

## CAPÍTULO 7

# ENERGIA

Ednildo Andrade Torres

Universidade Federal da Bahia • UFBA • TECLIM

**“Aqueles que dominam a natureza  
E buscam possuí-la  
Jamais conseguirão,  
Porque a natureza é um sistema  
vivo, tão sagrado  
Que, quem a usar de forma profana,  
Certamente a perderá;  
E perder a natureza  
É perder a  
Nós mesmos. ”**  
TAO

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir a importância da energia nos diversos setores;
- Analisar as diferentes fontes, formas e possibilidades de conversão de energia;
- Discutir a viabilidade de medidas técnicas para melhoria do desempenho energético-ambiental;
- Avaliar o uso da energia do ponto de vista do desenvolvimento sustentável;
- Apresentar ao aluno a Exergia.

A proposta de adotar Prevenção da Poluição como princípio, implica considerar todos os aspectos que podem reduzir o impacto ao meio ambiente. Energia é um destes aspectos, pois está associada diretamente ao uso racional dos recursos naturais utilizados como fonte energética e aos impactos ambientais decorrentes do processo de produção e da forma de consumo adotada, tanto em setores industriais específicos como pela sociedade como um todo.

Assim sendo, neste capítulo abordaremos alguns pontos sobre a questão energética para que você possa fazer uma análise da situação atual no cenário mundial. Além disso, vamos apresentar alternativas de medidas e tecnologias que podem ser adotadas visando ao uso mais eficiente de energia no trabalho, na sua casa ou em qualquer outro local.

Vale salientar nesse momento que a energia, desde os seus primórdios, vem sendo fator de disputa entre as mais diversas nações, onde as guerras e, conseqüentemente, as conquistas têm trazido situações peculiares. A condição prévia de qualquer civilização é a energia. Por isso, tanto no passado, em que se utilizava a força animal e humana, quanto mais adiante, após o avanço das técnicas, quando se passou a utilizar os recursos naturais como o sol, o vento, as águas e as florestas, a energia sempre teve um papel destacado. Porém, com o crescimento da população, as necessidades energéticas passaram a ser cada vez mais concentradas e o modelo de desenvolvimento industrial adotado baseado na centralização da geração.

Esse modelo teve como base a transformação das fontes primárias, inicialmente a de carvão mineral e em seguida a do petróleo e seus derivados. Essa civilização foi forjada tendo como base, inicialmente, a máquina a vapor e depois os motores de combustão interna. Com o surgimento e o fortalecimento da indústria, houve a geração de empregos, paralelamente ao desenvolvimento da demanda de energia.

Atualmente, a população da Terra é superior a 5 bilhões de habitantes, sendo que cerca de 70% vivem nas cidades. Para exemplificar a escalada urbana, e conseqüentemente a concentração populacional, vejamos: no ano de 1900, apenas 11 cidades do mundo tinham população superior a 1 milhão de habitantes; em 1950, eram 75; em 1978, já eram 191; em 1985 o número passou para 273; e atualmente são mais de 350 cidades, sendo a maioria localizada em países do Terceiro Mundo.

Estamos vivendo uma fase de transição, em que a base ainda é a centralização da geração. Entretanto, já é uma realidade a participação da iniciativa privada na geração de energia, a contribuição dos autoprodutores, a introdução das alternativas e a conscientização do uso racional da energia.

O Brasil não diverge das grandes questões mundiais, tampouco as soluções empregadas seguem uma linha diferente. O nosso processo de industrialização também desencadeou uma crescente incorporação da energia como fator de crescimento, e, por outro lado, como fator limitante. Nas fábricas, possibilitou a produção em larga escala, gerando empregos, estimulando investimentos, proporcionando o desenvolvimento e o bem-estar da população.

O comércio acompanhou o processo industrial, o que acarretou a criação de novos empregos. Nas residências, esse vetor foi sentido com a introdução de eletrodomésticos, a popularização do uso do gás de cozinha, equipamentos de lazer, mudando os hábitos dos povos. Nos transportes, a utilização dos veículos automotivos, com a implantação das grandes montadoras, além das várias modalidades de transporte coletivo. Na agricultura, o processo de industrialização proporcionou maior produtividade, a mecanização agrícola, e em certos lugares contribuiu para a fixação do homem ao campo.

Na verdade, no ciclo que estamos vivendo, verifica-se a transição de uma ordem superada para a busca de um novo paradigma, e nele a energia deixa de ser só valorizada nos seus aspectos quantitativos para também ser enfocada numa perspectiva qualitativa, onde o que é fundamental não são só os grandes mananciais ou os fluxos energéticos, mas também a forma como a energia incorpora-se à economia, agregando qualidade aos produtos, reduzindo custos e, sobretudo, minimizando os impactos sobre o meio ambiente.

## 7.1 ENERGIA E MEIO AMBIENTE

A ciência define energia como a capacidade de realizar trabalho. Etimologicamente, a palavra “energia”, de origem grega, é similar ao termo. O trabalho é uma grandeza escalar conceituada na física como sendo o produto de uma força pelo deslocamento que ela provoca no sentido em que é aplicada. É oportuno lembrar que a ciência física utilizou nessa definição o mesmo termo “trabalho”, contudo este conceito já era existente, e de origem socioeconômica, portanto, atribuindo um significado particular (Bôa Nova, 1985).

O conceito atual de energia foi proposto pelo físico inglês Young, no início do século XIX. Muitos séculos antes, o Homem já observava e utilizava as diferentes formas de energia existentes na Natureza: a radiação solar, o fogo, os ventos, a lenha, posteriormente as quedas d’água e o movimento dos astros celestes. Há longo tempo, as pessoas e grupos familiares começaram a aprender como aproveitar a energia primária

para facilitar a vida, utilizando a natureza como fonte de suprimento, nas diversas formas apropriadas a satisfazer suas necessidades básicas: calor, cocção, movimento, iluminação, etc.

Para se entender a relação entre a utilização da energia e os impactos provocados sobre o meio ambiente é importante observar que o homem a transforma, a organiza para poder utilizá-la. Isto é, disponibiliza a energia de uma forma mais facilmente manuseável, podendo ser mais concentrada e mais disponível para uso imediato. Como exemplos citamos a transformação do petróleo e seus derivados, da lenha em carvão vegetal, do potencial hidráulico em hidroeletricidade. Mas para isso se paga um preço, as irreversibilidades, que têm tanto um componente ambiental como energético.

Nessa luta contra a “desordem” dissipa-se uma determinada quantidade de energia, que se perde para fora das fronteiras do sistema. Isso implica que se necessita de mais energia para ordená-la. De forma simplificada, as atividades econômicas não fazem nada mais que estruturar a matéria de modo a propiciar sua utilização pelo homem, e para isso exigem a incorporação de um aporte de energia externa. O grande problema é que existe uma contrapartida. As irreversibilidades ou perdas, que são transferidas sob a forma de energia degradada, são rejeitadas para o meio ambiente. Assim, a incorporação pelo homem da energia fóssil (petróleo, carvão mineral, gás) à produção de bens e serviços será acompanhada de perdas de matéria e energia para o meio externo, causando uma série de impactos ambientais (Odum, 1988).

Outrossim, além da emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, o aproveitamento das fontes energéticas provoca impactos ambientais associados ao custo (econômico, social e ecológico) de oportunidade da utilização de recursos naturais. Estes impactos podem ser significativos, mesmo no caso do emprego de fontes renováveis de energia como a hidroeletricidade, a biomassa energética, a energia solar e eólica, pelas grandes áreas utilizadas para a produção energética em grande escala (na construção e na área de influência de grandes barragens, em florestas e plantações energéticas, na superfície ocupada por coletores solares e aerogerados).

Além dos impactos ambientais que acompanham a operação normal das instalações de produção e utilização da energia, as tecnologias energéticas podem provocar riscos

de acidentes, catástrofes e desvios de seu uso para outros fins. O caso da energia nuclear é sem dúvida o mais importante nesse campo devido aos problemas a ela associados: disposição de resíduos, desativação dos equipamentos (após o tempo de vida útil), contaminação e vazamentos.

Embora nenhuma emissão para o meio ambiente esteja associada com a operação de usinas de geração de eletricidade nuclear, os resíduos de combustível nuclear permanecem radioativos por milhares de anos, e, apesar de pequenos em quantidade, devem ser dispostos e gerenciados cuidadosamente, pois representam uma grande ameaça para o meio ambiente e para a humanidade.

No caso da hidroeletricidade, esta modifica a operacionalidade dos rios, inunda terras anteriormente agricultáveis ou utilizadas para outros fins, altera os ecossistemas e muda o microclima. E durante a construção das barragens são empregadas grandes quantidades de materiais, o que provoca impactos, desde a sua extração até a sua aplicação nas usinas.

**Aos alunos:**

Outras tecnologias energéticas que envolvem grandes riscos são: minas de carvão, campos de petróleo, refinarias, transporte de petróleo, etc. Pesquise os impactos provocados por estas tecnologias alternativas energéticas.

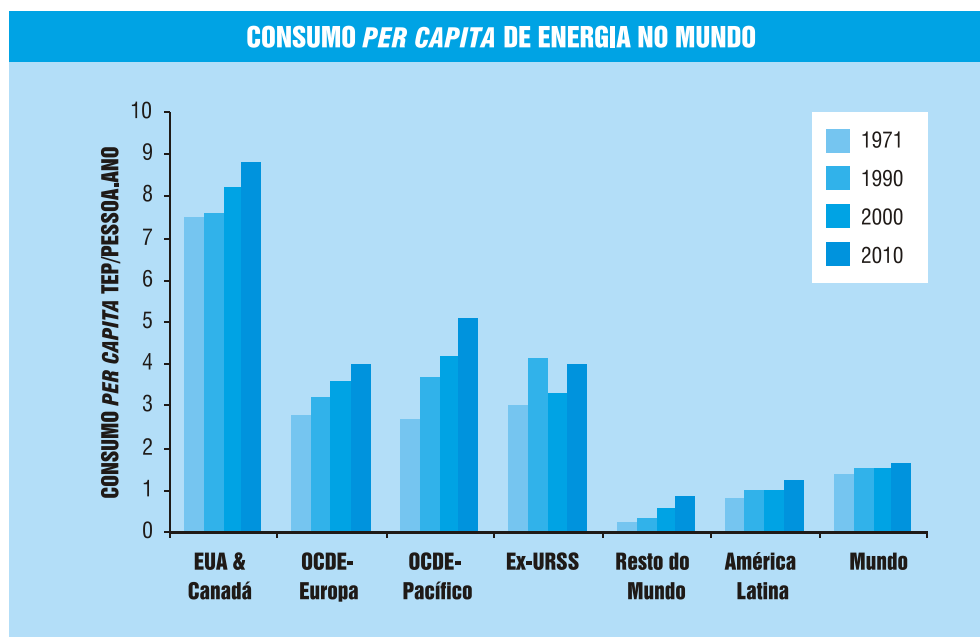
No primeiro capítulo deste módulo, para analisarmos as conseqüências dos problemas decorrentes de algumas atividades criativas, apresentamos a Equação Mestra do Impacto Ambiental. No caso específico do impacto ambiental provocado pelo uso da energia, convém fazer uma análise do consumo de energia no mundo.

## 7.2 CONSUMO DE ENERGIA NO CONTEXTO GLOBAL E NACIONAL

### CONSUMO DE ENERGIA POR HABITANTE NO MUNDO

O consumo *per capita* de energia tem sido um dos indicadores que medem o desenvolvimento de um país. Quanto maior o consumo, maior o desenvolvimento da nação. Após sucessivas crises do petróleo e o conseqüente aumento dos preços, ocorreu uma retração do consumo. Já na década de 90, com as pressões dos movimentos ecológicos, houve um crescimento da conscientização ambiental. Nesse sentido, a preocupação com o consumo de energia passou a ser exercida pelos governos e em seguida pela sociedade organizada. Medidas de redução do consumo e campanhas educacionais fizeram com que o consumo de energia *per capita* deixasse de crescer nas mesmas taxas do passado.

Na Figura 7.1 são apresentados os valores do consumo de energia *per capita* para os diversos países ou regiões do mundo.



Fonte: Torres, 1999

**FIGURA 7.1 – CONSUMO DE ENERGIA *PER CAPITA* NO MUNDO**

Nela foram lançados os dados referentes aos anos de 1971, 1990 e 2000, assim como um cenário para 2010. Os valores representam toda a energia consumida no período, dividida pela população do país. A unidade de medida em que foram expressos os índices é a tep (tonelada equivalente de petróleo), ou seja, transformam-se todas as fontes de energia consumida em uma única, que equivale à energia produzida que pode ser extraída a partir de uma tonelada de petróleo.

Nos EUA e no Canadá, para o ano de 1990, o consumo *per capita* foi de cerca de 7,5 tep/habitante; enquanto para o ano de 2000, um consumo por habitante de 8,2 tep. O que representou um crescimento de 9,3% em uma década.

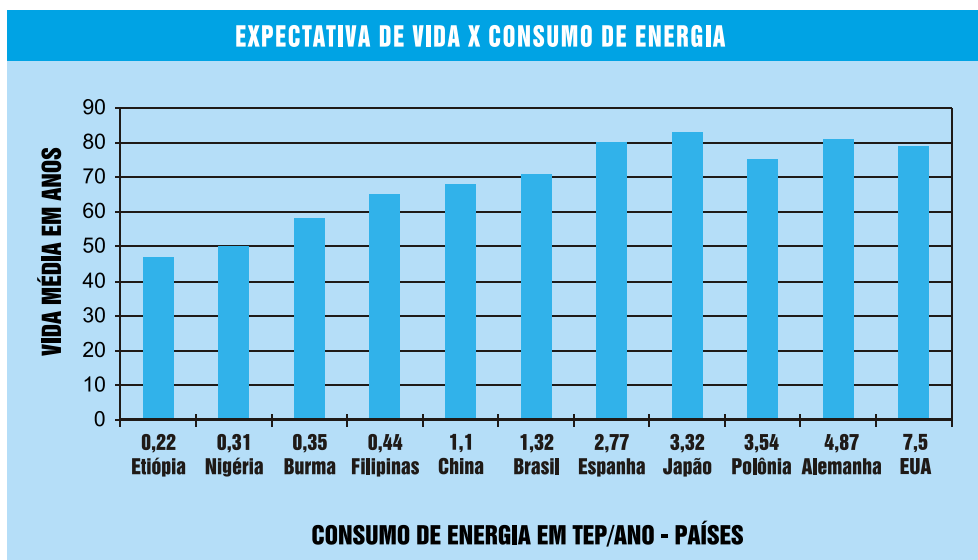
Para a América Latina, o consumo específico em 1990 foi de aproximadamente 0,9 tep/habitante; enquanto para o ano de 2000, cerca de 1,2 tep/habitante. Quando comparado com a média mundial, a América Latina não se encontra muito distante com relação ao consumo *per capita*. Porém, com relação aos EUA, a relação é de um para aproximadamente sete.

Com esses números podemos afirmar que o processo de desenvolvimento na América Latina está muito aquém dos países desenvolvidos. No entanto, o objetivo não é aumentar o consumo *per capita* de qualquer maneira, e sim buscar um desenvolvimento sustentável e equilibrado.

Particularizando, podemos estabelecer os índices para o Brasil, desagregando-os do que foi mostrado. Para isso utilizaremos os dados fornecidos pelo BEN (Balanço Energético Nacional). Para o ano de 1990, o consumo *per capita* foi de 1,18 tep/habitante e em 1995 foi de 1,28 tep/habitante. Sendo que em 1997 esse número cresceu para 1,317 tep/habitante e pelo BEM (2000) o valor aumentou para 1,55 tep/habitante. Portanto, quando comparado com a América Latina, o Brasil tem um consumo por habitante maior, condizente com o processo de desenvolvimento no país em relação aos demais da América Latina.

### EXPECTATIVA DE VIDA X CONSUMO DE ENERGIA

Iniciaremos a discussão deste item apresentando a Figura 7.2, que mostra a correlação entre o consumo de energia e a expectativa de vida da população de alguns países.



**FIGURA 7.2 – EXPECTATIVA DE VIDA X CONSUMO DE ENERGIA (FONTE: TORRES, 1999)**

O consumo de energia no *eixo x* é expresso em tep/ano e no *eixo y* é mostrada a expectativa de vida ou vida média dos diversos países, em anos. Observa-se que os EUA têm o maior consumo de energia *per capita*, com cerca de 7,5 tep/ano e uma expectativa de vida de cerca de 79 anos. Por outro lado, na Etiópia, o consumo *per capita* é inferior a 0,22 tep/ano e a expectativa de vida é menor do que 50 anos. Já no Brasil, onde o consumo *per capita* é pouco maior do que 1,3 tep/ano, a esperança média de vida de um brasileiro é de cerca de 70 anos. Maior consumo de energia indica a existência de mais indústrias, mais saúde, mais habitação, mais educação, mais empregos, e a condição social da população é refletida sob a forma de uma vida mais longa.

Portanto, podemos afirmar que quanto maior a renda *per capita*, maior é a vida média e o nível de vida da população, e maior seu consumo de energia.

#### **Questão para reflexão:**

- Que outras implicações você vê nisso?



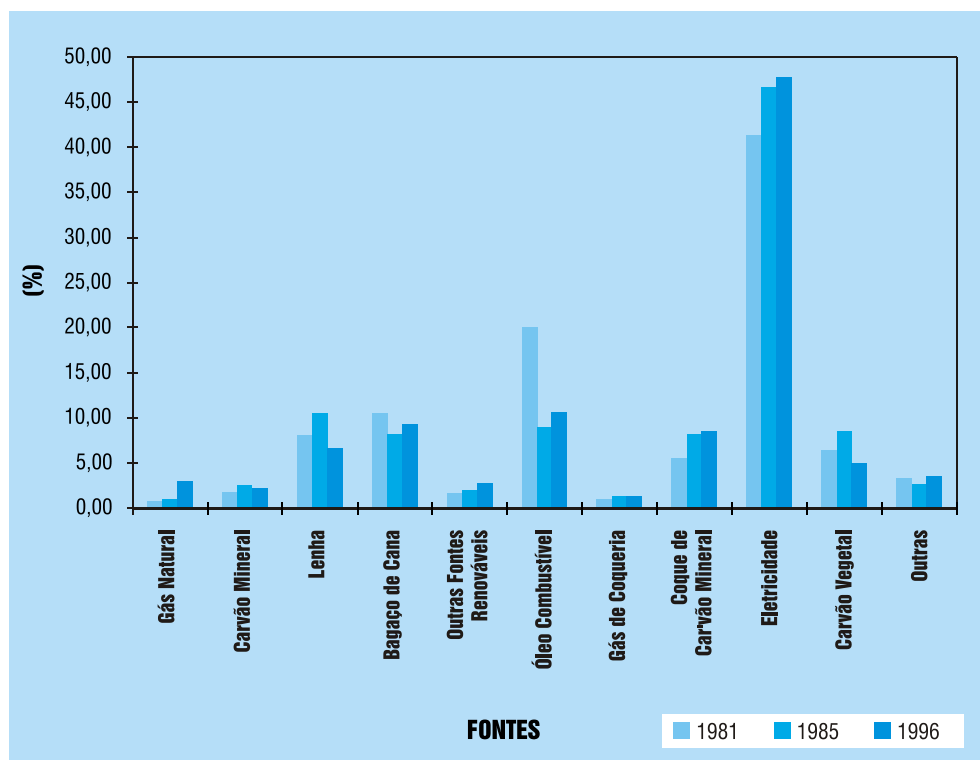
### 7.3 CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL

Segundo o Balanço Energético Nacional (2000), o setor industrial foi responsável por 37,4% do consumo nacional em 1999, seguido pelo setor de transporte, com 20,6%, e pelo setor residencial, com 15,9%. Esses números apontam para a importância da racionalização do uso da energia na indústria, assim como nos demais setores consumidores.

#### SETOR INDUSTRIAL

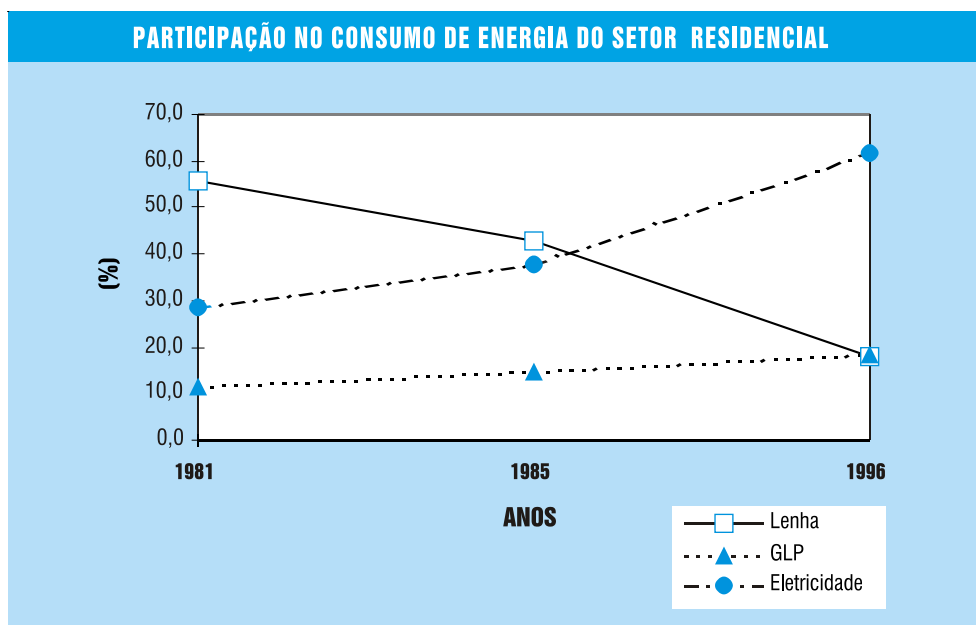
A indústria tem um grande peso no consumo de energia tanto no Brasil como no exterior. O setor industrial consome diversas formas de energia, dentre elas cita-se: gás natural, carvão mineral e vegetal, óleo combustível, eletricidade, etc.

Na Figura 7.3 pode-se verificar a participação das diversas fontes da energia consumida pelo setor industrial. Verifica-se que a eletricidade e o óleo combustível, juntos, têm atendido mais de 50% do consumo dos energéticos, sendo que em 1996 a parcela da eletricidade foi 47,7% e do óleo combustível de 10,6%.



Fonte: Balanço Energético Nacional, 1997.

**FIGURA 7.3 – CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA POR FONTE, BRASIL 1981–1996**

**SETOR RESIDENCIAL**

Fonte: Balanço energético nacional, 1997.

**FIGURA 7.4 – CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RESIDENCIAL POR FONTE, BRASIL 1981–1996**

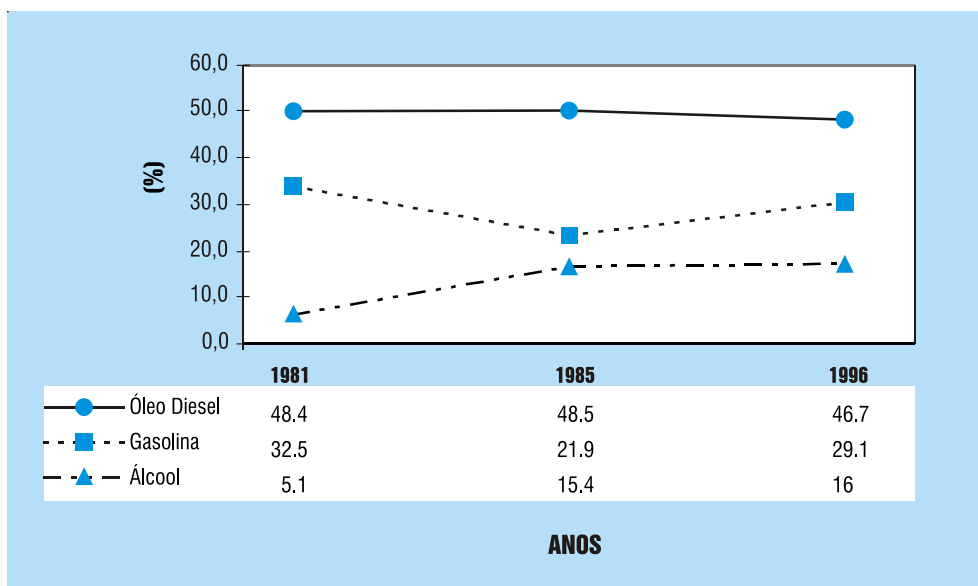
O setor residencial no Brasil tem uma participação importante no contexto da matriz energética brasileira. A lenha (biomassa) teve no passado uma importância fundamental.

No ano de 1981, no Brasil, a lenha participava com 55,5% do consumo de energia no setor residencial, enquanto a eletricidade contribuía com 28,4% e o GLP com 11,3%. Mas em 1996 a participação da lenha caiu para 17,9%, sendo substituída pelo GLP, que figurou com 18,5%, e pela eletricidade, com 61,8%. A Figura 7.4 mostra a evolução dos energéticos no setor residencial no Brasil.

**SETOR DE TRANSPORTE**

O setor de transporte é o segundo maior consumidor, perdendo apenas para o setor industrial. Os energéticos mais consumidos são o óleo diesel e a gasolina. Na Figura 7.5 observa-se que a gasolina em 1981 participava com 32,5% no consumo de energia,

o óleo diesel com 48,4% e o álcool com 5,1%, e os demais com 14%. Já em 1996 a participação foi de 29,1%, 46,7% e 16%, respectivamente. A grande mudança foi com a introdução do álcool etílico na matriz energética após o ano de 1981. Evidencia-se, ainda, a importância do setor de transporte coletivo de passageiros e de carga, consumidores de óleo diesel.



Fonte: Balanço Energético Nacional, 1997.

**FIGURA 7.5 – CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR TRANSPORTE POR FONTE, BRASIL 1981–1996**

Além desse contexto geral, outras especificidades caracterizam a realidade brasileira no que se refere ao seu consumo energético, como, por exemplo:

- a forte preponderância da geração de origem hidráulica no suprimento de eletricidade, com a maior parte do potencial hidroelétrico remanescente localizado em região de ecossistemas particularmente frágeis e de elevada biodiversidade, a Amazônia;
- a existência de importante segmento da indústria siderúrgica, em particular a produção de ferro-gusa e ferroligas, baseada no uso de carvão vegetal (como redutor e combustível), oriundo em sua maior parte de desmatamentos;

- a importância do álcool de cana-de-açúcar como combustível de automóveis, graças ao maior programa de biomassa renovável em todo o mundo;
- a má qualidade do carvão mineral brasileiro, com seus altos teores de cinzas e enxofre.

Estas especificidades e outros exemplos demonstram a necessidade de nossa política ambiental estar particularmente atenta às características da produção e uso da energia no país, assim como a importância crescente de uma adequada inserção da dimensão ambiental no planejamento energético brasileiro.

**Aos alunos:**

Tente dar sugestões para a redução do consumo de energia nos setores apresentados. Pense nas causas primeiro, é claro!

**7.4 FONTES, FORMAS E CONVERSÃO DE ENERGIA**

Agora que foi apresentado o contexto em que a questão energética se insere, é preciso considerar de que maneira se encontram os recursos energéticos para nosso uso. O objetivo disso é identificar a melhor forma de aproveitar energia para os fins que temos em mente.

Genericamente podemos dizer que o uso de energia envolve:

- produção das formas de energia utilizáveis através de processos de conversão de energia; transporte, distribuição e armazenamento de energia;
- utilização de recursos de energia e formas processadas de energia para produzir serviços e processar tarefas.

O conhecimento da finalidade a ser dada à energia deve ser conjugado com o conhecimento das suas fontes, formas e meios de conversão, para identificar a maneira mais eficiente e menos impactante para o seu aproveitamento. Deve-se lembrar, contudo, que transformações para se obter uma forma de energia apropriada ao uso final implica perdas.

Apesar de suas múltiplas formas, a energia se origina de apenas três tipos de interações fundamentais da natureza: gravitacional, eletromagnética e nuclear. Apenas três!

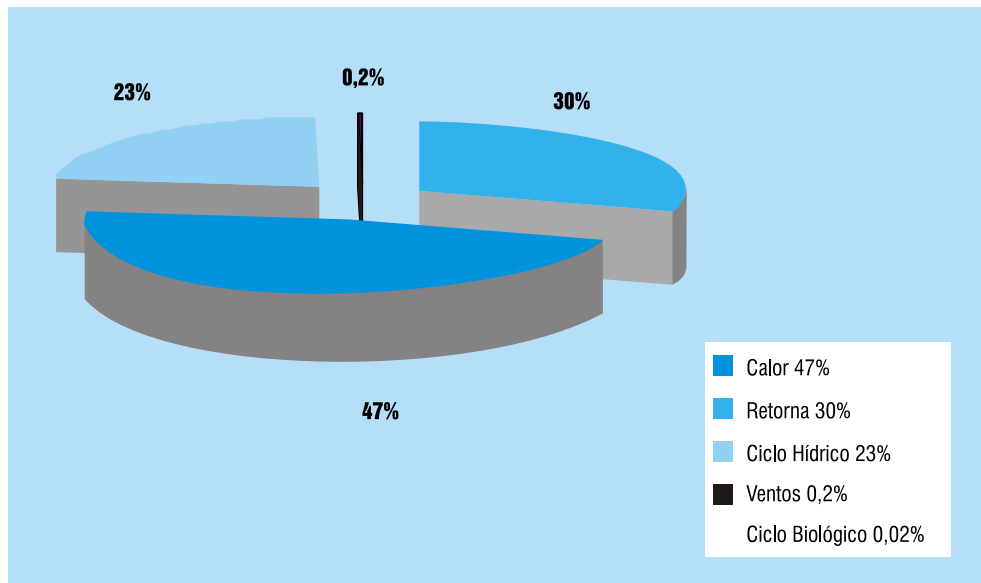
As fontes de energia, ou energia primária, provêm das interações anteriormente mencionadas, que são encontradas na natureza. Consideram-se formas de energia primária a energia solar, o potencial hidroelétrico, a biomassa, os combustíveis fósseis, a energia eólica e a geotérmica. Estas formas de energia possuem algumas interdependências.

### **ENERGIA SOLAR**

A energia solar, por exemplo, é a mais importante para o homem. É vital para a vida na Terra, e dessa fonte energética derivam, indiretamente, várias outras formas de energia utilizáveis no nosso planeta.

A energia solar provém da fusão termonuclear, na superfície do Sol, de elementos leves, especialmente do hidrogênio, produzindo deutério e hélio. Como a massa total resultante é ligeiramente menor que a inicial, há nesse processo uma transformação dessa pequena diferença de massa em uma enorme energia, liberada sob a forma de calor, segundo a fórmula da teoria da relatividade restrita de Einstein:  $E = m \cdot c^2$  (energia igual ao produto da massa relativística pelo quadrado da velocidade da luz).

Parte da energia produzida atinge a Terra sob a forma de radiação eletromagnética, especialmente à luz visível. Cerca de 30% dessa energia são refletidos de volta ao espaço pelas nuvens, por partículas na atmosfera e pela superfície terrestre. O resto é absorvido pela atmosfera e, principalmente, pela Terra, que uma vez aquecida reemite esse calor de volta ao espaço através dos ciclos hídricos, biológicos e dos ventos, conforme indica a Figura 7.6.



**FIGURA 7.6 – ENERGIA TOTAL INCIDENTE NA TERRA**

Como a temperatura da Terra é bem menor do que a do Sol, a frequência dessa radiação é também muito menor, possibilitando a absorção de parte desse calor por alguns gases que estão na atmosfera (o dióxido de carbono e o metano, por exemplo). Este fenômeno é na realidade o chamado “efeito estufa” – que nós já vimos no Capítulo 2. Graças ao efeito estufa a temperatura do nosso planeta subiu até atingir um nível equilibrado, o que permitiu o aparecimento e o desenvolvimento de formas cada vez mais complexas de vida. Recentemente, o excesso de emissões dos chamados gases estufa é que está produzindo indesejáveis mudanças climáticas.

Bom, vamos ver o que o Sol faz? Os vegetais crescem e se desenvolvem graças à fotossíntese, que é a assimilação da energia solar pela clorofila de suas folhas, transformando-a em matéria orgânica – a biomassa. A lenha e o carvão vegetal de florestas plantadas, o álcool e o bagaço da cana-de-açúcar, por exemplo, são combustíveis produzidos de forma renovável, graças ao fluxo de energia que recebemos do Sol.

Além disso, os chamados combustíveis fósseis – petróleo, gás natural e carvão mineral – são oriundos da decomposição da biomassa, ao longo de milhões de anos, pela ação de bactérias. Essa reação conduz a uma perda do oxigênio presente nos vegetais,

dando origem, de acordo com o tempo de decomposição, à formação de diversos tipos de carvões, como a hulha, o linhito e a turfa, por ordem de idade decrescente. O petróleo e o gás natural resultam da reação bacteriana de matéria orgânica sob condições especiais, transformando os hidratos de carbono em hidrocarbonetos, que em estado líquido ou gasoso se deslocam facilmente na crosta terrestre até serem aprisionados por rochas porosas.

É importante notar que os combustíveis fósseis constituem um estoque não renovável, pois o tempo de sua formação na Terra, da ordem de milhões de anos, é muito maior que a escala de tempo das atividades humanas. Outras fontes de energia que estão disponíveis na Terra de forma finita são: matéria orgânica parcialmente decomposta como turfa; urânio, etc.

A energia solar também é responsável pela evaporação da água na superfície de oceanos, lagos e rios. Conforme indica a Figura 7.6, 23% da energia incidente sobre a Terra são absorvidos no ciclo hidrológico. O vapor d'água resultante sobe à atmosfera e após certo tempo, tendo percorrido alguma distância, se condensa em gotas d'água, retornando à Terra como chuva e liberando calor no processo de condensação. Assim, a energia do Sol realimenta a energia hidráulica das quedas d'água, originada pela força de gravidade. Por se tratar de ciclos anuais, esta forma de energia é considerada renovável.

A diferença entre as quantidades de energia solar recebidas nas várias partes da superfície terrestre causa diferenças de temperatura e pressão, provocando ventos na atmosfera. Também contribuem para sua formação a energia cinética, o movimento de rotação da Terra e a atração gravitacional da Terra sobre a massa da atmosfera que a envolve. Portanto, a energia eólica resulta da energia solar e da energia gravitacional.

Também a partir dessas duas fontes os oceanos poderão (no futuro, pois hoje só temos projetos piloto para desenvolvimento das tecnologias necessárias, que de modo geral ainda são muito caras) fornecer energia de três tipos:

- das marés, provocada pelo movimento de rotação da Lua em torno da Terra, arrastando pela atração gravitacional a massa de água dos oceanos, fazendo variar a altura da superfície do mar, que pode ser usada próximo às costas;



- das ondas, provocada por efeitos combinados de movimentos do mar e dos ventos, que se atiram com a superfície dos oceanos;
- da diferença de temperatura entre a água da superfície, aquecida pela energia solar, e as águas mais profundas dos oceanos.

Pode-se, enfim, usar diretamente a energia solar como fonte energética, através de equipamentos especialmente construídos para captá-la, destacando-se:

**Coletores planos.** Capazes de aproveitar não só a radiação direta do Sol mas também a radiação difusa (única disponível em dias nublados) para aquecimento de água e do ar (na secagem de grãos, por exemplo).

**Células fotovoltaicas.** Para geração direta de energia elétrica, aproveitando o efeito fotovoltaico: a radiação solar direta desprende elétrons de materiais semicondutores (como o silício metálico, por exemplo), dando origem a uma corrente elétrica.

**Coletores concentradores** (cilíndrico-parabólicos, por exemplo). Estes são concentradores da radiação solar direta num único ponto, de forma a produzir calor em alta temperatura para vaporizar a água e gerar eletricidade numa turbina.

#### Aos alunos:

Tente levantar os custos das opções apresentadas e fazer um estudo da relação custo x benefício.

### BIOMASSA

A biomassa é matéria orgânica de origem tanto animal como vegetal, obtida de florestas nativas e plantadas, culturas energéticas, plantas aquáticas e resíduos orgânicos – domésticos, industriais e agropecuários. Exemplos típicos são: cana-de-açúcar, lenhas e madeiras de diversas origens, óleos vegetais, como de mamona e dendê, esterco animal, esgoto, etc.

Esses materiais são transformados em energia pelas vias termoquímica ou bioquímica, normalmente para gerar calor direto, gás metano ou eletricidade.

Os processos termoquímicos são a combustão, a pirólise (aquecimento na ausência de oxigênio, utilizada, por exemplo, na fabricação de carvão vegetal), a gaseificação e a liquefação. A conversão bioquímica inclui a digestão anaeróbia e a fermentação alcoólica.

No meio rural e periferias dos países do Terceiro Mundo, ainda hoje, a combustão direta da lenha, de resíduos agrícolas e de esterco constitui-se na principal fonte de energia para o cozimento de alimentos e aquecimento. Nesses países, a lenha para fins energéticos chega a representar 80% do consumo total. Em nível mundial, a lenha ainda representa 47% deste consumo energético (Torres, 1999).

Este consumo tem acarretado sérios prejuízos ambientais pela forma indiscriminada como a lenha é coletada, provocando degradação do solo, erosão e, finalmente, desertificação. Milhões de hectares de áreas de florestas são destruídos por ano no Terceiro Mundo.

No início da década de 40 a biomassa era responsável por cerca de 76% do consumo de energia do Brasil, a energia elétrica por 7,0%, o petróleo por 9,0%, o carvão mineral por 7,0% e a cana-de-açúcar por 1,0%. Com o uso crescente dos derivados de petróleo, logo acompanhados da grande expansão da hidroeleticidade, a biomassa passa a diminuir de participação década após década. Mas a tendência é que esse quadro volte a se inverter, e para um futuro próximo a biomassa volte a ser responsável por suprir grande parte da energia necessária.

O Proálcool é o maior programa de produção de álcool em nível mundial. Na verdade, pode-se produzir álcool a partir da fermentação de cana-de-açúcar, mandioca, milho, sorgo sacarino, entre outras matérias-primas. Porém, a maior produtividade energética por hectare é fornecida pela cana-de-açúcar, que assim é a base para o programa.

Atualmente, estima-se em cerca de 12 bilhões o número de litros anuais produzidos no país, movimentando 4 milhões de carros a álcool, além de participar com aproximadamente 2% na mistura álcool/gasolina, que abastecem os demais 8 milhões de automóveis.

Apesar de seu sucesso tecnológico, o Proálcool também representa importantes custos sociais e ecológicos (La Rovere, 1988):

- os incentivos dados à expansão da cultura da cana-de-açúcar – não estendidos às culturas alimentares para abastecimento do mercado interno – chegaram, ao longo da implementação do Proálcool, a causar, em algumas regiões, a substituição dos cultivos alimentícios pela cana-de-açúcar;
- sua produção, à base de monocultura, com a prática da queimada para facilitar o corte, exige muito do solo, além de um elevado uso de insumos como: fertilizantes, água, pesticidas, entre outros;
- a transformação da cana em álcool nas destilarias gera efluentes líquidos altamente poluentes, como as águas de lavagem e principalmente o vinhoto, emitido em grande quantidade (10 a 17 litros para cada litro de álcool).
- o tratamento do vinhoto em lagoas de decantação e/ou estabilização deu margem a diversos acidentes de rompimento ou transbordo das represas, e o conseqüente despejo do vinhoto em rios causa mortandade de peixes em decorrência da demanda de oxigênio dessa enorme carga orgânica.

Um uso mais eficiente da biomassa é fundamental para reduzir os impactos ambientais decorrentes do seu uso. A conversão em carvão vegetal, o desenvolvimento de fornos aperfeiçoados, de maior rendimento e capazes de permitir a recuperação do alcatrão, poderá contribuir para atenuar os impactos ambientais negativos do uso de carvão vegetal.

A biodigestão anaeróbia propicia um tratamento conveniente de resíduos poluentes como esgoto, vinhoto (de destilarias de álcool e açúcar) e diversos efluentes industriais, fornecendo ainda o biogás como subproduto. Além disso, esta tecnologia também permite eliminar os germes patogênicos do esterco, através do uso de biodigestores rurais, que ainda produzem um biofertilizante bem mais eficaz que o esterco *in natura*, e biogás para cocção, iluminação e geração de energia elétrica.

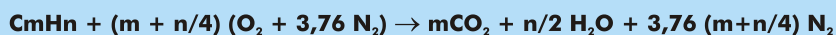
### COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Pela importância do impacto causado pela queima de combustíveis fósseis, faremos uma análise mais detalhada desta.

A combustão é utilizada para muitos fins, como, por exemplo, em máquinas, transporte, etc. Qualitativamente, a combustão dos hidrocarbonetos pode ser expressa como a seguir:

**Hidrocarboneto + ar (principalmente  $O_2$  e  $N_2$ )  $\rightarrow$   $CO_2$  +  $H_2O$  +  $N_2$  + substâncias residuais e outros produtos de reação.**

Estequiometricamente, a combustão de um hidrocarboneto genérico ( $C_mH_n$ ) no ar (tratado como apenas nitrogênio e oxigênio) pode ser descrita pela seguinte reação:



Aqui,  $m$  e  $n$  são variáveis que podem possuir diferentes valores numéricos para diferentes hidrocarbonetos (ex.: em termos aproximados,  $m=1$  e  $n=4$  para o gás natural, principalmente o metano;  $m=1$  e  $n=2$  para o óleo; e  $m=1$  e  $n=1$  para o carvão).

Alguns pontos são importantes para as duas expressões da reação anterior:

- o dióxido de carbono é claramente um produto inerente da combustão de qualquer combustível que contenha carvão. De modo geral, a única maneira de evitar a emissão de dióxido de carbono é eliminar o uso de combustíveis baseados no carbono (ex.: utilizando o hidrogênio como combustível);
- se o oxigênio disponível for insuficiente (ou se os gases não se misturarem, ou o tempo de reação for curto), o carbono irá geralmente fazer uma combustão apenas parcial, produzindo CO;
- o nitrogênio não deveria reagir no ar, mas preferivelmente passar diretamente para um combustível imutável. Entretanto, oxidação do nitrogênio pode ser produzida sob certas condições de combustão, como a alta temperatura (ex.: máquinas de automóvel);

- usualmente, ar em excesso, além do total requerido pela combustão estequiométrica, é utilizado para melhorar a queima do combustível. Porém, a temperatura dos gases de exaustão é diminuída quando é utilizado ar em excesso, assim como alguma energia de combustível pode ir diretamente aquecer o ar em excesso, e esse efeito pode resultar em diminuição da eficiência;
- geralmente o combustível não é um hidrocarboneto puro e contém outras substâncias, como o enxofre. Quando o enxofre está presente, ele entra em combustão (produzindo energia) e reage transformando-se em dióxido de enxofre.

Nos aspectos mais diretamente ligados ao processo de combustão, as seguintes medidas podem ser utilizadas para reduzir emissões:

- limpar primeiramente o combustível, antes de executar a combustão (ex.: a retirada do enxofre do petróleo, carvão mineral e gás natural);
- modificação do processo de combustão (ex.: usar um sistema de combustão duplo, o qual fornece ar insuficiente em uma seção e ar em excesso em outra, para reduzir a produção de poluentes como óxido de nitrogênio);
- tratar os gases de exaustão após a combustão (ex.: uso de precipitadores eletrostáticos, ciclones, filtros de fábrica, esfregadores de partículas para remover o material particulado).

### **OUTRAS FONTES DE ENERGIA**

Outra fonte energética renovável, mas que não é originada pela energia solar, é a formada pela alta temperatura do núcleo da Terra, e alimentada pela desintegração radioativa de núcleos atômicos instáveis, presentes no seu interior.

Finalmente, quando se sabe controlar a reação nuclear que se desenvolve exponencialmente, em cadeia, sua energia pode ser usada como uma fonte energética. É o caso da fissão de núcleos pesados como o urânio, usado nos reatores nucleares, onde são submetidos a um bombardeio de nêutrons. O calor liberado serve para produzir vapor, movimentando uma turbina que aciona um gerador elétrico. Entretanto, esta fonte é não renovável, pois o estoque de materiais fósseis na crosta terrestre é finito, sendo

o urânio relativamente escasso. Já a fusão de núcleos leves, mais abundante, ainda não é controlada pelo homem, que até agora só conseguiu utilizá-la para gerar explosões, com fins bélicos, como no caso da bomba de hidrogênio.

**Aos alunos:**

Identifique as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de energia apresentados anteriormente e estabeleça um critério para expressar o grau de impacto ambiental associado ao uso de cada um deles.

**7.5 MEDIDAS TÉCNICAS PARA MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO****PREVENÇÃO DAS PERDAS E DISSIPAÇÃO DE ENERGIA**

As perdas de energia estão associadas a vazamentos que ocorrem dentro dos sistemas (ex.: fluxo quente dentro de um espaço frio) ou para fora do sistema (ex.: vazamento de combustível de um tanque de armazenagem, vazamento de vapor).

A eficiência pode ser melhorada através da prevenção desses vazamentos de energia por intermédio das duas principais abordagens:

- aplicação de tecnologias e métodos de prevenção de vazamento como, por exemplo, o uso de selos em tanques e dutovias e aplicação de isolamento;
- inspeção periódica para detectar perdas e vazamentos e para levar às ações apropriadas a serem formuladas e implementadas.

**CO-GERAÇÃO E GERAÇÃO DE MULTIPRODUTO**

A geração de dois ou mais produtos simultaneamente às vezes resulta no aumento de eficiência quando comparado à soma da produção individual de cada um dos produtos.

Co-geração, ou combinação de aquecimento e potência (CHP), geralmente se refere à geração simultânea de energia (trabalho) e calor (ou uma forma aquecida como água quente ou vapor). Muitas indústrias utilizam a co-geração internamente, com algumas sendo capazes de até vender parte da energia co-gerada!

Uma geração tripla pode ser resultante de um processo de co-geração, em que se pode produzir um refrigeração em adição ao aquecimento e eletricidade.

Também existem outros processos que geram produtos múltiplos, que resultam em ganho de eficiência, como, por exemplo, a eletrólise de água para produzir hidrogênio gera uma mercadoria secundária, o oxigênio, normalmente de alto grau de pureza e, dessa forma, pode ser considerado como um co-produto ou um produto co-gerado. Observe na Figura 7.7 um sistema de co-geração de ciclo combinado:

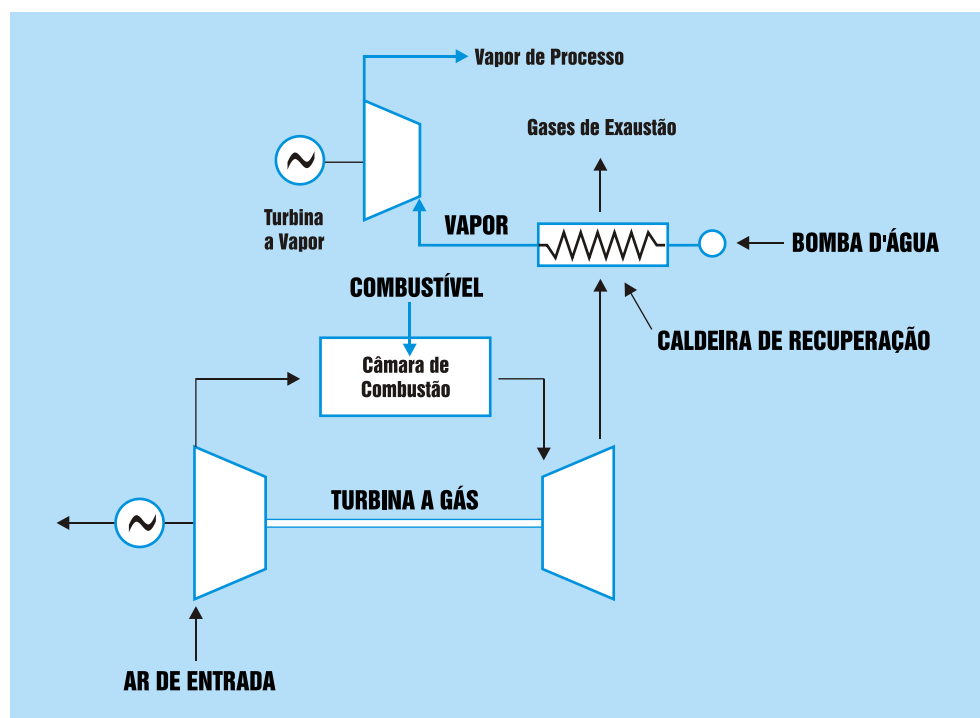


FIGURA 7.7 – SISTEMA DE CO-GERAÇÃO EM CICLO COMBINADO

### **SISTEMAS DE ENERGIA INTEGRADOS**

A eficiência pode ser melhorada unindo sistemas separados e criando sistemas de energia integrados. As integrações de sistemas são benéficas em situações em que as saídas dos processos, as perdas ou os resíduos não podem ser reusados naquele mesmo processo, mas sim como entrada de outros processos.

Por exemplo, o dióxido de carbono emitido como combustão de resíduos sólidos pode, com uma variedade de níveis de tratamento, tanto ser utilizado em outros processos em que ele é requerido como também ser injetado dentro de reservatórios de óleo, na intensificação das operações de recuperação de óleo ou na carbonatação de bebidas. A integração de sistemas de energia pode ser muito ampla e complexa, especialmente nos parques industriais, onde muitos recursos são utilizados e uma grande variedade de resíduos é gerada.

Na indústria de processos, muitas correntes de saída possuem cargas térmicas elevadas para o seu destino e, portanto, têm que ser submetidas a trocas térmicas com água de refrigeração. Por outro lado, outros processos exigem que as suas correntes de entrada sejam aquecidas. Para tanto, usam-se fornalhas, ou vapor. Dessa forma, tanto para o aquecimento como para o resfriamento, consome-se energia. Se o calor a ser retirado de uma corrente puder ser aproveitado para aquecer uma outra, que precisa ter sua carga térmica aumentada, estaríamos conseguindo um duplo ganho, tanto econômico como ambiental. A instalação criteriosa de trocadores de calor permite essas transferências.

De acordo com o que vimos no Capítulo 3 – Minimização de Resíduos, o método PINCH possibilita uma integração mais ampla, incluindo calor e potência, e posteriormente serve de base para a integração mássica, onde o objetivo é minimizar perdas materiais procurando-se os arranjos mais econômicos para transferir compostos de efluentes líquidos para correntes de processo.

### **ENTROSAMENTO ENTRE DEMANDA, FORNECIMENTO E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA**

Algumas formas de fornecimento de energia dificultam seu controle, provocando perdas. Isso faz com que a energia seja oferecida num nível que excede o requerido para uma demanda específica. Portanto, é mais eficiente fornecer uma forma de energia em um nível mais próximo do necessário. Isso pode ser realizado de diversas maneiras, tais como:



- adequar a temperatura do fluxo de transferência de calor para o fim determinado. Para um aquecimento interno em torno de 22°C, por exemplo, o fornecimento de calor de 40°C seria suficiente e muito melhor do que o uso de calor vindo de uma caldeira de combustão que gera calor a centenas de graus. Dessa forma se torna viável o uso de calor residual de indústrias;
- armazenar a energia excedente, das fontes que estão disponíveis em quantidades superiores à demanda, em determinados momentos.

### MELHORIA NO ENVOLTÓRIO DAS EDIFICAÇÕES

A eficiência de energia em uma edificação pode ser melhorada utilizando-se uma variedade de medidas, tais como:

- aumento no isolamento de paredes e telhados, para reduzir a infiltração de calor no verão e a perda no inverno;
- vedação nas fendas, portas, janelas e pequenas frestas, para reduzir trocas de ar do meio externo com o meio interno;
- janelas modernas, de alta eficiência, que devem ter as seguintes características:
  - camadas duplas (ou mais) de esmalte, que reduzem as perdas de calor;
  - janelas eletrônicas ou com fotossensores, que automaticamente reflitam ou absorvam luz;
  - aplicação de camadas de baixas taxas de emissão, que aumentam a resistência da janela às perdas de calor;
- persianas e brises, equipadas com sensores fotossensíveis que são auto-ajustáveis, em função da projeção da luz do sol, de forma a impedir ou liberar a absorção da luz, de acordo com a estação.

#### Questão para reflexão:

- Se você fosse construir uma casa hoje, consideraria as medidas propostas acima no projeto?

### USO DE APARELHOS DE ALTA EFICIÊNCIA

Cada vez é mais fácil encontrar equipamentos e aparelhos de alta eficiência, como por exemplo:

- aparelhos domésticos de alta eficiência (ex.: refrigerador, fogão, lava-prato, lava-roupa, secadora, etc.);
- aquecedores e ares-condicionados de alta eficiência;
- motores e caldeiras de alta eficiência;
- motores de velocidade variável, utilizados em bombas, ventiladores, compressores, bombas quentes e linhas de processos na indústria e que possam se adequar melhor ao serviço requerido do que os que têm uma única velocidade.

#### Aos alunos:

Quando você for comprar um aparelho verifique os dados relacionados ao consumo de energia. Compre esta briga!!

### ILUMINAÇÃO MAIS EFICIENTE E EFICAZ

A iluminação representa um consumo de energia significativo, somando um valor em torno de 20% do uso total de energia nos Estados Unidos. Novas instalações elétricas (incluindo lâmpadas elétricas, refletores e difusores) trazem maior eficiência e maior vida útil. Por exemplo, eficiência de energia para alguns tipos de fonte de luz (em lumens de iluminação por *watt* de eletricidade consumido, são:

**TABELA 7.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA DIFERENTES TIPOS DE FONTE DE LUZ**

Tipo de lâmpada/ lumens por watt	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155
Incandescente (10 a 30)																															
Mercúrio (20 a 55)																															
Fluorescente (20 a 60)																															
Sódio de alta pressão (50 a 130)																															
Sódio de baixa pressão (80 a 155)																															

Dessa forma a mesma quantidade de luz pode ser gerada com iluminação de alta eficiência com menos de 10% da eletricidade requerida para uma lâmpada incandescente.

#### Aos alunos:

Faça um levantamento de custos dos diferentes tipos de lâmpadas apresentados na Tabela 7.1 e avalie a relação custo x benefício.

Também pode ser conseguida eficiência através da adequação da iluminação ao espaço e função, através de algumas outras medidas, como:

- utilizar iluminação direcionada para onde for mais necessário. Por exemplo: uma mesa deve estar mais iluminada do que o restante do quarto;
- ajustar os níveis de iluminação para que se adaptem às necessidades do olho humano, sem deixá-los excessivamente altos, por razões estéticas ou quaisquer outras;
- utilizar sensores que levem as luzes a serem apagadas quando os ambientes não estiverem ocupados e se ajustem para intensidades mais baixas quando as atividades assim o permitirem;
- no próprio projeto arquitetônico, sempre que possível, buscar a utilização de iluminação natural ao invés de artificial;

- empregar os tipos de luminárias que consomem menos energia por lumens. Evitar particularmente o uso de iluminação incandescente.

**Aos alunos:**

Que tal implementar alguma dessas ações em casa ou no trabalho e avaliar os resultados?

**AQUECIMENTO E/OU RESFRIAMENTO POR REGIÃO**

Sistemas de aquecimento por área podem usar estruturas de aquecimento centralizadas para produzir uma média de aquecimento, a qual é transportada para vários usuários conectados ao longo da rede de aquecimento da região. Por exemplo: construções no centro de muitas cidades são geralmente conectadas por tubos ao longo dos quais água quente ou vapor fluem para fornecer o aquecimento do espaço ou da água.

Similarmente, o resfriamento de uma região envolve uma produção central de um resfriamento médio, o qual é transportado para os usuários por uma rede de tubulação para fornecer o resfriamento do espaço.

Comparada com a alternativa de aquecimento e resfriamento individuais, os sistemas de aquecimento e resfriamento por distrito têm melhorado a eficiência e reduzido os impactos ambientais, porque na forma centralizada, com a geração de energia em larga escala, há facilidade de implementar melhorias de eficiência, e, além disso, medidas de controle ambiental se tornam possíveis. Aquecimento por região é geralmente associado de forma vantajosa com co-geração.

**USO DE ESTRATÉGIAS PASSIVAS PARA REDUZIR O CONSUMO DE ENERGIA**

Alguns métodos passivos podem ser utilizados para reduzir o consumo de energia. Por exemplo:

- regular as temperaturas utilizadas em projetos. A temperatura especificada para o aquecimento do ar no inverno pode ser mantida no mais baixo valor confortável (próximo de 20-21°C), e para o resfriamento do ar no verão pode ser mantida próximo do mais alto nível (aproximadamente 22-24°C). Também,

a temperatura para água quente doméstica pode ser diminuída para mais ou menos 38°C;

- desligar as luzes, aparelhos domésticos e outros equipamentos durante os períodos em que não estejam sendo utilizados;
- usar relógios para controle das horas de operação. Por exemplo, o tempo do termostato leva temperaturas internas a serem religadas nas noites de inverno;
- utilizar e armazenar a luz do dia para diminuir a necessidade de luz não natural durante o período da noite;
- utilizar correntes frias externas para resfriar o calor interno, em vez de ligar o ar-condicionado. Também há a possibilidade de uso de águas geladas profundas dos rios e lagos para resfriar o espaço via um resfriamento circular (e ainda, algumas vezes, pode ser fonte de água potável);
- utilizar radiação solar para aquecer edificações através da exploração da capacidade de armazenagem da energia térmica em edificações, posicionando árvores, janelas e brises, de modo a manter as edificações frias durante o verão e quentes no inverno.

**Aos alunos:**

Cheque quais desses métodos você já utiliza no seu dia-a-dia e analise sua postura em relação ao comprometimento com a redução no consumo de energia.

**OPORTUNIDADES PARA MELHORIA EM EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS**

Cada tipo de indústria possui equipamentos, processos e características que lhe são próprios. Uma visão pormenorizada de várias estratégias para a redução no consumo de energia para cada tipo de indústria foge ao escopo deste trabalho. Há uma série de referências bibliográficas que possuem tal finalidade, sendo algumas de caráter geral e outras específicas para cada ramo de atividade (*Manuais de Conservação de Energia*, do IPT, por exemplo). Nesse texto são apresentadas apenas algumas sugestões de caráter geral sobre medidas de conservação em equipamentos ou sistemas que independem do tipo de atividade da indústria.

Deve-se frisar que as metas de conservação de energia estabelecidas por um dado grupo técnico, em uma dada planta industrial, devem ser bem ponderadas: metas por demais ambiciosas podem causar frustração e descrédito se não forem alcançadas, prejudicando a credibilidade do grupo técnico responsável; por outro lado, metas muito acanhadas podem comprometer a motivação da indústria em efetivá-las, dado o pequeno retorno esperado.

### **Geradores de Vapor**

Manipulação de combustíveis e perdas na combustão:

- para combustíveis líquidos, garantir uma boa nebulização:
  - controle da pressão de combustível;
  - controle da viscosidade (temperatura do óleo);
  - controle de depósitos indesejáveis (filtragem);
  - controle da relação ar/combustível;
- para combustíveis sólidos, evitar perdas pelas cinzas ou formação de fuligem:
  - uso da granulometria adequada;
  - velocidade de alimentação da fornalha;
  - controle do teor de umidade do combustível;
  - controle das vazões de ar primário e secundário;
- para combustíveis gasosos:
  - controle da pressão de alimentação;
  - filtragem adequada de particulados ou licores.

Tratamento da água de alimentação:

- análise periódica da qualidade da água de *make-up*;
- avaliação da adequação dos reagentes adicionados;

- eliminação de purgas desnecessárias;
- reaproveitamento sempre que possível do condensado.

Perdas pela chaminé – gases de exaustão:

- redução do excesso de ar – desde que não haja um aumento de emissões de particulados e de perdas por combustão incompleta;
- redução máxima da temperatura na chaminé, aproveitando gases quentes para pré-aquecimento de água ou de ar;
- eliminação das incrustações e fuligem excessivas das áreas de troca de calor, através de limpeza periódica.

Perdas por radiação e convecção para o ambiente:

- verificar periodicamente o estado do material isolante;
- isolar termicamente as válvulas, se possível;
- isolar termicamente o tanque de condensado;
- isolar termicamente o tanque de combustível, se este for aquecido.

### **Distribuição de Vapor**

- dimensionamento de tubulações adequado: superdimensionamento aumenta perdas por troca térmica com o meio e subdimensionamento aumenta perda de carga;
- medidas de instalação correta: inclinação da tubulação, drenagem de condensado em linhas muito longas, posição dos tubos em ramificações, etc.;
- verificação de vazamentos de vapor em flanges, uniões e válvulas;
- conservação e manutenção adequada de purgadores de vapor;
- eliminação de perdas térmicas desnecessárias em linhas desativadas;
- isolamento térmico em mau estado ou inexistente, etc.;
- evitar mudanças de regime de operação que se traduzam em perdas térmicas por inércia térmica das tubulações ou equipamentos.

### Fornos

- empregar os gases de exaustão como fonte secundária de energia. A recuperação de boa parte da energia dos gases de escape de fornos é quase sempre viável;
- empregar isolante térmico adequado;
- verificar o forno quanto a trincas e quebras de material refratário;
- manejar as portas de alimentação de forma a evitar fuga de gases do forno e perdas por radiação;
- em fornos contínuos, alimentar o produto em contracorrente aos gases pode ser muito interessante. As correias transportadoras devem retornar por dentro do forno, se possível.

### Incineradores

- usar processo contínuo em um incinerador pode viabilizar a recuperação da energia dos gases de escape – seja para preaquecer o ar do incinerador, seja para produzir vapor ou água quente.

### Condicionamento de Ar

- projeto arquitetônico favorável (clima quente ou clima frio) pode requerer cargas de resfriamento ou aquecimento muito menores;
- controle adequado da instalação, evitando sobreaquecimento ou sub-resfriamento de ambientes. Deve-se controlar não apenas a temperatura, mas também a umidade relativa do ar;
- manutenção adequada de filtros de ar e de superfícies aletadas de troca térmica.

### Ar Comprimido

- manutenção adequada: reparar vazamentos, filtros, etc.;
- usar a água quente proveniente dos resfriadores da estação de compressão;



- empregar um nível de pressão adequado e não superior ao necessário;
- lembrar que os compressores em geral consomem energia elétrica.

### **Torres de Resfriamento**

- evitar o uso de torres de resfriamento. Sempre que for possível resfriar a água por meio de um trocador de calor para recuperação de energia;
- controlar as vazões de ar e de água de forma a buscar minimizar o consumo de energia elétrica em bombas e ventiladores.

### **Secadores em Geral**

- sempre que possível empregar energia secundária, isto é, energia que seria descartada como perda;
- não secar demasiadamente o produto – que depois irá, na estocagem, reabsorver umidade.

### **Motores Elétricos de Acionamento**

- não utilizar motores superdimensionados para as máquinas acionadas. A eficiência de um motor subutilizado é bem menor do que a de catálogo;
- onde não se dispõe de um motor elétrico adequado, pode ser interessante adotar inversores e controladores de frequência, para melhor adequação entre o motor e a carga.

Alguns equipamentos acionados por motores elétricos podem trabalhar com rotações variáveis para controle de carga. Nesse caso, controladores de frequência podem ser mais interessantes do que válvulas ou outros dispositivos de controle dissipativos (*by-pass* ou recirculação).

#### **Aos alunos:**

Verifique quais equipamentos da sua empresa constam na relação apresentada anteriormente e selecione as sugestões de medidas que você pode adotar visando à melhoria da eficiência energética.

## 7.6 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ENERGIA

Quando lembramos que o Projeto para o Meio Ambiente tem sempre como maior meta fazer parte de sistemas sustentáveis, fica claro que precisamos analisar o uso de energia à luz do desenvolvimento sustentável. Por exemplo, nas atividades de seleção de energia é fundamental escolher a forma mais apropriada e menos impactante de energia. Tanto as fontes quanto os meios de transferência merecem avaliação numa escala macro. No geral, o conceito de eficiência tem que ser ampliado para incluir a matriz energética geral.

A discussão acerca dos impactos de energia transcende a simples questão de compra de um insumo ao menor custo. Variações no suprimento de energia e na eficiência de energia claramente vão impactar mais, ou menos. Portanto, assim como todos os itens importantes para a produção em uma indústria, é fundamental que a energia seja analisada quanto aos aspectos da qualidade, da confiabilidade de abastecimento e dos vários aspectos relacionados ao meio ambiente, tanto na utilização como no armazenamento, no transporte, etc.

As decisões associadas ao uso de um insumo energético têm um período de maturação, determinado pela criação da infra-estrutura de provisionamento e pela adaptação do próprio sistema de consumo. Há também um prazo de amortização e vida útil não desprezíveis. Dessa forma todos os fatores considerados pertinentes não podem ser analisados de forma estática, sendo fundamental a compreensão da evolução verificada no passado e a realização de um exercício prospectivo dentro de um cenário de, no mínimo, médio prazo.

Aliado a isso, é importante manter-se ciente da evolução do cenário energético a longo prazo e, no caso, considerar como a demanda energética vai afetar a sociedade como um todo. Isto é, recursos de energia devem ser utilizados de forma que, ao longo do tempo, permaneçam disponíveis continuamente com um custo acessível e que possam ser utilizados para todos os tipos de tarefas sem causar impactos socioambientais negativos.

### SUPRIMENTO ENERGÉTICO

Primeiramente, precisamos lembrar que nas atividades de seleção de energia dois aspectos prioritários devem ser levados em consideração:

- a seleção das fontes de energia;
- a seleção dos meios de transferência de energia.

Sempre, para ambos os itens, existe mais de uma possibilidade de escolha, e normalmente as escolhas disponíveis podem ser melhoradas (por exemplo, em alguns países é possível que os consumidores selecionem a fonte de sua eletricidade).

Para a escolha da fonte e do meio de transferência, primeiro é necessário saber qual o serviço de energia que irá ser necessário. Esta escolha deve permitir que o tipo de serviço requerido possa de fato ser implementado sem interferir em outros aspectos do Projeto para o Meio Ambiente.

Tecnicamente, deve ser considerado que alguns energéticos são mais bem-adaptados para determinados fins. Fornos e secadores para tratamento especial, por exemplo, devem utilizar, necessariamente, combustíveis líquidos ou gasosos (isentos de contaminantes como enxofre e alcatrão), ou ainda eletricidade. Já os geradores de vapor, por sua vez, dada a natureza do processo de conversão de energia e sua localização nas indústrias, podem empregar combustíveis como biomassa, carvão e óleos pesados.

Dentro de um programa de gestão do uso de energia é preciso que exista a clareza de que alguns energéticos são armazenáveis e, portanto, podem ser tratados, do ponto de vista da formação e do gerenciamento dos estoques, como outros itens da produção. Outros energéticos, como eletricidade, gás natural, vapor e combustíveis, que são provenientes de recuperação, não são armazenáveis. O que é importante notar é que o consumo desses energéticos tem muitas vezes que ser quase totalmente adaptado à dinâmica da oferta.

Outro fator importante é que alguns energéticos são algumas vezes proibidos em determinados usos, como é o caso do óleo diesel e do GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), em certos usos térmicos industriais, por causa dos impactos gerados e subsídios governamentais. Em adição, existem regulamentações específicas ao consumo de eletricidade e derivados de petróleo que precisam ser conhecidas por todos aqueles que participam dos trabalhos de gestão do uso de energia.

Além disso, a seleção da fonte de energia e dos meios de transferência está também vinculada com a tecnologia de conversão de energia disponível. Algumas das seleções de energia envolvem também substituição de energia ou combustíveis, como, por exemplo, o uso preferencial de aquecedores a gás natural em lugar do uso da eletricidade. É também fundamental que sejam conhecidas as especificações dos combustíveis quanto à sua composição elementar e propriedades, como poder calorífico, viscosidade, ponto de fulgor, etc.

Estes dados são essenciais no acompanhamento do consumo da indústria e das medidas de controle de emissões, às quais a empresa pode estar sujeita. Enfim, somente com todos estes dados podemos chegar a utilizar a fonte mais adequada, levando em conta as necessidades do sistema produtivo e os possíveis impactos gerados.

Dentro desse contexto de requisitos para os processos industriais a idéia básica é simplesmente escolher fontes e meios de transferência que sejam econômicos, seguros, transportáveis e, cada vez mais, de tipos “renováveis”. Nesse sentido, as fontes de energia são usualmente categorizadas em dois grupos:

- as que são geralmente reconhecidas por serem finitas e não renováveis, e, portanto, não sustentáveis ao longo do tempo (por exemplo: combustíveis fósseis, como carvão, óleo, gás natural, além de turfa e urânio);
- as que são geralmente reconhecidas como renováveis e sustentáveis por tempos bem mais longos (por exemplo: solar, eólica, gravitacional).

Resíduos conversíveis para formas de energia utilizáveis, como o uso da energia proveniente da incineração de resíduos e combustíveis de biomassa, são também muitas vezes vistos como fontes de energia sustentáveis.

Então, dentre os esforços para prevenção da poluição e minimização dos impactos ambientais na escolha de energia, deve-se geralmente seguir os seguintes passos:

- usar fontes renováveis de energia em lugar das não renováveis. A maior barreira para o uso de energia renovável se deve ao fato de que o seu custo é frequentemente maior do que o de fontes não renováveis, por causa das propensões do mercado de externalizar custos de combustíveis fósseis,

etc. Apesar disso, em algumas aplicações bastante específicas, como, por exemplo, uso de energia solar fotovoltaica para produzir energia em localidades remotas ou distantes, podem ter um custo menor do que a opção de instalar e manter cabos de transmissão elétrica ao longo de grandes distâncias, ou mesmo o uso de geradores a diesel com o transporte regular do combustível;

- usar fontes de energia que causem um impacto ambiental relativamente baixo. O uso de todos os combustíveis fósseis leva à emissão de gases de combustão, mesmo sendo os poluentes problemáticos geralmente menores para combustíveis que têm maior relação atômica de hidrogênio carbono. Seguindo essa linha de raciocínio, temos que o gás natural é mais benigno do que o óleo, o qual, por sua vez, é mais benigno do que o carvão.

Não há emissões durante as operações normais de uma usina nuclear, exceto o consumo de combustível, que deixa radioatividade por muitos anos. Até a energia hidroelétrica proveniente das quedas-d'água (fonte indireta da energia solar) também gera impactos negativos, quando da construção da barragem, alterando todo ciclo natural existente no local.

As fontes de energia renováveis são geralmente derivadas da energia do Sol, ou de fontes derivadas do Sol (ventos, ondas, correnteza). O uso de energia renovável é relativamente benigno, embora sejam necessários recursos para construir as tecnologias de conversão de energia, além de uma grande extensão de área (por exemplo, para coletores solares e geradores eólicos):

- integrar energeticamente sua produção, evitando desperdícios que poderiam ser aproveitados, como o esfriamento de correntes com água de refrigeração ao invés de transferir este calor para correntes que precisam de aquecimento;
- usar fontes de energia e meios de transferência que podem ser utilizados com maior ecoeficiência com boas tecnologias de conversão de energia (sistemas de co-geração, caldeiras com baixas emissões de  $\text{NO}_x$ ).

**LIMITAÇÕES PRÁTICAS NA EFICIÊNCIA DE ENERGIA**

Devido às considerações de ordem prática, a meta, quando se seleciona as fontes de energia e a utilização dos processos, não é apenas encontrar a eficiência máxima, mas também encontrar o ponto ótimo de equilíbrio entre eficiência energética e outros fatores, como:

- economia;
- sustentabilidade;
- impactos ambientais;
- segurança;
- aceitabilidade social e política.

Ao levar em consideração todos esses fatores, inevitavelmente ocorrem algumas limitações de ordem prática quanto ao uso eficiente de energia.

Para que o incremento na eficiência de energia leve ao desenvolvimento sustentável, ponto ótimo no meio de todos esses fatores, deve-se deslocar na direção de melhor utilização de eficiência de energia (ao mesmo tempo em que se reconhece e se leva em consideração as limitações teóricas no incremento da eficiência de energia). Esse ponto ótimo é dependente de muitos fatores, que são controlados pela sociedade e, portanto, podem ser alterados. Governos podem, por exemplo:

- oferecer incentivos financeiros que retribuam com tecnologias de alta eficiência que sejam economicamente atrativos;
- aplicar taxas e regulamentações de modo a não incentivar o uso de tecnologia de baixa eficiência.

**LIMITAÇÕES TEÓRICAS NA EFICIÊNCIA DE ENERGIA**

Para avaliar o potencial de incremento na eficiência de energia como medida para promover o desenvolvimento sustentável, os limites impostos pela existência de uma eficiência de energia teórica máxima devem ser claramente entendidos. A falta de transparência neste tópico, no passado, geralmente levava à falta de entendimento. Parte da razão desse problema é que a análise de energia convencional geralmente não

mede eficiência como uma medida do quão próximo a *performance* de um processo está do ideal, ou do máximo possível.

As conseqüências dessa falta de entendimento podem ser significantes:

- no passado, grandes esforços e recursos foram direcionados, por intermédio de pesquisas e outras medidas, para a melhoria de eficiência de energia, até mesmo em processos e aparelhos já razoavelmente eficientes, ainda que o potencial de melhoramento na eficiência de energia fosse relativamente pequeno (mesmo atrelado a um limite máximo);
- processos intensivos de energia, em outras situações, não foram objetivados com o intuito de melhoramento da eficiência. Isto em parte porque as medidas de eficiência de energia eram feitas com métodos que permitiam enganos, apesar da grande diferença entre eficiências máximas e reais. Por serem grandes as diferenças, da mesma forma o potencial de melhoramento é também grande.

As dificuldades inerentes às análises de energia são em parte atribuídas ao fato de que:

- considera-se apenas quantidades;
- ignora-se a qualidade da energia e o fato de que a qualidade de energia é continuamente degradada durante o processo real.

A análise de exergia, um conceito relativamente novo, será discutida em seguida. O método representa a proposta de uma técnica que resolve, se não todos, a maioria dos problemas associados à análise de energia.

## 7.7 O FUTURO: ANÁLISE DE EXERGIA

Existem muitas definições para Exergia, dentre elas citamos:

*Exergia é a parte da energia que pode ser completamente convertida em qualquer outra forma de energia.*

A análise de **energia** é baseada na primeira lei da termodinâmica, uma lei que trata da conservação de energia. A análise de **exergia** é baseada na segunda lei da termodinâmica e tem algumas vantagens sobre a análise de energia. Elas não são concorrentes e sim complementares.

A energia não pode ser criada nem destruída, apenas é transformada, e sempre se conserva. A cada transformação haverá sempre uma parte perdida. Rant, o mesmo que sugeriu a palavra Exergia, também propôs a palavra Anergia para denominar a parte da energia que não pode ser aproveitada, isto é:

$$\text{Energia} = \text{Exergia} + \text{Anergia}$$

Portanto, energia é a soma de tudo aquilo que pode ser aproveitado (exergia) com a parte que não se utiliza (anergia).

Podemos dizer também que exergia é a parte nobre da energia. Em outras palavras, é a parcela que pode ser convertida em calor e/ou trabalho. Porém, apesar desse conhecimento, podemos ainda observar do ponto de vista microcósmico, e notaremos que existem subparcelas dentro desse fluxo exergético.

Para calcular a exergia é necessário que se defina qual é o estado de referência, para que se possa ter base sobre quais são os valores adotados.

Segundo Szargut (1988) e Kotas (1985), a exergia pode ser dividida em quatro partes: cinética, potencial, termomecânica e química.

As ineficiências de um processo são mais bem verificadas numa análise de exergia do que numa análise de energia. Nela, os tipos, as causas e a localização das perdas são identificados e quantificados.



Muitos engenheiros e cientistas sugerem que a termodinâmica de um processo é mais bem avaliada executando-se uma análise exergética adicional à análise de energia, ou mesmo substituindo-a, porque a análise de exergia dá a impressão de permitir a identificação de mais oportunidades de melhoria e ser mais útil no esforço para melhoria da eficiência do que a análise de energia (Moran, 1989; Szargut et al., 1988; Kotas, 1995).

A exergia, também chamada de disponibilidade ou energia disponível, pode ser ainda definida como a quantidade máxima de trabalho que pode ser produzido por um fluxo ou sistema, quando ele entra em equilíbrio com um ambiente de referência e pode ser considerado como uma medida da utilidade ou qualidade da energia.

A exergia é consumida durante o processo real e conservada durante o processo ideal. O consumo de exergia durante um processo é proporcional à entropia criada pela irreversibilidade associada ao processo.

Existem outras metodologias de análise baseadas na segunda lei da termodinâmica e, portanto, são geralmente referidas como análise da segunda lei, incluindo análise de perda de trabalho, análise de entropia e análise “pinch”. Numerosas investigações e aplicações de análise de exergia vêm sendo relatadas nos últimos anos.

Um exemplo deste tipo é a análise de diferentes tipos de aquecimento, como chuveiros elétricos. A eficiência energética de aquecimento (chuveiro elétrico) pode ser estimada em 99%. A implicação clara é que a máxima eficiência de energia possível para resistência elétrica é 100% e que esse valor corresponde ao sistema mais eficiente possível.

Esse entendimento é incorreto, pois as análises de energia ignoram o fato de que neste processo uma entrada de energia de alta qualidade (eletricidade) é usada para produzir um produto de relativamente baixa qualidade (água quente). A análise de exergia reconhece essa diferença na qualidade de energia e indica eficiência baseada na exergia, do aquecimento, como sendo em torno de 5%.

Claramente, a análise de energia pode levar a um engano de otimização na análise do desempenho e não identifica as limitações práticas e teóricas no melhoramento da eficiência. A análise da exergia não tem essas deficiências e, portanto, clara e diretamente, identifica todas as limitações no melhoramento da eficiência com relação a um verdadeiro ideal termodinâmico.

**FECHAMENTO**

Certamente, o desenvolvimento sustentável requer que os recursos de energia sejam utilizados eficientemente. A sociedade pode maximizar os benefícios derivados dos recursos de energia diretamente com a utilização eficiente da energia, enquanto minimiza os impactos negativos associados a seu uso.

Sempre procuramos maximizar eficiências energéticas para reduzir os seguintes fatores:

- os impactos ambientais associados;
- requerimento de recursos (energia, material, etc.) para criar e manter sistemas para extrair energia.

Idealmente, uma sociedade que procura o desenvolvimento sustentável utilizará apenas recursos de energia que não causem nenhum impacto ambiental. Como condição, pode-se ater, ou estar próximo de se ater, ao uso dos recursos energéticos das seguintes formas:

- emitir pouco ou nenhum resíduo para o ambiente;
- causar apenas emissões de resíduos que tenham um mínimo ou nenhum impacto negativo no ambiente.

Esta última condição é usualmente encontrada quando emissões são relativamente inertes e não reagem no ambiente, ou quando a emissão de resíduos está dentro, ou perto, do equilíbrio com o ambiente, isto é, ao "material" do ambiente em todos os aspectos, como temperatura, pressão, composição química, etc.

Na realidade, entretanto, todos os recursos de energia utilizados levam, em algum grau, a um impacto ambiental, e existe uma relação direta entre eficiência de energia e impacto ambiental, de forma que se otimizarmos sua eficiência, certo nível fixo de serviços de energia pode ser cumprido, satisfeito, com menos recursos de energia, e, na maioria dos casos, ocorrerá redução dos níveis de emissão de resíduos provenientes dos recursos de energia.

Dessa forma, podemos entender que as imposições do desenvolvimento sustentável para as emissões e seus impactos negativos ao meio ambiente podem ser, em parte, sanadas pela eficiência no uso de energia.

