

O fluxo de calor é bem parecido ao da eletricidade, com a exceção de que não há possibilidade de estocagem.

A1.1.1. Oferta

A oferta destes dois tipos de energia inclui apenas a produção e o comércio, pois não há forma direta de armazenamento das mesmas.

Produção

Aqui se leva em consideração o tipo de produtor, o combustível utilizado e o tipo de central, da forma citada anteriormente.

Estes dados são importantes como forma de saber a segurança de suprimento de calor e eletricidade, analisar as mudanças em combustíveis usados para geração de eletricidade através do tempo, assim como suas eficiências, impactos ambientais de tais gerações, etc.

Importação e exportação

Importação e exportação de eletricidade correspondem aos fluxos de energia elétrica que atravessaram as fronteiras políticas do país. Com o aumento da globalização, formação de blocos e abertura econômica dos países, o comércio externo de eletricidade tem aumentado consideravelmente. Por todo o mundo, países têm interconectado suas redes de transmissão de energia elétrica de modo a aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica e ao mesmo tempo diminuir os custos de oferta. Dessa forma, a coleta de informações a respeito do comércio externo de energia elétrica de forma desagregada (origem e destino) é bastante difícil, porém fundamental, pois permite a identificação de potenciais congestionamentos e permite uma operação

eficiente da rede de transmissão internacional. Com a definição estabelecida pela IEA e a Eurostat, os países cuja energia elétrica é importada ou exportada podem não ser países vizinhos. No entanto, nem sempre a energia exportada por um país é realmente gerada por ele, principalmente tratando-se de países com sistemas de transmissão como o da União Européia.

A1.1.2. Transformação

O setor de transformação de eletricidade e calor é composto por todos os centros de transformação de outras formas de energia em energia elétrica. Além de serem contabilizadas as quantidades de energia primária transformada em energia elétrica, todas as fontes de energia secundária utilizadas para geração de energia elétrica são registradas nesse setor. As entradas de energia neste setor, para serem transformadas, são registradas como negativas, e a quantidade de eletricidade produzida, como positiva.

É importante atentarmos aqui para o problema de contabilização em plantas de cogeração. Quando uma planta desta é envolvida, devem-se separar as quantidades de combustível utilizada para geração de calor e geração de eletricidade. Esta divisão é necessária mesmo quando calor não é vendido, pois a quantidade de combustível utilizada para a eletricidade tem que ser reportada no setor transformação.

A1.1.3. Consumo final

O consumo final de calor e eletricidade consiste basicamente de toda quantidade de calor e eletricidade consumida nos setores industrial, de transporte, rural, comercial, residencial e de serviço público.

O consumo final de calor e eletricidade é responsável por cerca de 80% do consumo energético total, com destaque para o crescimento no uso de eletricidade pelos setores residencial e comercial. Apesar do elevado consumo de eletricidade no setor industrial, seu crescimento ocorre de maneira menos acentuada, se comparado com os demais setores. Apesar do baixo consumo de eletricidade, merecem destaque os setores de transporte e rural, pelo uso da eletricidade como força motriz no segmento ferroviário e para atividade de irrigação, respectivamente.

A1.2. Petróleo e Derivados

Petróleo bruto é todo óleo mineral de origem natural, composto por uma mistura de hidrocarbonetos e associado a impurezas, como o enxofre. Existe na

fase líquida sob condições normais de temperatura e pressão e suas características físicas (densidade, viscosidade, etc.) são altamente variáveis. Podem dividir-se em três classes, de acordo com os resíduos da destilação: como parafinados, asfálticos ou mescla de ambos. Essa categoria engloba os condensados recuperados de gás associado ou não associado, comumente incorporados à cadeia do petróleo bruto comercializável.

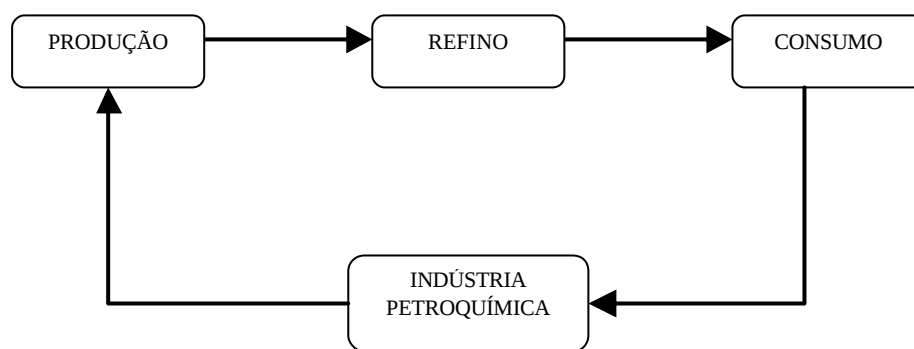
Há uma grande variedade de produtos derivados de petróleo. Muitos são de propósito específico, como gasolina e lubrificantes. Outros são de uso mais geral, como os usados para aquecimento em geral, como óleo combustível ou diesel. Assim sendo, o uso e oferta de petróleo e derivados em economias industrializadas é bastante complexo, e envolve tanto finalidades energéticas quanto não energéticas. Desta forma, informação a respeito deste comércio é fundamental, visto que o petróleo é a *commodity* mais transacionada no mundo.

Como o petróleo bruto consiste em uma mistura uma grande variedade de hidrocarbonetos, sua composição química e conseqüentemente suas propriedades, dependem da localização de onde é extraído. Cada tipo de petróleo tem suas próprias características, como grau API, densidade, viscosidade, conteúdo de enxofre e poder calorífico. A determinação do poder calorífico do petróleo de um determinado país é fundamental para a elaboração do balanço energético, no caso de a tonelada equivalente de petróleo (tEP) ou barril equivalente de petróleo (bEP) serem usados como unidade básica para a quantificação do conteúdo energético de todas as outras fontes de energia.

A1.2.1 Oferta

A cadeia de petróleo e derivados é bastante complexa, uma vez que vários tipos de matérias primas (*feedstock*) são recebidos na refinaria e uma série de produtos derivados de petróleo é disponibilizada para o consumo. Petróleo cru não é o único insumo a uma refinaria, mas também líquidos de gás natural e outros hidrocarbonetos, como óleo de xisto e alcatrão. Ademais, a indústria petroquímica é um elemento específico na cadeia, onde os derivados de petróleo são utilizados como matéria prima para a síntese de petroquímicos. Como subprodutos desse processo, outros derivados de petróleo retornam da petroquímica para a refinaria, onde são reaproveitados como combustíveis ou preparados para comercialização. A figura a seguir apresenta uma visão bastante simplificada da cadeia do petróleo, onde é possível verificar o fluxo reverso (*backflow*) da indústria petroquímica.

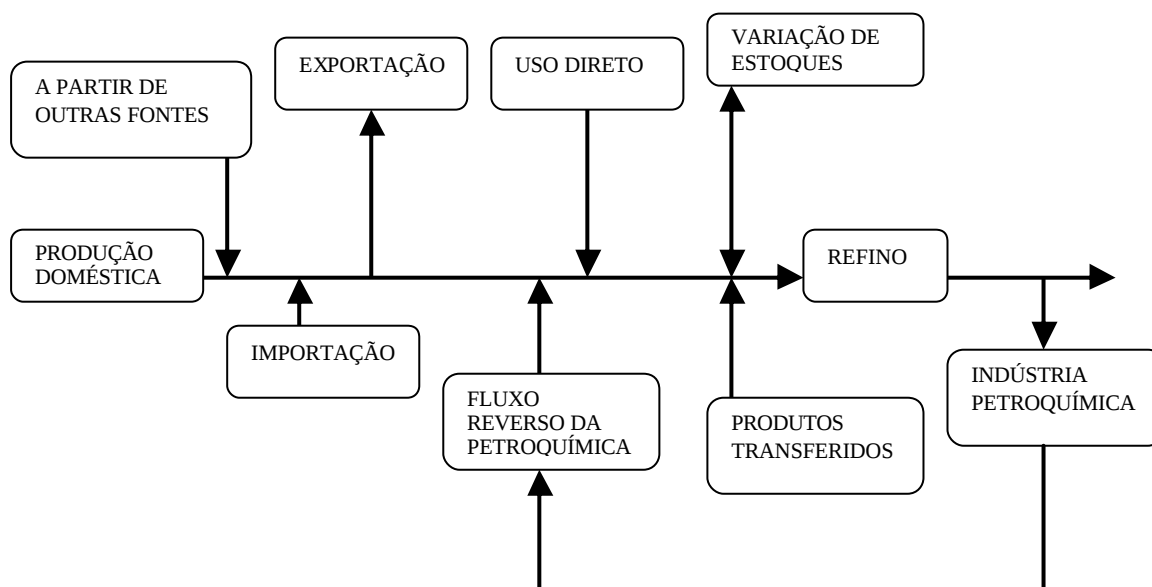
Figura 17: Fluxo reverso da indústria petroquímica.



Fonte: Schaeffer *et al*, 2005.

A figura abaixo detalha o segmento da cadeia da oferta de petróleo que vai desde a produção doméstica até a etapa de processamento de derivados de petróleo na refinaria. A etapa de oferta de derivados para os diversos setores de consumo final será detalhada mais adiante.

Figura 18: Produção de petróleo até o refino.



Fonte: Schaeffer *et al*, 2005.

Produção Doméstica

A produção de petróleo bruto, líquido de gás natural e condensados refere-se ao processo de extração desses óleos da terra, dentro da fronteira nacional, incluindo a produção offshore. A produção deve abranger somente a quantidade comercializável, excluindo-se os volumes re-injetados na formação. Deve incluir também o recebimento de aditivos/oxigenados pelas refinarias e plantas de “blending”.

O petróleo pode ser produzido de diferentes locais, através de campos *onshore* ou *offshore*, ou de diferentes tipos de poços, em associação ou não com o gás

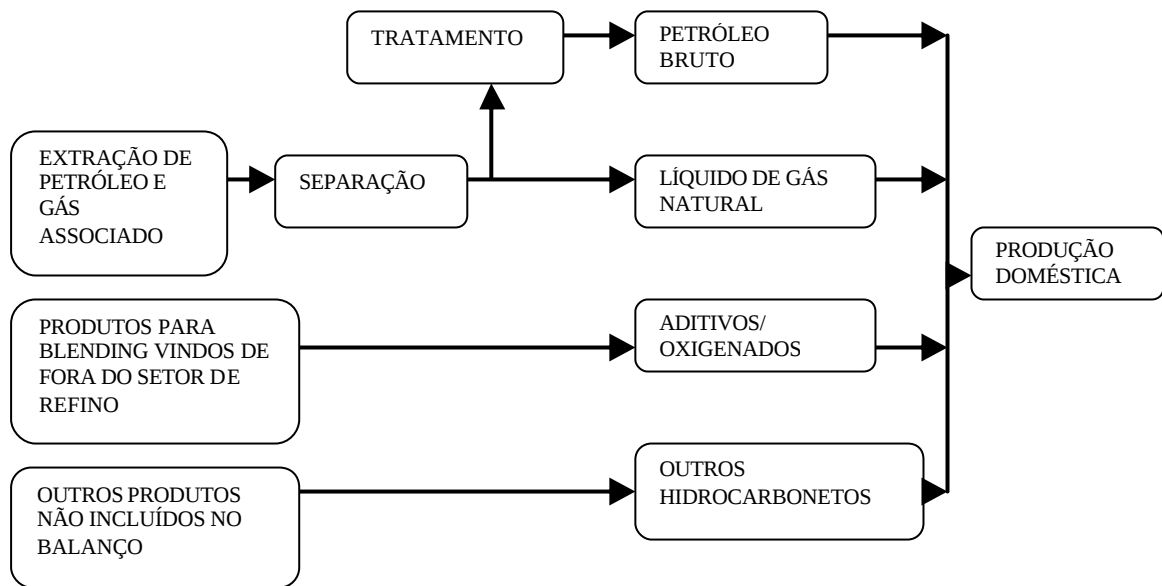
natural. Qualquer gás extraído de poços de petróleo associado deve ser *flared*, reinjetado ou formar parte da produção de gás natural.

Quando o petróleo é retirado do poço, é uma mistura de óleo, água, sedimento e gases dissolvidos (metano, etano, propano, butano e pentanos). Em primeiro lugar, todos os gases são separados da mistura de água e óleo, pois contêm alto valor econômico. O metano formará o gás natural, enquanto os outros gases constituirão os líquidos de gás natural (que também podem ser produzidos em conjunção ao gás natural). Em um estágio posterior os sedimentos são removidos em plantas de tratamento.

“A partir de outras fontes”, corresponde à oferta de aditivos e outros hidrocarbonetos, cuja forma de energia primária já foi contabilizada no balanço de outros combustíveis. Por exemplo, a conversão de gás natural em metanol para ser utilizado como componente no processo de *blending* da gasolina ou a produção de óleo a partir da liquefação do carvão. Apesar de apresentada de forma separada no diagrama, a oferta desses produtos no balanço energético é contabilizada dentro da produção doméstica de petróleo bruto. O diagrama a seguir apresenta a origem de todos os componentes quantificados como produção doméstica de petróleo bruto.

“Fluxo reverso (backflow) da indústria petroquímica” corresponde ao subproduto acabado ou semi-acabado do processo de fabricação de produtos petroquímicos que retorna à refinaria para processamento, blending ou comercialização. É importante destacar que para indústrias petroquímicas integradas, esse fluxo deve ser estimado.

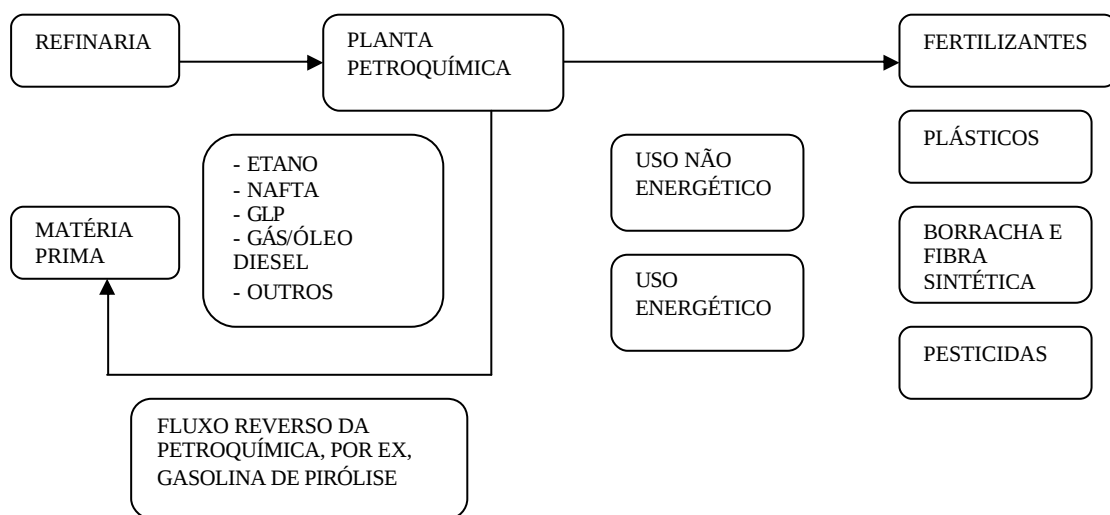
Figura 19: Formação da produção doméstica de petróleo.



Fonte: Schaeffer *et al*, 2005.

A figura abaixo apresenta o fluxo de produtos entre a refinaria e a indústria petroquímica, assim como os produtos energéticos e não energéticos disponibilizados para o consumo final.

Figura 20: Fluxo de produtos entre a refinaria e a indústria petroquímica.



Fonte: Schaeffer *et al*, 2005.

Importação/exportação

Uma das principais características do petróleo é que os principais países produtores não são os principais consumidores, o que leva ao enorme comércio intercontinental existente. Como o óleo é líquido e compacto, em termos de energia, seu transporte é facilitado, e ocorre através de petroleiros, oleodutos, rodovia e ferrovia.

Esta atividade de importação e exportação corresponde à quantidade de petróleo que atravessou a fronteira do país. Petróleo bruto e líquidos de gás natural devem ser registrados como provenientes de onde foi produzido; matérias primas de refinaria e derivados devem ser registrados como importação do país onde foram processados. Qualquer líquido de gás (LGN) extraído durante o processo de regaseificação de gás natural liquefeito importado é considerado como importação. Derivados de petróleo exportados ou importados diretamente pela indústria petroquímica também são considerados.

Produtos transferidos são derivados de petróleo importados que são reclassificados como *feedstock* para processamento nas refinarias, sem que sejam disponibilizados para consumo final. Por exemplo, nafta importado é contabilizado como importação de nafta e posteriormente como produtos transferidos.

“Uso direto” são quantidades de petróleo bruto, líquido de gás natural e outros hidrocarbonetos consumidos diretamente sem passar pela etapa de processamento nas refinarias. Dessa forma, são contabilizados como consumo final. A contabilização das quantidades de uso direto de petróleo bruto é utilizada para apresentação no setor de consumo final.

As informações a respeito de estoques, em “variação de estoques”, são fundamentais para que a oferta global de petróleo não sofra grandes distúrbios por falta de transparência. Os estoques permitem o balanço entre oferta e demanda, permitindo atender a demanda quando a oferta é insuficiente, ou estocar o excesso no caso de super produção. Além disso, interferem diretamente no preço da commodity. Informação a respeito de estoques de derivados pode ser tão importante quanto a respeito de petróleo bruto. Por exemplo, estoques de petróleo fornecem indicação da disponibilidade para as refinarias, e portanto são evidência de quão adequadamente as refinarias irão atender ao mercado interno. Por outro lado, informação sobre baixos estoques de óleo para aquecimento antes do inverno pode significar um sinal alarmante às refinarias, governos e companhias de que, não somente os preços podem subir, mas também de que racionamentos podem ocorrer.

Dados a respeito de estoques são de grande importância para decisões estratégicas feitas por governantes ou companhias do setor. A alta qualidade da informação, portanto, é fundamental para que se possa planejar em longo prazo e adequar o balanço entre oferta e demanda.

A1.2.2. Transformação

A entrada de petróleo bruto, líquido de gás natural, aditivos oxigenados e outros hidrocarbonetos nas refinarias resulta na síntese de uma série de produtos chamados derivados de petróleo. O objetivo do refino é adicionar valor à matéria-prima. A produção de quantidades específicas de determinados combustíveis é a função mais importante de uma refinaria e irá determinar sua configuração e operação. Apesar disso, refinarias também produzem quantidades importantes de produtos não-combustíveis (*feedstock*), para a indústria química e petroquímica, para fins não-energéticos. Na tabela abaixo, são apresentados os produtos primários e secundários da cadeia do petróleo.

Tabela 38: Produtos primários e secundários de petróleo.

Produtos primários do petróleo	Petróleo bruto	
	Líquidos de gás natural	
	Outros hidrocarbonetos	
Produtos secundários de petróleo (entrada de refinaria)	Aditivos/produtos para blending	
	Cargas de alimentação para refinaria	
Produtos secundários de petróleo	Gás de refinaria	Diesel
	Etano	Gasóleo para aquecimento e outros fins
	GLP	Combustível residual com baixo teor de enxofre
	Nafta	Combustível residual com alto teor de enxofre
	Gasolina de aviação	Lubrificantes
	Gasolina tipo “jet fuel”	Betume
	Gasolina livre de chumbo	Ceras parafínicas
	Gasolina com chumbo	Coque de petróleo
	Querosene de aviação	Solventes
	Outros tipos de querosene	Outros produtos

Fonte: Schaeffer *et al*, 2005.

A quantidade de petróleo utilizada no processo de transformação em outra forma de energia é registrada no setor de transformação. Além do processo de

transformação do petróleo bruto em derivados, também é registrada a quantidade de derivados de petróleo que são utilizados para a produção de calor e eletricidade. Ademais, também são registrados todos os casos em que os derivados são transformados em outras formas de energia, como, por exemplo, derivados utilizados em fornos de coque, alto-fornos e plantas de gaseificação.

Para a geração de calor e eletricidade a partir de derivados de petróleo, o setor de transformação é composto pelos seguintes centros de transformação:

- Centrais elétricas de serviço público
- Centrais elétricas autoprodutoras
- Centrais de cogeração de serviço público
- Centrais de cogeração autoprodutoras
- Centrais de geração de calor públicas
- Centrais de geração de calor autoprodutoras

É de importância relatar que as quantidades de óleo entregues às plantas elétricas para geração de eletricidade somente devem ser contabilizadas no setor transformação. As quantidades usadas, dentro deste setor, em plantas de cogeração devem representar somente o combustível utilizado para geração de eletricidade e geração de calor para venda. Da mesma forma, o combustível utilizado em plantas autoprodutoras de geração de calor deve ser relatado neste setor somente para aquelas quantidades que geraram o calor vendido. Portanto, as quantidades de combustível utilizadas para geração de calor que não é vendido devem ser contabilizadas dentro do setor de consumo final, e na atividade correspondente.

Para a transformação de derivados de petróleo em outras formas de energia são considerados os seguintes segmentos:

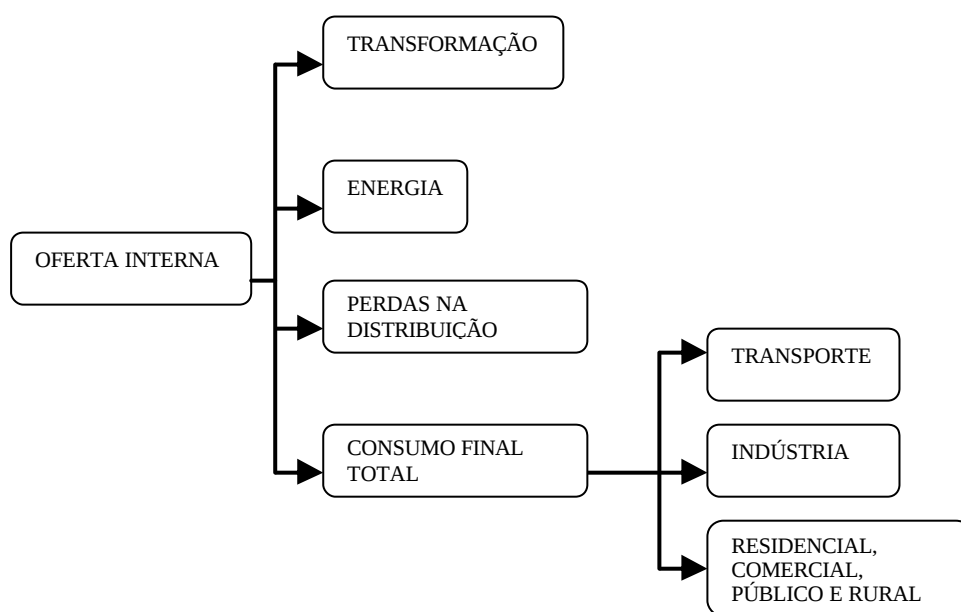
- Plantas de gaseificação.
- Fornos de coque.

O transporte e distribuição de derivados de petróleo envolvem uma série de etapas de manuseio e estocagem ao longo da rota, que facilitam o movimento do produto. Existem quatro meios principais de transporte de óleo do poço à refinaria e até o consumidor final: por mar, dutos, ferrovias e rodovias. Ao longo da rota de transporte, são exemplos de perdas no transporte e distribuição o vazamento de dutos, acidentes com trens e caminhões, assim como derramamentos marítimos.

A1.2.3. Consumo final

As quatro metodologias definem como consumo final toda energia utilizada por consumidores finais nos setores de transporte, indústria, residencial, rural, comercial e serviço público, como mostra a figura abaixo. Não está incluída, portanto, a quantidade de óleo utilizada no setor energético nem no setor de transformação. Os dados de consumo final são referentes tanto ao consumo energético, quanto ao consumo não-energético (feedstock). Os consumos finais não energéticos mais importantes estão relacionados com as indústrias química e petroquímica.

Figura 21: Cadeia do petróleo.



Fonte: Schaeffer *et al*, 2005.

É importante destacar que o consumo final registrado no setor de transporte não registra quantidades de combustível utilizadas pelas empresas de transporte para atividades que não estejam relacionadas com o transporte. De maneira análoga, combustíveis consumidos para transporte por indústrias ou outras empresas devem ser registrados como consumo final do setor de transporte.

A1.3. Gás Natural

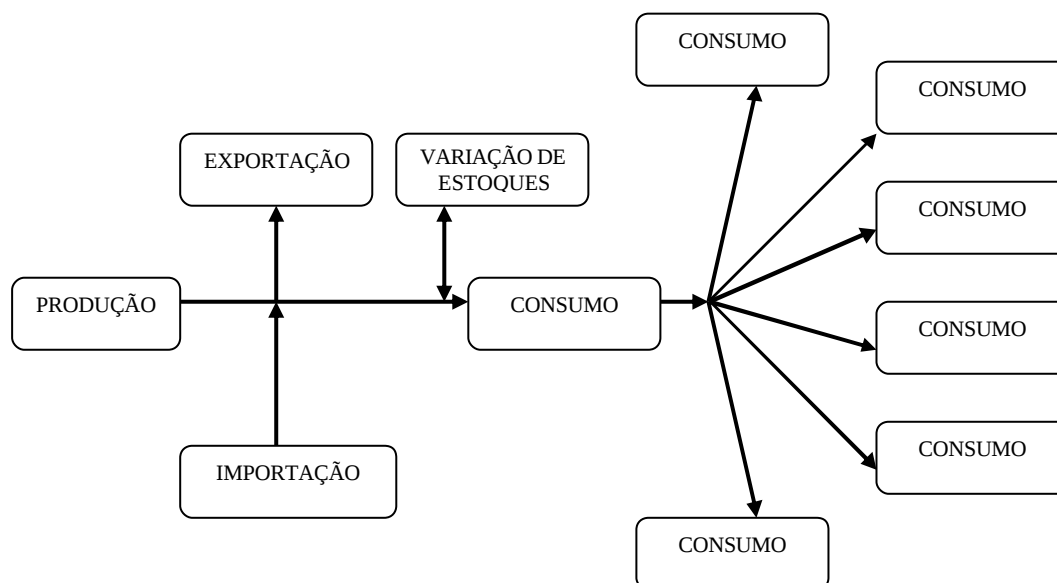
Gás natural consiste numa composição de vários tipos de gases, que são extraídos a partir de reservas naturais subterrâneas. A extração de gás natural pode ser realizada em conjunto ou não com a extração de petróleo bruto. Quando a produção de gás natural ocorre em conjunto com a produção de petróleo, o gás é chamado de gás natural associado. Quando a produção do gás não ocorre em conjunto com a de petróleo, o gás é classificado como não-associado.

A composição química do gás natural ao ser extraído consiste basicamente de metano (cerca de 80%), etano, propano e butano e uma pequena parcela de frações mais pesadas de hidrocarbonetos. Em virtude de sua composição química, os termos gás natural úmido e seco são normalmente empregados. Quando o gás contém uma quantidade elevada de butano e hidrocarbonetos mais pesados (chamados também de líquidos de gás natural), o gás é classificado como úmido. Gás natural seco consiste basicamente de metano, com pequenas quantidades de etano e propano.

O transporte de gás natural a longas distâncias pode ser realizado transformando-se o gás para o estado líquido, reduzindo-se sua temperatura para -160°C . Tal procedimento facilita o transporte, fazendo com que quantidades maiores de gás natural sejam transportadas. Quando o gás natural é liquefeito, recebe a classificação de gás natural liquefeito (GNL).

A figura abaixo apresenta o fluxo de gás natural desde sua produção, passando pelos centros de transformação, até o consumo final pelos diversos setores da economia.

Figura 22: Fluxo de gás natural em etapas.



Fonte: Schaeffer *et al*, 2005.

A1.3.1. Oferta

Produção

A produção doméstica de gás natural consiste na produção comercializável de gás natural seco, medida após sua purificação e retirada de líquidos de gás natural e enxofre. Não deve incluir a quantidade de gás que é re-injetada no poço

ou queimada no próprio campo. Fazem parte da produção primária de gás, as quantidades utilizadas no setor industrial, na extração de gás, nos sistemas de dutos e nas plantas de processamento.

A contabilidade das importações e exportações de gás natural deve levar em consideração o país de origem do gás, ou seja, o país onde o gás foi produzido, assim como o país onde será realizado o consumo do gás. Entretanto, os registros de origem e destino de gás natural são dificultados pelo fato de o transporte de gás ser realizado por meio de gasodutos que podem atravessar diversas fronteiras territoriais. As principais formas de transporte de gás natural são em estado gasoso, por gasodutos, e em estado líquido, por navios de GNL.

Estoques de gás natural são classificados em duas categorias: estoques sazonais e estoques para suprimento de pico. Estoques sazonais consistem em grandes volumes de gás natural armazenados durante épocas de baixa demanda, para suprimento prolongado durante períodos de demanda elevada. Estoques para suprimento de pico armazenam pequenas quantidades de gás natural e devem ser capazes de injetar rapidamente gás natural na rede de transmissão de gás, de modo a atender a flutuações na demanda.

Da mesma forma que para estoques de petróleo e derivados, informações a respeito de estoques de gás natural são essenciais para formulações de políticas e ao bom andamento do mercado.

A1.3.2. Transformação

Gás natural é utilizado no setor de transformação principalmente para geração de calor e energia elétrica. O desenvolvimento tecnológico das turbinas a gás foi de fundamental importância para a utilização dessa fonte para a geração de eletricidade, tanto nas turbinas a gás de ciclo combinado, quanto nas centrais de cogeração. No entanto, gás natural também é utilizado em plantas de gaseificação, fornos de coque e alto-fornos.

A1.3.3. Consumo final

Semelhante ao consumo final da cadeia de petróleo, o consumo final do gás natural pode ser dividido em duas partes: consumo final não-energético e consumo final energético.

O consumo final não-energético consiste nas matérias-primas utilizadas nos processos de craqueamento e reforma utilizados para produção de etileno,

propileno, butileno, aromáticos e outros. As atividades de consumo final não-energético correspondem às indústrias química e petroquímica.

O consumo final energético, por sua vez, corresponde à quantidade de gás natural utilizada nos setores industrial, transporte, residencial, rural, comercial e de serviço público.

A1.4. Carvão

O carvão primário, ou simplesmente carvão, é um combustível fóssil, geralmente com a aparência física de uma rocha preta ou marrom, consistindo de matéria vegetal carbonizada. Quanto mais alto o índice de carbono de um carvão, mais alta é sua qualidade. O carvão é classificado de acordo com suas características físicas e químicas. Estas características determinarão o preço e a empregabilidade do carvão para vários usos.

Os chamados derivados do carvão (*derived fuels*) incluem tanto os combustíveis sólidos como também os gases produzidos durante o processamento e a transformação do carvão.

Há três tipos básicos principais de carvão: carvão duro, carvão secundário-sub-bituminoso e o linhito ou carvão marrom. O carvão duro é aquele que apresenta poder calorífico superior maior do que 23.865 kJ/kg; o que inclui duas categorias: o carvão coqueificável (usado nos alto-fornos) e os carvões bituminoso e antracito, usados para aquecer ambientes e gerar vapor – daí o nome de carvão-vapor para esta categoria. O linhito refere-se ao carvão não-aglomerável, que apresenta poder calorífico superior de aproximadamente 17.435 kJ/kg. O carvão secundário-sub-bituminoso inclui o carvão não-aglomerável com um poder calorífico superior compreendido entre aqueles das outras duas categorias⁶⁸.

Os produtos secundários ou derivados do carvão incluem o *patent fuel*, o briquete (BKB e briquete de turfa), o gás de coque, o coque de forno de coque, o gás manufacturado e o gás de forno de coque, o gás de alto-forno e o gás de unidades de redução de ferro-gusa.

O *patent fuel* é um combustível manufacturado obtido a partir de finos ou resíduos de carvão duro, moldado com ou sem a presença de agentes de ligação. De modo geral, os *patent fuels* apresentam poder calorífico inferior maior do que os

⁶⁸ Para maiores informações a respeito da manufatura de derivados de carvão, consultar Anexo 3, “Manufatura de combustíveis derivados de carvão”.

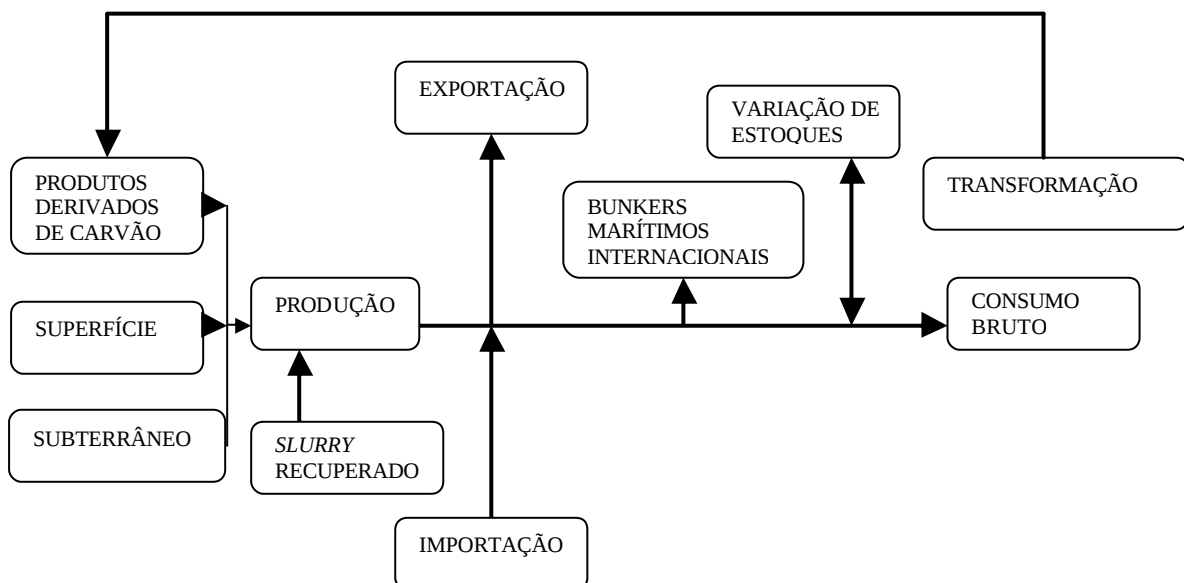
combustíveis que os derivaram. Isto se deve, em grande parte, à remoção de impurezas e a mistura de partículas finamente divididas.

Os briquetes também são combustíveis manufacturados, e podem ser obtidos a partir do linhito ou carvão marrom – chamados de BKB (do alemão *Braunkohlenbrikett* = *Brown Coal Briquettes*) ou da turfa (briquetes de turfa), com ou sem a presença de um agente de ligação.

Nos últimos 30 anos, a parcela de carvão na oferta de energia global tem sido estável em torno de 25%, representando um crescimento de 56% em relação à oferta de 1973 (IEA, 2004). Entretanto, o crescimento no consumo de carvão foi bem acentuado no que se refere ao uso para produção de eletricidade (por volta de 250%), por um lado, e o consumo residencial caiu em 65%, por outro lado. Em outras palavras, o carvão é atualmente mais usado para geração de eletricidade e menos na indústria.

A figura a seguir apresenta o fluxo do carvão desde sua produção, passando pelos centros de transformação, até o consumo final pelos diversos setores da economia.

Figura 23: Cadeia do carvão.



Fonte: Schaeffer *et al*, 2005.

A1.4.1. Oferta

A oferta de carvão, da mesma forma que para as demais cadeias energéticas, inclui a produção, a importação/exportação e a variação de estoques.

Produção

A maior parte da produção primária de carvão se dá a partir de *minas subterrâneas* e de *minas de superfície*. Há ainda a produção chamada *recuperação*, obtida a partir de resíduos, *slurry ponds*, e outros subprodutos da mineração. Desta forma, é possível dividir a produção primária de carvão em três categorias: subterrânea, de superfície e recuperação. Esta última inclui as pastas recuperadas (*recovered slurries*), fracionados, e outros produtos de baixa qualidade que não se classificam em nenhuma das outras duas categorias.

A produção da turfa considerada refere-se somente aos usos energéticos.

Cabe notar que as quantidades de carvão extraído ou produzido são calculadas após a remoção de material inerte.

Na produção devem ser reportadas as quantidades do energético após o processo de beneficiamento, ou seja, retirada de material inerte. De modo geral, a produção inclui a parcela consumida pelo próprio produtor no processo de produção (para a operação de equipamentos, por exemplo) e aquela fornecida a outros produtores para transformação e outros usos. A produção de carvão pode se dar a partir da superfície ou do subsolo, como mostra a figura anterior.

Importação/Exportação

O carvão pode ser transportado por longas distâncias, geralmente por hidrovias e ferrovias. As atividades de importação e exportação correspondem ao carvão obtido/fornecido de/a outros países. Vale notar que as quantidades são consideradas como importadas ou exportadas quando cruzam o limite político do país e, portanto, não incluem as quantidades em trânsito.

Bunkers marítimos internacionais

Bunkers marítimos internacionais correspondem à quantidade de carvão consumido em navios (inclusive os navios de guerra) em trajetos internacionais. O consumo de combustível nos navios em transporte dentro do próprio país ou em águas litorâneas não é incluído. Nota-se que o consumo de navios pesqueiros é contabilizado no setor agrícola.

Variação de estoques

O carvão primário, por ser um combustível sólido e relativamente inerte, é geralmente mantido em estoque a fim de garantir o suprimento nos períodos em que a demanda é maior do que a sua produção ou oferta. Alguns derivados sólidos do carvão também são mantidos em estoque, como, por exemplo, o coque de forno de coque e o *patent fuel*. Desta forma, a variação de estoque corresponde à diferença entre o nível de estoque inicial e o nível de estoque final dentro do território nacional. A formação de estoque é mostrada como uma quantidade positiva e a diminuição como uma quantidade negativa.

A1.4.2. Transformação

Há uma grande variedade de plantas de transformação utilizadas na obtenção de derivados energéticos a partir do carvão, dentre elas, destacam-se:

- Plantas de patent fuels: transformam o carvão duro em patent fuel.
- Fornos de coque: produzem o coque, o pó de carvão e o linhito usado em fornos de coque. Os produtos de carvão usados para aquecimento e operação de equipamentos não são contabilizados aqui, e sim no consumo do setor energético.
- Plantas de gás manufaturado: transformam o carvão e seus derivados em gás manufaturado. Os derivados usados para operação de equipamentos não são incluídos aqui, mas no consumo do setor energético.
- Alto-fornos: transformam quantidades de coque e/ou carvão betuminoso, e coque de forno de coque. Para evitar a dupla contagem, os combustíveis usados nos alto-fornos, tais como o gás de alto-forno, são incluídos no setor energético.
- BKB/PB: transformam o linhito em BKB e/ou a turfa em de briquetes de turfa (peat briquettes - PB).
- Plantas de liquefação: transformam o carvão ou xisto betuminoso em óleo sintético.

Além dessas plantas de transformação, enquadram-se aqui também as centrais elétricas, de cogeração e autoprodução.

Como dito anteriormente, a maior parte do uso de produtos primários de carvão se dá na geração de eletricidade e calor. Em relação ao gases manufaturados do carvão, como o gás de alto forno, gás de forno de coque, etc, seus usos tradicionais na manufatura de aço fornecem calor, daí o motivo para enquadrá-los no setor de transformação.

O transporte e a distribuição de carvão inclui, freqüentemente, atividades de armazenagem e manipulação, o que implica em perdas. Cabe notar que as perdas referentes ao transporte, distribuição e armazenagem do carvão, sob a forma de combustível sólido, no entanto, são pequenas se comparadas as dos combustíveis líquidos como o petróleo, que tomam a forma do recipiente que os contém, e deixam uma fina película aderida às paredes quando removidos. Quando na forma de seus derivados gasosos, o carvão apresenta um nível de perdas maior do que na sua forma sólida, mas, ainda assim, devido às curtas distâncias da rede de distribuição, elas são menores do que as relativas ao transporte e distribuição de gás natural.

A1.4.3. Consumo final

O consumo de carvão e seus derivados ocorre nos seguintes segmentos:

- Setor de transformação;
- Indústria energética, dentro do setor energético;
- Transporte e distribuição de combustíveis (embora em pequena quantidade);
- Consumo final: vários setores da economia: industrial, residencial etc, o que inclui usos energéticos e não-energéticos do carvão.

O consumo final corresponde à quantidade de carvão e de seus derivados que é entregue aos consumidores finais: setor industrial, setor de transportes etc. Vale notar que não é contabilizado aqui o consumo de carvão e de seus derivados no setor de transformação e/ou o consumo próprio de indústrias energéticas.

No passado, uma grande quantidade de carvão era consumida no setor de transporte, por navios ou locomotivas. Porém, este consumo declinou bastante, ao nível de 0,2% da demanda global por carvão (IEA, 2004). Outros setores, como serviços e residencial, onde é usado para aquecimento e cozimento, conta em 0,5% da demanda total por carvão.

A maior parte do consumo final energético do carvão e seus derivados ocorre no setor industrial. Aproximadamente 15% da oferta total de carvão é entregue como insumo ao setor industrial. Um dos principais usos do carvão na indústria é na produção de cimento. Há ainda outros segmentos que consomem carvão: indústria química e petroquímica, ferro e aço, alimentos e bebidas, papel e celulose.

Cabe ressaltar que, ainda que em menor quantidade, o carvão e seus derivados também são usados como insumos não-energéticos (*feedstock*), na produção de metanol ou amônia, por exemplo.

A1.5. Renováveis e Resíduos

Há várias formas de energia renovável, que derivam diretamente ou indiretamente da energia solar, ou a partir do calor proveniente do interior da Terra. São exemplos de energia renovável a energia solar, hidráulica, eólica, geotérmica, assim como a energia obtida a partir da biomassa, do biogás e de líquidos biocombustíveis.

Resíduos são combustíveis que consistem de materiais reaproveitados de processos de origem industrial, hospitalar, institucional e doméstica, como borrachas, plásticos, rejeitos de óleos combustíveis e outros. Podem ser classificados como sólidos ou líquidos, renováveis e não-renováveis, biodegradáveis e não-biodegradáveis.

A biomassa sólida (principalmente lenha utilizada para cozimento em países em desenvolvimento) é, largamente, a fonte de energia renovável mais utilizada, representando algo em torno de 10% da oferta de energia primária total mundial.

Neste tópico não se pretende explicar as cadeias de cada energético separadamente, em virtude da miríade de fontes e processos de contabilização existentes, não existindo ainda uma metodologia básica e consolidada a respeito. É bom lembrar que as energias renovável e de resíduos representam, ainda, um percentual pequeno de uso, se comparadas as demais fontes como petróleo e carvão, amplamente utilizadas há bastante tempo. Deste modo, falar-se-á de maneira bastante agregada destas fontes, e as particularizações cabíveis são expostas no capítulo 3.

Desde 1990, fontes de energia renovável têm crescido a uma taxa anual média de 1,7%, o que é ligeiramente maior que a taxa de crescimento da oferta de energia primária total mundial. Este crescimento é atribuído especialmente aos novos renováveis, como eólica e solar, que cresceram a uma taxa anual de 19% (IEA, 2004), principalmente nos países da OECD, com extensos programas de energia eólica, como Dinamarca e Alemanha.

As discussões a respeito das mudanças climáticas têm estimulado o desenvolvimento de energias renováveis de forma a reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Portanto, há uma forte necessidade de bom monitoramento a respeito desta questão, com disseminação de informações atuais e confiáveis a respeito de energias renováveis e resíduos. Este é um grande desafio, uma vez que a maior parte da energia renovável não é comercializada (lenha, coletores solares) e/ou é localizada em áreas remotas.

A1.5.1. Oferta

Para as fontes de energia hidráulica, eólica, fotovoltaica, das ondas e marés, ou seja, as fontes que necessitam ser transformadas em eletricidade, a oferta de energia primária consiste basicamente na energia elétrica gerada. Apesar de a energia obtida a partir dessas fontes não poder ser utilizada diretamente (como o vento, raios solares, etc), o setor de oferta de energia no balanço faz a contabilização no segmento de produção doméstica de energia para cada fonte. Assim, nas colunas destinadas às energias hidráulica ou eólica (caso existam), a produção doméstica será contabilizada através da quantidade de energia elétrica gerada, sofrendo ou não conversão por um fator de eficiência.

Como o transporte das fontes desse grupo só pode ser feito na forma de energia elétrica, não existe contabilização de comércio exterior (importação/exportação), dada a dificuldade (ou impossibilidade) de identificação da fonte de energia exportada ou importada na forma de eletricidade. Em relação à estocagem de tais fontes, a única que pode ser estocada é a hidráulica, cabendo a cada metodologia considerar ou não este estoque.

As fontes geotérmica e solar térmica podem ser transformadas em eletricidade ou utilizadas diretamente para consumo final. Suas produções domésticas de energia consistem basicamente na extração da energia térmica a partir do interior da Terra (geotérmica) ou da radiação solar (solar térmica). A produção geotérmica consiste na extração do vapor d'água ou água quente e posterior reaproveitamento como fonte de calor ou de geração de eletricidade. A produção solar térmica, por sua vez, utiliza um meio de transferência de calor para captar a radiação solar na forma de calor, utilizado para consumo final ou para geração de eletricidade. De forma similar ao que ocorre com as fontes eólica, hidráulica, fotovoltaica e das marés, a contabilização do comércio externo dessas fontes envolveria somente quantidades de calor comercializadas

internacionalmente, o que é bastante difícil de acontecer. Estas fontes também não apresentam estoques.

As demais fontes, como os resíduos municipais e industriais, biomassa sólida e líquidos biocombustíveis, apresentam condição de estocagem e seus comércios externos constituem a única possibilidade real de importação e exportação para fontes renováveis e resíduos, como por exemplo, o comércio de lenha e agro-resíduos. No entanto, o baixo poder calorífico desses produtos muitas vezes torna o transporte a longas distâncias economicamente inviável. Cabe destacar, todavia, que alguns combustíveis renováveis vêm ganhando importância no mercado internacional como forma de substituição dos combustíveis fósseis, como é o caso do álcool etílico (etanol) e do biodiesel. Dessa forma, é esperado um aumento das importações e exportações desses produtos nos balanços energéticos internacionais. Em relação às suas produções domésticas, cada metodologia possui sua forma de contabilização, que será explicada no capítulo 3.

A1.5.2. Transformação

O processo de transformação de fontes renováveis e resíduos consiste majoritariamente na utilização das fontes para a geração de energia elétrica. A lenha também é utilizada para a fabricação de carvão vegetal e produtos agrícolas (bagaço de cana, trigo, mamona, dendê, etc.) são utilizados para a fabricação de biocombustíveis. Cada metodologia tem seu método de conversão, que será explicitado no capítulo 3.

Finalmente, o consumo de renováveis e resíduos consumido no setor energético para suporte dos processos de transformação - por exemplo, consumo de carvão vegetal para aquecimento nas fábricas de carvão e de biogás para aquecimento e fermentação nas plantas de produção de biogás - é contabilizado como consumo do setor energético.

A1.5.3. Consumo final

O consumo final das fontes renováveis e resíduos reserva-se aos resíduos municipais e industriais, biomassa sólida e líquidos biocombustíveis, pois os demais necessitam ser transformados em eletricidade ou calor para consumo. Este consumo dá-se nos setores industriais, de transporte e outros (residencial, rural, comercial e público).

No setor industrial, maior parcela do consumo de renováveis e resíduos dos países da OCDE (cerca de 80%) ocorre nos segmentos de papel, celulose e

gráfica e de madeira e produtos de madeira (IEA, 2004). Já no setor de transporte, o consumo de renováveis por esses países é bastante limitado, correspondendo a menos de 1% do consumo total do setor de transporte. Cabe ressaltar, no entanto, que a parcela de renováveis para o consumo no transporte depende de cada país. Um exemplo é o caso do Brasil, cuja parcela de etanol no consumo rodoviário chega a cerca 15%.

A1.6. Energia Nuclear

O tratamento do urânio natural começa com a extração do mineral urânio, que, purificado, gera o U_3O_8 puro. Em seguida ocorre a etapa de transformação do U_3O_8 em UO_2 . Este combustível é utilizado em reatores nucleares para obtenção de vapor, que aciona uma turbina e um gerador como em uma central elétrica convencional.

Combustíveis nucleares trazem o problema de contabilização relacionado ao fato de que os reatores aproveitam somente uma pequena parte do combustível que lhes é ofertado. Assim, a diferença entre a entrada de fonte energética (combustível nuclear) e a saída da energia derivada (eletricidade ou calor) não representa uma perda no processo. Como parte desta diferença está um resíduo que não pode ser aproveitado pelo mesmo processo de transformação, pelos menos comercialmente com a tecnologia disponível.

Aqui, da mesma forma que para renováveis e resíduos, não há metodologia de contabilização consolidada. Por um método, pode-se considerar a cadeia do minério de urânio natural, através de sua transformação em urânio enriquecido e suas comercializações, e após, usando o conteúdo calorífico, calcular a eletricidade gerada por um coeficiente de eficiência. Outro método é a quantificação do conteúdo energético do vapor que deixa os reatores nucleares por medição direta ou mesmo, por estimativa, através da aplicação de um coeficiente de eficiência de 33% sobre a eletricidade bruta produzida.

No primeiro caso, haveria duas colunas para a contabilização do ciclo nuclear: uma para a fonte primária urânio e outro para a fonte secundária urânio enriquecido. No segundo caso, haveria somente uma coluna para o calor nuclear.

A1.6.1. Oferta

O setor de oferta para a energia nuclear, como dito acima, pode considerar o ciclo do próprio combustível nuclear, ou seja, a extração do minério, seu enriquecimento e sua transformação em eletricidade, ou apenas a eletricidade gerada a

partir do vapor do reator. No primeiro caso, haverá produção primária do minério de urânio (fonte primária), variação de estoques e comércio internacional, e o mesmo para o urânio enriquecido (fonte secundária). No segundo caso, haverá apenas produção de calor nuclear (vapor), não ocorrendo estoque nem comércio.

A1.6.2. Transformação

Novamente, a transformação depende da consideração tomada, se o próprio combustível nuclear ou apenas a eletricidade gerada. No primeiro caso, a transformação compreenderá, para a fonte primária, a conversão do urânio natural em urânio enriquecido, e para a fonte secundária, a transformação do urânio enriquecido em eletricidade, de acordo com coeficiente de eficiência. No segundo caso, o processo compreende a transformação do calor (vapor) nuclear em eletricidade, considerando um coeficiente de eficiência.

A1.6.3. Consumo final

Não há consumo final para a cadeia nuclear.

ANEXO 2 – Estrutura geral de um Balanço Energético

Este anexo pretende embasar a visualização da estrutura de um balanço energético, mostrando as principais atividades que compõem a matriz.

Este anexo é inteiramente baseado em IEA (2004) e Schaeffer *et al* (2005).

A2. 1.Oferta de energia primária

De forma a facilitar o entendimento da estrutura de apresentação adotada para os balanços energéticos as seguintes definições serão apresentadas:

- Energia primária consiste na energia obtida a partir de todas as fontes capturadas ou extraídas diretamente da natureza, com ou sem separação de material contíguo, como petróleo bruto, carvão e gás natural. Calor e eletricidade podem ser classificados como energia primária ou secundária, dependendo da fonte. Eletricidade gerada a partir de energia hidráulica, eólica, das ondas e das marés é classificada como energia primária. Assim como a energia fotovoltaica, que deriva da transformação da energia solar, a energia proveniente de fontes renováveis, como a biomassa, por exemplo, é uma forma de energia primária. De maneira análoga, calor capturado a partir de fontes naturais como reservatórios geotérmicos ou a partir de painéis solares é classificado como calor primário.
- Energia secundária é produzida em centros de transformação a partir de fontes de energia primária. Nesta categoria enquadram-se todos os derivados de petróleo e carvão, assim como os gases resultantes de processos de transformação na cadeia dos combustíveis fósseis.

O setor de oferta inclui as atividades que tornam os energéticos disponíveis para consumo no país. Assim, temos, basicamente, que considerar a produção nacional das fontes, mais a parte que é importada, subtrair a porção exportada e considerar as variações no estoque nacional destes energéticos, resultando na quantidade que é disponibilizada para o consumo interno (e que será direcionada para o consumo final ou para os centros de transformação). É claro, entretanto, que ocorrem

maneiras diferenciadas de contabilização, segregando determinados movimentos como atividades específicas, como é o caso do bunker. Este setor de oferta compreende as seguintes atividades:

A2.1.1. Produção doméstica de energia

Trata-se dos energéticos extraídos dentro do território nacional.

Combustíveis, de um modo geral, podem ser produzidos a partir de diversos meios, como plataformas (para petróleo), florestas (para lenha), minas (para carvão), etc (IEA, 2004). Em relação à produção de combustíveis fósseis, deve ser contabilizada próxima ao ponto de extração das reservas, e somente aquela parte em estado comercializável. Por exemplo, a quantidade de carvão considerada como produzida deve ser aquela após o processo de remoção das impurezas.

Deve-se ressaltar que a produção doméstica de energia engloba aquelas consideradas como primárias, ou seja, petróleo cru, gás natural, lenha, etc. As fontes secundárias terão suas produções explicitadas no setor de transformação, pois não foram extraídas em seu estado natural.

A2.1.2. Importação e exportação de energia

Correspondem ao comércio externo de energia primária e secundária entre países. A questão fundamental para registro de dados de comércio externo refere-se à definição de território nacional, que deve ser bastante clara e aplicável de maneira idêntica para todas as fontes de energia.

Estes conceitos sobre o comércio internacional relacionam-se com a consideração acerca do bunker internacional, como será explicitado na seção seguinte.

A2.1.3. Bunkers internacionais

O bunker marítimo corresponde à quantidade de combustível que é utilizada para consumo de embarcações durante trajetos internacionais. Nesse caso, o combustível é utilizado pela embarcação, e não como parte da carga. Todas as embarcações em rotas internacionais devem ser incluídas, não importando o país de registro da embarcação. Cabe ressaltar que navios pesqueiros ou de transporte interno não estão incluídos nessa categoria.

A2.1.4. Variações de estoques

Reflete variações positivas ou negativas no estoque de combustíveis dentro do território nacional. Estoques de combustíveis servem para a manutenção das operações quando a oferta ou a demanda de energia variam de modo a causar excesso ou escassez de fontes energéticas. Fornecedores mantêm estoques de combustível de modo a cobrir flutuações na produção e importação de energéticos. Consumidores, por sua vez, mantêm estoques para compensar flutuações na oferta e no consumo de combustíveis. Nem todos os estoques em território nacional devem ser considerados na contabilização da variação dos estoques. Por exemplo, o estoque residencial não é considerado, pois não é significativo como estoque. O critério de decisão depende capacidade do estoque de compensar flutuações na oferta ou demanda do combustível.

A2.1.5. Energia não aproveitada

Representa a energia que, por questões de disponibilidade técnica e/ou econômica, não é utilizada. O mais comum de se representar aqui é o gás natural expelidos por *flaires*, principalmente em países que produzem gás associado. As razões para isso podem ser:

- Falta de mercado;
- Há mercado, mas não gasoduto para o transporte;
- Existem mercado e gasoduto, mas a extração do petróleo requer que a produção de gás seja maior de que a demanda pode utilizar.

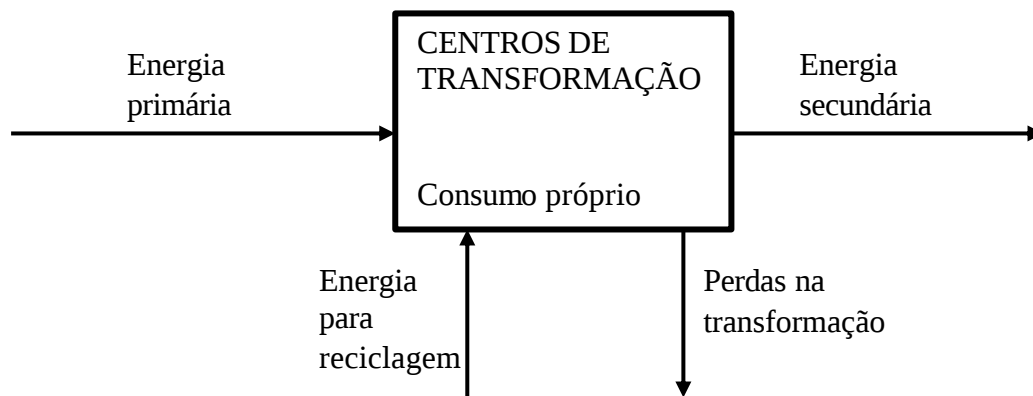
A2.1.6. Oferta total

É a soma algébrica das atividades acima. A partir daqui, a energia pode seguir caminhos diferentes, como ser direcionada ao consumo final, ao setor de transformação (como insumo, se primária ou reciclagem, se secundária), ou ser consumida pelo setor energético como consumo próprio.

A2.2. Setor de transformação

A figura abaixo representa a dinâmica que ocorre neste setor:

Figura 24: Centros de transformação.



Fonte: Olade (2004).

A transformação de uma fonte energética consiste na mudança de uma fonte primária, através de uma transformação física ou química, em uma fonte secundária, mais adequada para a utilização para a atividade na qual o energético será utilizado. Nesse setor, são contabilizadas as quantidades energéticas por fonte que entram e saem dos centros de transformação. De maneira geral os centros de transformação podem ser divididos em:

- Centrais de geração de calor e eletricidade – Essas centrais são subdivididas em centrais de geração de eletricidade somente, centrais de cogeração e centrais de geração de calor somente. Essas centrais podem ser operadas por empresas cuja atividade fim é a geração de calor e/ou eletricidade, chamadas de centrais públicas, ou empresas cuja atividade fim não é a geração de calor nem de eletricidade, sendo chamadas de centrais autoprodutoras.
- Centrais de manufatura de gás e combustíveis sólidos – Três tipos de atividades fazem parte desse grupo: manufatura de coque a partir de carvão mineral, a utilização de coque em alto-fornos e a manufatura de combustível sólido (patent fuel) a partir da combinação de vários tipos de carvão. A produção de coque e sua utilização ocorrem normalmente no setor industrial de ferro-gusa e aço. Ambas as atividades produzem gases que são utilizados no próprio local ou comercializados. Um coque de qualidade mais baixa é produzido em alguns países durante a manufatura do gás de cidade nas centrais de gaseificação.

- Refinarias de petróleo – São responsáveis pelo processamento do petróleo bruto para produção de derivados de petróleo. Refinarias fornecem combustíveis para consumo final dos diversos setores da economia e também matéria-prima de uso não-energético, principalmente para a indústria química.
- Plantas de gás – plantas de processo de separação dos componentes do gás natural associado e dos condensados para obtenção de gasolinas e naftas, butano, propano, etano e produtos não energéticos.
- Carvoarias – trata-se de fornos onde se efetua a combustão parcial da lenha, produzindo-se carvão vegetal e substâncias voláteis (geralmente não são aproveitadas) e não voláteis.
- Destilarias – representam os centros de transformação da cana-de-açúcar em álcool etílico (anidro ou hidratado) e açúcar. Como produtos primários, produz caldo de cana, melaço e bagaço de cana-de-açúcar. Os secundários são representados pelos dois tipos de álcool.
- Outros centros de transformação – Consiste nos segmentos cujos processos de conversão de combustíveis não se enquadra nas demais classificações. Cada metodologia adota uma forma de agregação neste caso.

Outra classificação de grande importância consiste no **consumo do setor energético**, constituindo um dos destinos possíveis da oferta total. Essa parte do balanço corresponde à quantidade de energia utilizada para a manutenção dos processos de transformação de energia, ou seja, a quantidade de combustível utilizada pelos centros, mas que não entra no processo de transformação. Também faz parte dessa classificação a energia utilizada para os processos de mineração de carvão, produção de petróleo e gás natural, liquefação de gás e processamento de combustível nuclear. A alocação desta atividade, se no setor de transformação, consumo final ou em linha independente, ainda não é consenso entre as metodologias, conforme exposto no capítulo 3 da tese.

Finalmente, as **perdas no transporte e distribuição** dos energéticos também são reportadas no setor de transformação. Diferente com consumo do setor

energético, essas quantidades consistem nas perdas energéticas durante a distribuição até os locais de consumo. Perdas associadas à transmissão e distribuição de energia elétrica e gás natural são exemplos típicos. Todavia, cabe ressaltar a existência de perdas também no transporte de gases provenientes de fornos de coque e alto-fornos. Ressalta-se aqui a diferença entre perdas e energia não-aproveitada: esta última poderia ser aproveitada integralmente caso houvesse condições, e a primeira somente pode ser reduzida caso houvesse conservação.

A2.3. Consumo final

O Consumo final de energia destina-se à produção de calor e uso não energético. Os combustíveis utilizados na produção de eletricidade e calor para venda, da mesma forma que a energia produzida, são excluídos do consumo final e contabilizados no setor de transformação. Portanto, os combustíveis precisam ser considerados consumidos, e não transformados em outras formas de energia, desaparecendo da cadeia.

O consumo final de energia pode ser dividido em duas partes: a primeira corresponde ao consumo final não energético e a segunda ao consumo final energético, relativo aos setores industrial, transporte, residencial e outros setores.

Uma série de combustíveis é utilizada para consumo não-energético. São eles:

- Matéria prima para a fabricação de produtos não energéticos (feedstock). Por exemplo, nafta é utilizado para a síntese de etileno que, por sua vez, é utilizado para a fabricação de plásticos. Gás natural pode ser utilizado para a fabricação de amônia.
- Lubrificantes e graxas utilizados em motores, devido a suas propriedades físicas. Solventes também são utilizados pela indústria química e também pelos outros segmentos industriais para limpeza de equipamentos.

Dentro da classificação “outros setores”, são considerados o **setor residencial**, o **setor rural**, que engloba o segmento agrário, florestal e pesqueiro; o **setor comercial e de serviço público e outros**.

Os **ajustes estatísticos** repõem as diferenças produzidas pelas conversões das diferentes fontes, das suas unidades originais de medida para a unidade compatível para a elaboração dos balanços, e também repõem as diferenças produzidas

pelo arredondamento dos números. Para fontes energéticas de grande magnitude erros da ordem de 1% são tolerados, enquanto que para fontes de menor magnitude, erros de até 10% podem ser encontrados. Segue a fórmula:

$$\textit{Ajuste estatístico} = \textit{Oferta Interna Total} - \textit{Total transformação} - \textit{Perdas} - \textit{Consumo Final total}$$

ANEXO 3: Manufatura de combustíveis derivados de carvão

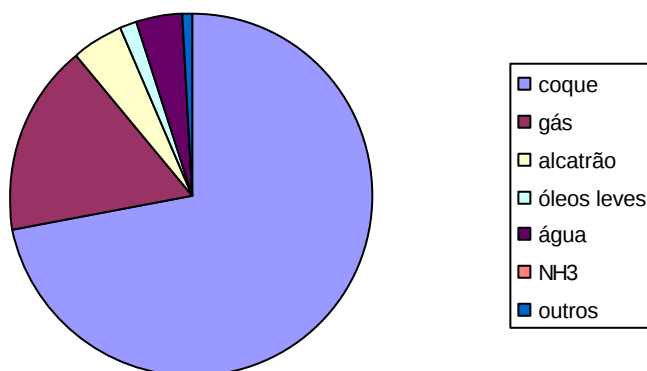
Este anexo é inteiramente baseado em IEA (2004).

A3.1. Coques

A3.1.1. Coque de alta temperatura

O coque é manufaturado através da pirólise do carvão, que significa o aquecimento do carvão em uma atmosfera livre de oxigênio para a produção de gases, líquidos e outros resíduos sólidos (coque). A pirólise do carvão em alta temperatura é chamada carbonização. Durante a carbonização, ocorrem muitas importantes mudanças. A umidade abandona o carvão entre 100°C e 150°C. No intervalo de temperatura entre 400 e 500°C, muito da matéria volátil do carvão é liberada. Entre 600 e 1300°C pouca perda volátil adicional ocorre e a perda no peso é pequena. À medida que o carvão é aquecido, torna-se plástico e poroso durante a liberação de gases e quando se solidifica, apresenta fissuras e poros. Durante o processo, a temperatura dos gases alcança entre 1150 e 1350°C, e, indiretamente, aquece o carvão entre 1000 até 1200°C de 14 a 24 horas. Este processo produz coque de alto forno.

Figura 25: Rendimento de massa típico em uma coqueria.



Fonte: IEA, 2004.

Somente certos carvões com as propriedades plásticas adequadas (por exemplo, carvão betuminoso) podem ser convertidos em coque. Muitos tipos de carvão podem ser misturados para aumentar a produtividade do alto forno.

O coque é produzido em fornos compreendendo uma bateria de compartimentos individuais, que são separados por paredes de aquecimento. Estas consistem em certo número de chaminés com bocais para o abastecimento de

combustível, e um ou mais caixas de injeção de ar, dependendo da altura da parede do alto forno. geralmente, gás de coqueria purificado é utilizado como combustível, mas outros gases como de alto forno enriquecido com gás natural podem ser utilizados.

O processo de carbonização é iniciado logo após o carregamento de carvão. Os gases voláteis e a umidade extraídos representam entre 8 a 11% do carvão. O gás de coqueria é exaurido através de dutos a um sistema de coleta. Pelo alto poder calorífico este gás é utilizado, após purificação, como combustível. O carvão é aquecido e mantém-se no alto forno até que o centro do carvão tenha alcançado a temperatura de 1000 a 1100°C.

O coque de alto forno deve apresentar certo tamanho e elasticidade que o tornam ideal para suportar uma carga de minério de ferro e fundentes no alto forno. Assim, proverá calor e carbono para a redução do minério.

Após o resfriamento, o coque é peneirado para obtenção do tamanho adequado ao subsequente uso. Pequenos fragmentos de coque retirados neste processo são chamados de *coke breeze* e são utilizados em plantas de sinterização (processo onde finos de minério de ferro são aquecidos em uma mistura de fundentes, de forma a aglomerarem-se em pedaços maiores).

A3.1.2. Produtos de coqueria

Coquerias produzem coque e gás de coqueria não purificado. Esta purificação se dá retirando as partículas de cinza e outros produtos de valor. Estes produtos incluem alcatrão, óleos leves (benzeno, tolueno e xileno), amônia e enxofre. O gás de coqueria é um combustível de alta qualidade rico em hidrogênio (40 a 60% em volume) e metano (30 a 40% em volume).

Os produtos derivados de um forno de coque dependem do carvão utilizado e a extensão do período de aquecimento. O resultado típico é mostrado na figura acima.

A3.1.3. Semicoques

Os resíduos aglomerados de carvão carbonizados a temperaturas abaixo de 850°C são chamados de coques de baixa temperatura (semicoques). Geralmente contêm matéria volátil residual e são usados como combustíveis sólidos, como *patent fuels* e briquetes.

A3.1.4. Patent fuels e briquetes

- Patent fuels

Combustíveis sólidos manufaturados geralmente abrangem dois tipos de produtos. Um deles é o *patent fuel*, que representa um combustível sem fumaça derivado de finos ou cinzas residuais de carvão duro. Estes finos são pressionados em um briquete com ou sem agente ligante. O processo envolve aquecimento ou carbonização a baixa temperatura durante a formação do briquete.

- BKB ou briquetes de carvão marrom ou turfa

Briquetes também são manufaturados através de carvão marrom ou turfa. São referidos como “*Brown coal briquettes*” ou BKB (do alemão *Braunkohlenbriketts*), e podem ser produzidos com ou sem agente ligante. O processo envolve a umidade residual do combustível para fundir as partículas sob pressão.

Em geral, *patent fuels* possuem poderes caloríficos similares mas levemente maiores que o combustível que lhes deu origem. Em geral isto resulta da remoção de impurezas e umidade dos finos de carvão antes da manufatura do briquete.

A3.2. Uso e produção de combustível na manufatura de ferro e aço

Plantas que combinam a produção de coque e manufatura de ferro bem como o tratamento e finalização do aço são chamadas de integradas.

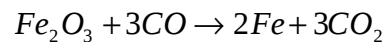
A3.2.1. Plantas de sinterização

Esta planta prepara os finos de minério de ferro e resíduos do alto forno para alimentarem o alto forno. Este processo é necessário porque muito do minério de ferro é menor que o tamanho ideal para uso direto no alto forno. Pela adição de *coke breeze* e calor, o primeiro queimar-se-á e ajudará a fundir os materiais divididos. Este material fundido é quebrado em pedaços e peneirado para separação do tamanho adequado ao alto forno. Este *coke breeze* consumido na planta de sinterização é considerado combustível e deve ser reportado como tal no consumo da indústria de ferro e aço.

A3.2.2. Alto fornos

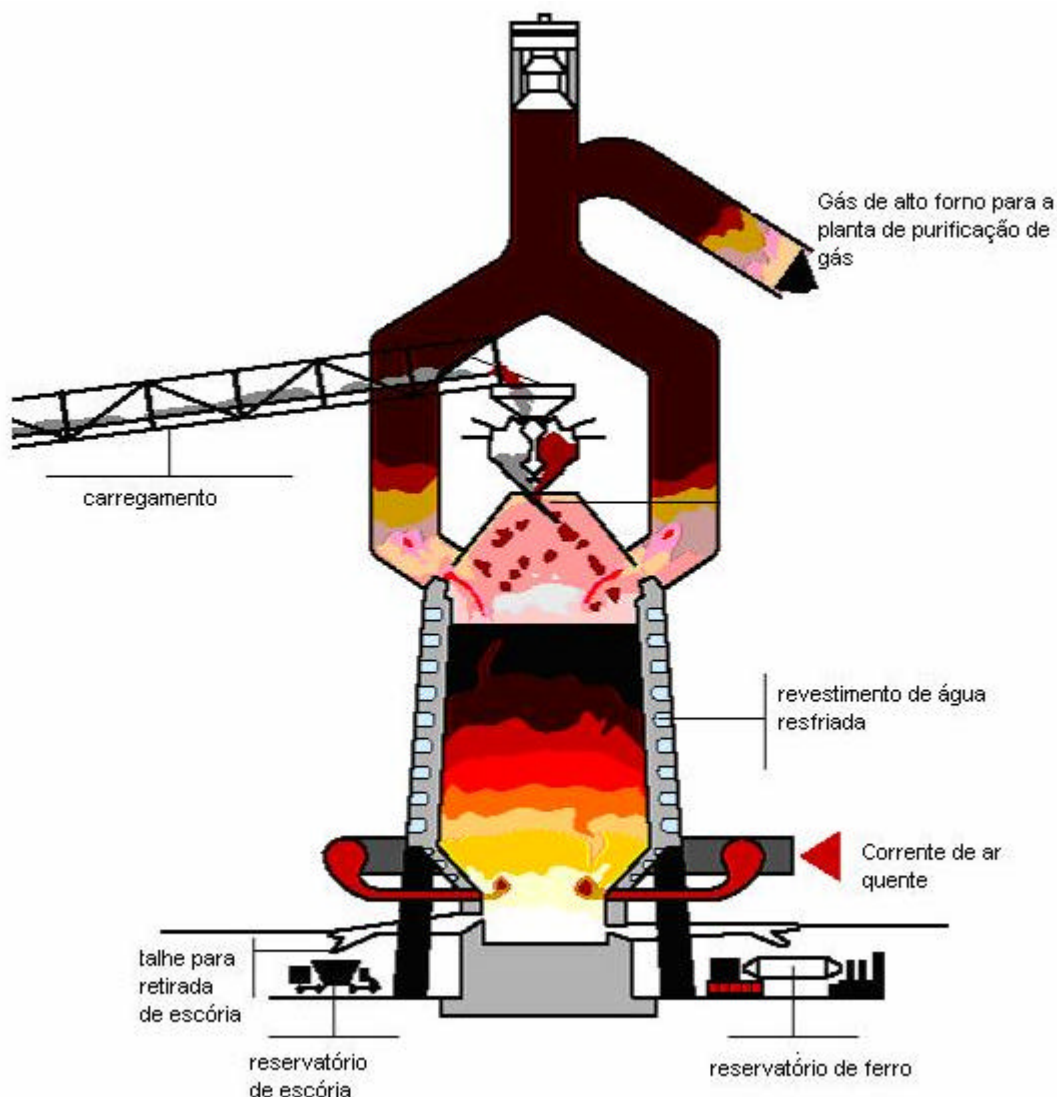
Os altos fornos são utilizados para manufatura de ferro, do qual a maioria é transformada em aço. Os insumos aos altos fornos são minério de óxido de ferro, fundentes e coque para prover calor.

A equação química essencial deste processo é a redução do minério de ferro (óxido de ferro) com carbono obtido do coque:



Nem todo o monóxido de carbono (CO) é convertido em dióxido de carbono (CO₂) no processo, e o excesso é retirado do alto forno para purificação. A presença de monóxido de carbono no gás de alto forno fornece poder calorífico a ele. A figura abaixo esquematiza um alto forno:

Figura 26: Esquema de um alto forno.



Fonte: IEA, 2004.

A temperatura da corrente de ar que adentra o alto forno deve ser por volta de 900°C e provê a maior parte do calor necessário. A combustão parcial dos combustíveis no forno e, quando ocorre, dos combustíveis injetados na corrente de ar providenciam o calor restante. O gás de alto forno é purificado e deve ser enriquecido

com gás de coqueria antes de usado para aquecimento da corrente de ar e outros propósitos. Os aquecedores da corrente de ar são separados do alto forno e não mostrados na figura acima.

É claro, pelo exposto acima, que as plantas integradas de aço são grandes consumidoras de energia e parte importante da economia da energia. A face competitiva da indústria requer esforços consideráveis para redução de custos, dos quais o consumo de energia é uma grande parte. Conseqüentemente, muitas empresas mantêm contabilizações precisas do uso de energia e combustíveis. Assim, temos que as plantas integradas de aço conseguem reportar os combustíveis utilizados em cada processo. Em condições ideais, as estatísticas forneceriam as quantidades e tipos de combustíveis utilizados em altos fornos e a quantidade de gás de alto forno produzido. Entretanto, é improvável que as quantidades de combustíveis utilizadas para aquecimento da corrente de ar e como insumo do alto forno sejam separadamente identificadas.

A3.2.3. Fornos básicos a oxigênio

Fornos básicos a oxigênio são de interesse nas estatísticas energéticas porque o processo libera um gás similar em composição ao gás de alto forno e geralmente é coletado com este e alocado como parte da produção de gás de alto forno.

Este forno opera com uma carga de ferro fundido e alguma sobra de aço. Oxigênio é injetado nesta massa fundida e oxigena o carbono presente no ferro (cerca de 4%) reduzindo-o aos níveis requeridos para o aço (cerca de 0.5%). O dióxido de carbono e monóxido de carbono produzidos são carregados pelo sistema de coleta de gás. O processo de oxidação aquece a carga fundida e ajuda a mesclar as sobras de aço adicionadas. Assim, as sobras de aço estabilizam a temperatura do processo.

O fluxo de carbono através do alto forno e fornos básicos a oxigênio revela que próximo à totalidade (cerca de 99,5%) do fornecimento de carbono aos fornos é carregada no gás de alto forno.

Anexo 4: Tratamento das energias hidrelétrica e geotérmica na metodologia Olade

Este anexo é baseado em Olade (2004).

A4.1. Energia hidrelétrica

É a energia potencial de um fluxo hidráulico.

Seja Q o fluxo de água em represas ou centrais a fio d'água. O balanço de água no ano é expresso da seguinte forma:

$$Q + Q_i = Q_t + (Q_s + Q_g) + (Q_v + Q_f) + Q_e$$

Q_i = estoque inicial na represa no começo de janeiro dividido pelo n° de segundos em um ano (=31536000)

Q_e = o mesmo no fim de dezembro

Q_t = fluxo turbinado, ou seja, o convertido em eletricidade

Q_s = Fluxo nos vertedouros

Q_g = fluxo nas comportas

Q_v = fluxo evaporado

Q_f = fluxo de infiltração

Todos os fluxos são médias anuais, mas são expressos em $m^3/\text{segundo}$.

Define-se o fator $r * g * t * h$ onde:

r = densidade da água;

g = aceleração da gravidade, 9.8 m/seg^2

t = tempo, 8760 horas por ano

h = altura da queda em metros

Se a equação do balanço é multiplicada pelo fator ***rgth*** obtém-se uma equação equivalente em kWh, cujos termos são interpretados como um balanço de energia da seguinte maneira:

- Produção = $(r * g * t * h) * Q$
- Não aproveitada = $(r * g * t * h) * (Q_s + Q_g)$
- Estoques = $(r * g * t * h) * (Q_e - Q_i)$
- Transformação = $(r * g * t * h) * Q_t$
- Perdas = $(r * g * t * h) * (Q_v + Q_f)$

Além disso:

- Eletricidade produzida pela energia hidráulica = EFICIÊNCIA * TRANSFORMAÇÃO

Caso os fluxos sejam desconhecidos estimar a eficiência em 80% e fazer **transformação = produção**; os outros se assumem igual a zero.

ENERGIA GEOTÉRMICA

Seja **Q** o fluxo da mescla água-vapor extraída de poços produtores. O balanço água-vapor no período de um ano é expresso da seguinte forma:

$$Q - Q_r = Q_t + (Q_a + Q_c), \text{ onde:}$$

- Q_r = fluxo de água reinjetado no poço após separar o vapor;
- Q_t = fluxo de vapor turbinado, aquele que é convertido em eletricidade;
- Q_a = vapor liberado na atmosfera;
- Q_c = fluxo de água quente derramado pela canaleta;

A entalpia associada a cada fluxo é:

$$H = C_p * Q * (T - T_o), \text{ onde:}$$

- C_p = capacidade calorífica da água em Kcal/(Kg*oC)
- T = temperatura do fluxo Q , sendo T_o a temperatura de referência

A equação do balanço pode ser expressa em entalpia:

$$H - H_r = H_t + (H_a + H_c) + H_p$$

- H_p = Perda entálpica devido ao sistema não ser adiabático;

Suponha que os fluxos são expressos em Kg/ano e que $C_p=1$.

Os termos da equação de entalpia podem ser interpretados como componentes do balanço energético da seguinte maneira:

- Produção = $H - H_r = Q * (T - T_o) - Q_r * (T_r - T_o)$
- Não aproveitada = $H_a + H_c = Q_a * (T_a - T_o) + Q_c * (T_c - T_o)$
- Transformação = $H_t = Q_t * (T_t - T_o)$
- Perdas = $H_p = H - (H_r + H_t + H_a + H_c)$, obtidas por diferença do balanço entálpico.

Além disso:

- Eletricidade (produzida com geotermia) = EFICIÊNCIA*TRANSFORMAÇÃO

Caso os fluxos sejam desconhecidos estimar a eficiência em 27% e fazer **transformação = produção**. Para a energia não aproveitada, considerar:

- Não aproveitada = produção – transformação; esta energia pode estar sobreestimada, pois está incluindo as perdas adiabáticas que se supõem nulas.