

# Uso racional: a fonte energética oculta

*LUIZ AUGUSTO HORTA NOGUEIRA*

Agradecido pelo leite benfazejo que lhe fez crescer vigoroso, ainda menino Zeus presenteou a cabra Almatéia com a cornucópia, fonte da abundância infinita. Sem contar com essa dádiva, a sociedade moderna precisa considerar a questão energética não apenas como uma permanente e vã busca de recursos para atender a uma demanda insaciável, mas desde uma perspectiva integrada de fontes e usos, reduzir os desperdícios e valorizar a eficiência.

## **Introdução: a cadeia das fontes aos usos**

**U**M DOS MARCOS da vertiginosa evolução tecnológica da sociedade moderna é o notável incremento na demanda de energia, em todas as suas formas, determinando uma crescente complexidade dos sistemas energéticos, entendidos como a cadeia de processos de conversão e armazenamento que conecta os recursos naturais aos usuários finais de energia. Enquanto nas sociedades primitivas a fonte exógena básica de energia, não-muscular, era essencialmente a lenha, obtida na proximidade do local de uso, complementada eventualmente pelo vento ou pela força de uma queda d'água, atualmente é quase impossível para um usuário de energia conhecer com clareza de onde veio e por quais processos passou a eletricidade que utiliza em sua residência ou o combustível que abastece seu carro, vetores energéticos produzidos em fontes múltiplas e que circulam por sistemas de transporte interconectados, antes de serem convertidos finalmente em calor útil, trabalho e iluminação, para mencionar alguns usos mais significativos da energia.

Com efeito, a partir dos estoques e fluxos disponíveis na natureza, a energia percorre caminhos complexos, sofrendo sucessivas transformações e processos de armazenamento, antes de se constituir em um efetivo fator de bem-estar e desenvolvimento econômico. Como consequência dessa crescente complexidade, incrementaram-se as perdas energéticas, inevitáveis efeitos termodinâmicos dos processos de conversão e acumulação energética, fazendo que cada vez mais uma parcela proporcionalmente menor da energia obtida da natureza cumpra seu papel junto aos usuários.

## **Por uma taxonomia das perdas energéticas**

Como postulado pela Primeira Lei da Termodinâmica, energia não se destrói, e poderia parecer ocioso preocupar-se com as perdas energéticas, definidas como a diferença entre a energia consumida por um equipamento, como eletricidade ou óleo diesel, e o efeito energético resultante, por exemplo, o efeito

luminoso ou a movimentação de um veículo. Entretanto, embora energia efetivamente sempre se conserve, em todos os processos energéticos reais ocorre inevitavelmente 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. Com efeito, o calor que os condensadores das termelétricas e as torres de resfriamento dos sistemas de ar condicionado rejeitam para o ambiente é praticamente isento de qualidade, avaliada em termos de produção de energias mais nobres que o calor. Nesse sentido, a geração de entropia e sua medida de engenharia corrente, os balanços de exergia, propostos ainda em 1956 por Rant, são os verdadeiros indicadores da eficiência dos sistemas energéticos e da intensidade de suas perdas.

Classificar as perdas de energia pode ser interessante para discriminar os meios para promover sua redução. Um primeiro critério seria separar as perdas reversíveis, que decorrem das transformações calor-trabalho e vice-versa, das perdas 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% (Bejan, 1995). Em outras palavras, os motores de combustão não são tão perdulários energéticos como poderiam parecer, pois apenas uma parte de suas perdas é irreversível ou irrecuperável.

Por sua vez, nos motores elétricos, que convertem eletricidade em potência de eixo sem as limitações das máquinas térmicas, todas as perdas energéticas observadas são efetivamente perdas irreversíveis e, nesse caso, dão o mote para duas relevantes categorias de perdas energéticas, não-excludentes e que eventualmente devem ser toleradas: as perdas técnicas e as perdas econômicas.

As perdas técnicas ou tecnológicas existem como decorrência das características dos materiais utilizados (por exemplo, as resistividades dos condutores), imposições de escala e inércias térmicas, sendo, portanto, inevitáveis, dentro de limites. Por seu turno, e de modo similar, as perdas de cunho econômico são aceitáveis na medida em que sua redução implicaria custos muito elevados, condicionando as dimensões, as taxas de trocas energéticas e a duração dos processos reais. Dessa forma, afastando-se das concepções energeticamente ideais, sujeitas apenas às perdas reversíveis, os sistemas energéticos reais apresentam perdas irreversíveis toleráveis, por imposições de ordem técnica e econômica e que devem ser mantidas em níveis mínimos.

Posto que as perdas são intrínsecas aos sistemas energéticos, interessa classificar as causas das ineficiências, que se associam essencialmente a três grupos de causas:

- projeto deficiente: em razão da concepção errônea do ponto de vista do desenho, dos materiais, do processo de fabricação, os equipamentos e/ou os sistemas levam a desperdícios de energia, por exemplo, por utilizar lâmpadas ineficientes ou efetuar sua disposição incorreta ante os princípios da utilização racional de energia;
- operação ineficiente: mesmo quando os sistemas energéticos são bem concebidos, podem ser operados de forma irresponsável, por exemplo, mantendo uma sala sem atividades com lâmpadas eficientes desnecessariamente acesas;
- manutenção inadequada: uma parte das perdas e dos desperdícios de energia poderia ser minimizada mediante procedimentos adequados de manutenção corretiva e preventiva, que inclui a correta regulagem e controle dos sistemas, para que mantenham, na extensão possível do desempenho das condições originais.

As medidas para incremento do desempenho devem levar em conta os diferentes níveis de intervenção, particularmente aqueles associados às causas mencionadas aqui e na extensão possível, articular ações que combinem e potencializem os resultados na direção da eficiência energética. Por exemplo, a difusão de equipamentos mais eficientes não exclui recomendar sua utilização da forma mais eficiente, ou seja, reduzir sua utilização de forma indevida. A adoção de uma lâmpada fluorescente compacta substituindo uma lâmpada incandescente, mantida acesa em um local onde se dispõe de suficiente iluminação natural, evidentemente não significa uma economia de energia. Sob tais conceitos, é possível classificar os mecanismos de fomento à eficiência energética em dois grandes perfis:

1. Mecanismos de base tecnológica: implicam implementar novos processos e utilizar novos equipamentos que permitam reduzir as perdas de energia;
2. Mecanismos de base comportamental: fundamentam-se em mudanças de hábitos e padrões de utilização, reduzindo o consumo energético sem alterar o parque de equipamentos conversores de energia.

Essa classificação é importante sobretudo na medida em que as mudanças de processo ou de equipamentos requerem investimentos bem mais significativos do que as mudanças de hábitos e padrões de utilização. Além disso, de um modo geral, pode-se esperar um potencial razoável de economia de energia associado apenas às alterações de comportamento dos consumidores, particularmente junto ao setor residencial, mas de maneira relevante também para os demais setores, situando-se tipicamente entre 15% e 30% de redução de consumo somente por alterações de hábitos de impacto energético, como frequência de uso de ferros elétricos de passar e máquinas de lavar, ajuste de termostatos em geladeiras e aparelhos de ar condicionado, atenção ao uso desnecessário de iluminação elétrica etc. (Procel, 2006a). É importante notar que todas as medidas para reduzir as

perdas de energia não afetam os benefícios decorrentes do uso energético, já que a energia para uso final é mantida. Usar bem energia não é sovinice, mas antes de tudo aumentar sua racionalidade e produtividade, criando “usinas elétricas virtuais”, competitivas economicamente e absolutamente não-poluidoras.

Um pouco mais complexo e crescente objeto de estudos têm-se as perdas energéticas resultantes de uma visão abrangente dos sistemas energéticos, no tempo e no espaço, tema das denominadas “Análises de ciclo de vida”. Extrapolando as fronteiras dos equipamentos energéticos e considerando todos os insumos e efeitos energéticos ao longo de sua fabricação, operação e disposição final, torna-se possível estender os conceitos de perdas e determinar de um modo quase completo o desempenho energético de um sistema. Por exemplo, uma lâmpada eficiente pode consumir muita energia em seu processo de fabricação e descarte ao final de sua vida útil, eventualmente neutralizando os benefícios energéticos decorrentes de sua operação. Não obstante a inegável importância dessa abordagem, é imprescindível ainda reforçar a base de informações sobre custos energéticos nessa acepção antes de efetivar sua maior utilização como ferramenta de política energética.

### **A evolução do marco institucional**

A consciência de que a gestão da demanda e a promoção do uso racional podem ser consideradas um recurso energético tem justificado medidas governamentais em diversos países, especialmente os mais desenvolvidos, onde durante as últimas décadas se tem atuado de forma sistemática e intensa para melhorar a eficiência energética. Nesses contextos, além das vantagens econômicas associadas ao aumento da produtividade energética, têm sido motivadores os benefícios ambientais decorrentes do menor consumo energético, em termos locais ou globais. São referências importantes da ação governamental entidades como o Office of Energy Efficiency (OEE) canadense, a Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie da França (Ademe) e o Energy Saving Trust (EST) do Reino Unido, de longa e expressiva folha de serviços prestada às suas sociedades. Os programas desenvolvidos valorizam as atividades de *marketing*, visando aumentar a conscientização das pessoas com relação às vantagens do uso eficiente da energia, e o estabelecimento de normas e a concessão de incentivos financeiros para produtos, equipamentos e serviços que possibilitem melhorias na eficiência energética, cobrindo praticamente todos os setores de consumo.

No Brasil, desde os choques do petróleo nos anos 1970, o Estado tem promovido, sobretudo nos momentos de crise, ações e programas visando reduzir as perdas energéticas. Criado em 1981 pelo governo federal, o Programa “Conserve” constituiu-se no primeiro esforço de peso para promover a eficiência energética na indústria, especialmente considerando os derivados de petróleo e estimulando a substituição de energéticos importados. Surge nessa época a prática de realizar diagnósticos energéticos em estabelecimentos industriais e comerciais para identificar o potencial de redução das perdas de energia em cada caso.

Em 1984 começaram as ações do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), voltado para a avaliação do desempenho de equipamentos energéticos e informação aos consumidores, com uma ampla cobertura de tipos de equipamentos e modelos etiquetados que inclui eletrodomésticos, motores elétricos, fogões e aquecedores de água a gás e coletores solares. Tal processo de avaliação da conformidade impõe estabelecer procedimentos normalizados de ensaio, implantar laboratórios de medição de desempenho e se desenvolve em estreita articulação e cooperação com os fabricantes e fornecedores.

Posteriormente, superada a crise do petróleo, agrava-se a conjuntura do setor elétrico, levando à criação, em 1985, do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), sob a coordenação da Eletrobrás. Esse programa é constituído por diversos subprogramas, com ações nas áreas industrial, de saneamento, educação, edificações, prédios públicos, gestão energética municipal, informações, desenvolvimento tecnológico e difusão, com um rico histórico de experiências e efetivos resultados (Procel, 2006b). Especial destaque é conferido ao Selo e ao Prêmio Procel que, em conjunto com as atividades de etiquetagem e *marketing*, são responsáveis por quase 70% dos resultados obtidos. De modo complementar e sob o acompanhamento da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), desde 1999 o Programa de Eficiência Energética (PEE) tem orientado a aplicação de 0,5% do faturamento das concessionárias de energia elétrica em eficiência energética, contando com recursos expressivos.

Com o reconhecimento de potenciais análogos de economia de energia no setor de combustíveis, em 1991 foi lançado o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural (Conpet), gerido pela Petrobras, no qual se destacam ações na área de transporte de carga, passageiros e combustíveis, bem como ações educacionais, de *marketing* e etiquetagem, com o Selo e o Prêmio Conpet.

Esses programas vêm acumulando um bom acervo de resultados, embora ainda não tenham contado com a visibilidade adequada e o nível de importância devido, além de carecer de uma maior coordenação entre si. Ainda em âmbito federal, um marco importante para a eficiência energética no Brasil foi a Lei n.10.295, sancionada em outubro de 2001, dispondo sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Essa lei prevê o estabelecimento de “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país”, responsabilidade do Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), constituído pelo Executivo nos termos do Decreto 4.059, também de 2001. Essa legislação foi discutida longamente e representa um amadurecimento institucional na promoção da eficiência energética no Brasil, a ser preservado e valorizado. Utilizando seus instrumentos, foram estabelecidos níveis mínimos de desempenho para motores elétricos trifásicos de indução, lâmpadas fluorescentes compactas, e se encontram em processo adiantado de regula-

mentação os refrigeradores, condicionadores de ar, fogões e aquecedores a gás. É interessante observar que essa lei permite definir níveis mínimos de desempenho, em caráter compulsório, portanto de modo diferenciado da etiquetagem classificatória de eficiência do PBE, que se realiza essencialmente de modo voluntário.

### **Perspectivas da eficiência energética: alguns exemplos**

Para exemplificar as possibilidades de reduzir os níveis de desperdício de energia, a seguir se comentam as potencialidades de alguns equipamentos e uso finais representativos do quadro energético brasileiro, com casos em que se encaminharam soluções e outros em que ainda se aguardam medidas para reduzir as perdas. Assim, serão brevemente comentados os equipamentos de refrigeração doméstica, os chuveiros elétricos, os veículos leves e a cogeração. Esses casos não esgotam a diversidade de equipamentos e setores de consumo; contudo, é possível afirmar que em todos os demais se observam perspectivas similares, em que se conjugam desenvolvimentos tecnológicos e a introdução de hábitos mais responsáveis no uso da energia.

#### *Refrigeração doméstica*

Os equipamentos para refrigeração de alimentos e bebidas estão entre os maiores consumidores de energia no setor residencial no Brasil, representando 28% do consumo setorial, com sua eficiência afetando de forma importante o consumo de energia elétrica. Reconhecendo esse quadro, desde 1995 se promove o Selo Procel, qualificando os melhores produtos e orientando os consumidores ao adquirir refrigeradores e *freezers*. Como resultado desse Programa, é notável a evolução da eficiência, exemplificada por uma redução de 20% no consumo de energia, que passou de 400 para 320 kWh/ano entre 1995 a 2005, no caso dos refrigeradores de uma porta (Procel, 2006c). As principais medidas adotadas foram o aperfeiçoamento dos compressores, o aumento da espessura do isolamento térmico, as melhorias na vedação e no sistema de controle.

Visando avaliar os efeitos energéticos do emprego do Selo Procel em tais eletrodomésticos, foram estimados os consumos energéticos ao longo da vida útil desses equipamentos com e sem o Selo, determinando-se as economias de energia efetivamente alcançadas em razão da parcial adoção dos equipamentos com Selo pelo mercado e a economia potencial total, correspondente à plena adoção dos equipamentos com Selo. Nesse estudo foram considerados o efeito da idade do equipamento e o da temperatura externa sobre seu desempenho, fatores que interferem de forma significativa no consumo energético, impondo desagregar os equipamentos por categorias, estimar os parques existentes nos diversos anos e trabalhar de forma regionalizada para se avaliar de modo consistente a economia de energia. Os resultados preliminares desse estudo, em fase de conclusão pelo Procel, estão indicados na Figura 1, considerando todos os refrigeradores e *freezers* existentes no Brasil. A linha vermelha superior indica qual seria o consumo se os equipamentos apresentassem a eficiência média sem Selo; a linha verde indica o consumo estimado com o atual nível de adoção do Selo

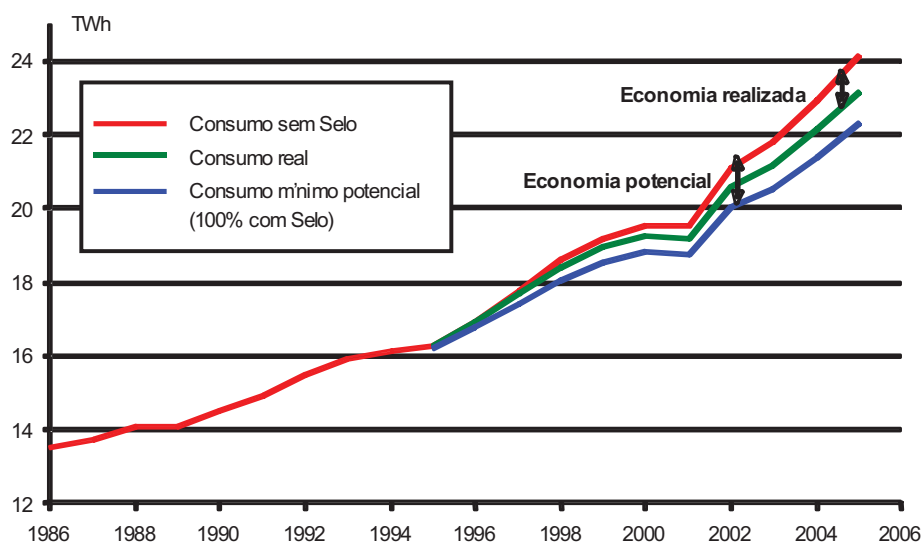


Figura 1 – Consumo de energia elétrica em refrigeradores e *freezers* no Brasil e efeito do Selo Procel (valores preliminares, Procel, 2006c).

(cerca de 50% das geladeiras e *freezers*); e a linha azul, o consumo que resultaria da plena adoção (100%) pelo mercado dos equipamentos com Selo.

Segundo a avaliação efetuada, em 2004 as geladeiras e os congeladores existentes no Brasil consumiram 22.136 GWh, significando uma economia de 3,5% (806 GWh) ante o consumo que seria observado caso o Selo Procel não fosse adotado em seus níveis atuais, estimado em 22.942 GWh. O potencial total de economia, correspondente à plena adoção do Selo, é estimado em 6,9% (1.580 GWh). Considerando o impacto sobre as necessidades de potência, em 2005 o Selo Procel contribuiu para uma redução na demanda de ponta de cerca de 150 MW, apenas no âmbito de refrigeradores e *freezers*, equivalentes a uma potência maior que a capacidade instalada na Usina Hidrelétrica de Funil, em Itatiaia, RJ.

#### *Aquecimento de água residencial*

O chuveiro elétrico, responsável por quase 26% da energia elétrica consumida nas residências brasileiras, é uma patente dos anos 1950, quando se iniciavam a expansão da eletrificação no Brasil e o incremento da urbanização, difundindo-se especialmente nas regiões Sul e Sudeste e permitindo que o saudável hábito indígena do banho diário se consolidasse entre nós. Apesar desses méritos, o chuveiro elétrico apresenta sérias desvantagens, podendo-se afirmar que se trata na verdade de um paradigma da ineficiência e da ausência de racionalidade no uso de energia.

Em primeiro lugar, o chuveiro elétrico é um aquecedor de passagem, isto é, aquece a água no momento de uso, e para tanto requer uma potência elevada, sobretudo quando a vazão e a diferença de temperatura desejadas são grandes. Assim, os chuveiros não representam apenas os maiores consumidores de energia

nas residências (em kWh), mas também são eles que definem a potência requerida nos domicílios (em kW), com impacto direto nas condições de suprimento pelas concessionárias, mesmo porque os banhos em geral acontecem no período de maior carga. Quando se comparam os efeitos econômicos, tal concentração de potência fica ainda mais grave: uma ducha elétrica pequena consome cerca de 4 kW, custa menos de 20 reais, mas exige uma potência elétrica cujo custo de implantação (geração, transmissão, distribuição, cerca de 2.500 dólares por kW instalado e um fator de coincidência de 50%) onera a sociedade em pelo menos 10.000 reais. É basicamente por isso que o chuveiro elétrico quase não existe em outros países, onde tipicamente se empregam combustíveis para aquecer água, e quando se usa aquecimento elétrico empregam-se aquecedores de acumulação, com potência bastante limitada.

O segundo grande defeito dos chuveiros é sua baixíssima eficiência na conversão energética. A energia elétrica é uma forma nobre de energia e, ao ser convertida em calor de baixa temperatura, gera uma grande perda irreversível, que pode ser avaliada pela significativa geração de entropia que promove. Um chuveiro elétrico típico usa menos de 5% da disponibilidade energética que consome, o resto desperdiça. Enquanto se usa eletricidade produzida em centrais hidrelétricas esse problema é apenas grave, mas, quando se propõe aumentar a participação da geração termelétrica, temos um enorme contra-senso: queimar um combustível para obter calor, para produzir eletricidade, para novamente obter calor significa multiplicar por três o desperdício de energia.

Naturalmente que o grande número de chuveiros elétricos hoje existentes continuará a operar por um bom tempo, mas, a despeito de qualquer crise energética, é fundamental procurar a paulatina introdução de tecnologias mais sensatas. O aquecimento de água diretamente de fontes térmicas é indiscutivelmente superior. Do mesmo modo, deve ser promovido o uso das bombas de calor, ainda pouco difundidas no Brasil, que permitem reduzir em muito as perdas comparativamente aos chuveiros. Com uma bomba de calor, uma quantidade de energia elétrica promove um efeito térmico seis a oito vezes maior que o conseguido no chuveiro elétrico. Por isso, são de lamentar as recentes e irresponsáveis medidas governamentais que reduziram os tributos federais sobre os chuveiros elétricos, na contramão da racionalidade energética, desestimulando a adoção de coletores solares e o uso de combustíveis como o GLP e o gás natural.

#### *Automóveis (veículos automotores leves)*

Compreensível pelas dimensões continentais de seu território, a principal utilização de combustíveis no Brasil está associada à movimentação de bens e pessoas, respondendo em 2005 por 34% do consumo de energia no país, excluindo-se a energia elétrica (MME, 2006a). No âmbito dos combustíveis comercializados, mais da metade é consumida em motores de combustão, em sua maioria acionando veículos rodoviários. De fato, o setor rodoviário significa 92% do consumo total de combustíveis no setor de transporte, pelas reconhecidas li-



mitações da malha ferroviária e da infra-estrutura para outros modais. Do ponto de vista da diversidade de combustíveis utilizados, o mercado brasileiro de combustíveis automotivos é um dos mais dinâmicos do mundo, observando-se ao longo das últimas décadas a introdução dos biocombustíveis de forma relevante e a rápida adoção do gás natural veicular.

Em que pese a grande importância da demanda associada ao transporte de carga em caminhões e ônibus, os consumidores de veículos leves, cerca de vinte milhões de automóveis e camionetes, têm reduzido acesso aos dados sobre eficiência de seus veículos, diferentemente do que ocorre com os veículos comerciais, onde esses dados são relevantes e bem conhecidos, até por influir bastante na formação dos custos operacionais. Grande parte da imprensa especializada parece ignorar o desempenho energético, valorizando apenas os aspectos estéticos, de conforto e potência.

Com a evolução do mercado automobilístico, as potências dos veículos têm se elevado de forma importante, eventualmente acima das necessidades e com pouca atenção ao consumo específico, indicando um claro espaço de aperfeiçoamento. Como consequência da maior importância atribuída em muitos países ao uso racional de energia, é notável a melhoria dos indicadores de desempenho energético, mesmo quando os carros modernos incorporam itens que implicam maior consumo de energia, como sistemas de ar condicionado e direção hidráulica. A plena difusão de índices de eficiência energética e o estabelecimento de metas de desempenho em veículos têm levado a resultados significativos em diversos países, com benefícios não apenas em economia de energia e redução da poluição atmosférica, mas também de geração de renda e ampliação das oportunidades de trabalho (Bezdek & Wendling, 2005).

Como um indicador do potencial aparente de economia de energia em automóveis brasileiros, a Figura 2 mostra como os consumos específicos médios nos automóveis brasileiros a gasolina e a álcool cresceram respectivamente 13% e 35% durante os últimos vinte anos (Branco et al., 2004). As colunas em linha vermelha nesse gráfico referem-se ao consumo energético equivalente em gasolina pura, sem etanol. Com o surgimento dos motores *flexible fuel*, observa-se ainda mais claramente a necessidade de promover a eficiência veicular, na medida em que esses motores poderiam ser os mais eficientes quando usando gasolina e são os menos eficientes quando usando álcool (IMT, 2004).

Esse quadro tende a modificar-se no sentido desejável no Brasil. Resultado de uma oportuna concertação envolvendo entidades governamentais e a indústria automobilística, por intermédio da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), em um esforço liderado pelo Conpet e pelo Inmetro no âmbito do Comitê Gestor de Índices de Eficiência Energética do MME, foi decidida a adoção de etiquetas de eficiência energética em veículos leves produzidos no Brasil. Trata-se de um avanço importantíssimo para proporcionar aos consumidores mais informações sobre o desempenho de seus

automóveis, que progressivamente poderá ser um aspecto decisivo entre suas características. Vale comentar que em muitos países a etiquetagem de eficiência energética (e, por consequência, de emissões) é uma prática normal; contudo, sua adoção impôs definir procedimentos de ensaios, formas de classificação dos veículos e dos grupos de desempenho (Conpet, 2005).

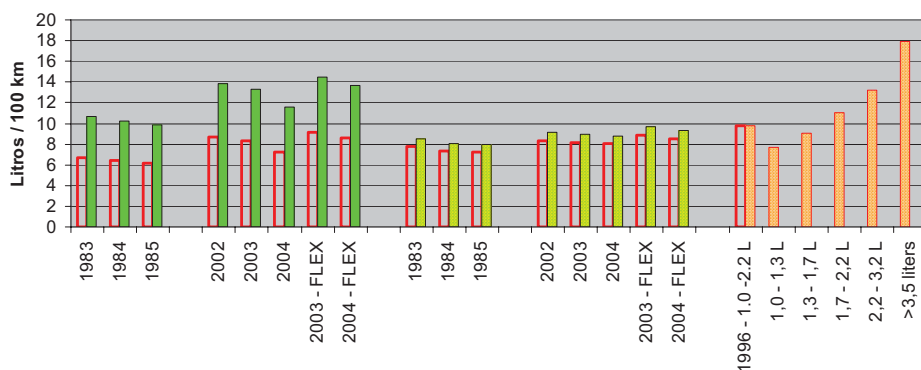


Figura 2 – Consumos médios em veículos leves no Brasil (Branco et al., 2004).

### *Cogeração*

A cogeração talvez seja um dos exemplos mais emblemáticos do potencial ignorado do uso eficiente dos recursos energéticos, despercebido pela maioria dos consumidores de combustível em aquecedores, fornos e caldeiras. De fato, ao utilizar de forma restrita e simplificada os balanços energéticos para avaliação do desempenho desses equipamentos térmicos, é usual determinar rendimentos relativamente elevados, acima de 80%, dando a impressão de que as perdas de energia, observadas majoritariamente nas chaminés, representam uma parcela pequena e praticamente inevitável associada aos processos de combustão e transferência de calor. Contudo, uma análise mais detida e empregando de forma mais correta os princípios da Termodinâmica mostra que, ao se utilizar um combustível com temperaturas de chama superiores a 1.200°C para atender a demandas térmicas tipicamente a temperaturas inferiores a 200°C, perde-se uma importante capacidade de produzir potência útil. A forma mais correta de se utilizar a energia dos combustíveis nesse caso é por meio de um ciclo térmico, com um motor ou uma turbina gerando potência e rejeitando calor no nível de temperatura desejado, com menor geração de entropia.

Como um excelente exemplo de emprego da cogeração, as usinas de açúcar e etanol queimam o bagaço de cana em caldeiras, gerando vapor de alta pressão, que se expande em turbinas até a pressão utilizada no processo industrial, gerando quantidades apreciáveis de energia elétrica. Para vapor a pressões de aproximadamente 20 bar, as usinas alcançam a auto-suficiência em eletricidade; contudo, à medida que a entalpia do vapor se eleva, reduzem-se as perdas termodinâmicas e cresce proporcionalmente a geração de excedentes de energia

elétrica. Para pressões de 60 bar e temperaturas de 450°C na saída das caldeiras, pode ser produzido um excedente de aproximadamente 60 kWh por tonelada de cana processada, praticamente sem aumentar o gasto de combustível. Diversos outros setores de consumo que conjugam cargas elétricas e térmicas (incluindo de baixas temperaturas), como as indústrias química, têxtil, de alimentos e centros comerciais, aeroportos, hotéis e hospitais, podem adotar a cogeração com bons resultados (Silva & Haddad, 2006).

Em diversos países industrializados, a tecnologia de produção combinada de energia elétrica e calor útil tem sido estimulada, visando a benefícios ambientais e econômicos, com resultados significativos em termos de redução nos custos de expansão da capacidade de geração. Em termos globais, a potência instalada em sistemas de cogeração tem se expandido a mais de 7% anuais, e apenas no caso americano, utilizando principalmente gás natural, a cogeração agregou nos últimos quinze anos cerca de 70 GW (Wade, 2006), praticamente a capacidade total atualmente instalada nas hidrelétricas brasileiras.

Estima-se que a capacidade dos sistemas de cogeração no Brasil alcance 1,4 GW (potência das usinas qualificadas pela Aneel, 2006); entretanto, há um amplo potencial por desenvolver. Estima-se que apenas nos setores sucroalcooleiro e de papel e celulose a cogeração poderia atingir respectivamente 4,0 GW e 1,7 GW, com tecnologias convencionais (Wade, 2006), ampliando a confiabilidade, postergando investimentos em geração no sistema elétrico e melhorando a eficiência energética no país. As principais barreiras a superar para expandir a cogeração no Brasil são a persistência de um marco regulatório tímido para estimular autoprodutores e estabelecer as condições adequadas para operação interligada e a transação de excedentes energéticos, bem como a reduzida malha de distribuição de gás natural.

### **Potenciais de uso racional de energia no Brasil**

Os estudos preliminares sobre o potencial resultante do incremento da eficiência energética no Brasil, efetuados no âmbito do Plano Nacional de Energia, que projeta cenários energéticos para o ano 2030, indicam valores expressivos, como mostram as figuras a seguir (MME, 2006b). Para a energia elétrica, os valores apresentados se baseiam em estimativas da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (Abesco) e Eletrobrás (Projeto Reluz) e indicam um potencial total de 29,7 TWh (terawatts-hora), cerca de 8,3% do consumo observado em 2005. Considerando um valor de R\$ 130,00 por MWh, a implementação dessas medidas de eficiência nos sistemas elétricos poderia economizar R\$ 3,86 bilhões anuais. Para setores utilizando derivados de petróleo e gás natural, o incremento da racionalidade energética alcançaria 5,5 milhões de TEP (toneladas equivalentes de petróleo), ou seja, 6,7% do consumo nacional de petróleo. Assumindo um preço médio para esses combustíveis de US\$ 65,00 o barril e uma taxa de câmbio de 2,00 reais por dólar, a eliminação desse desperdício permitiria uma economia anual de 5,2 bilhões de reais.

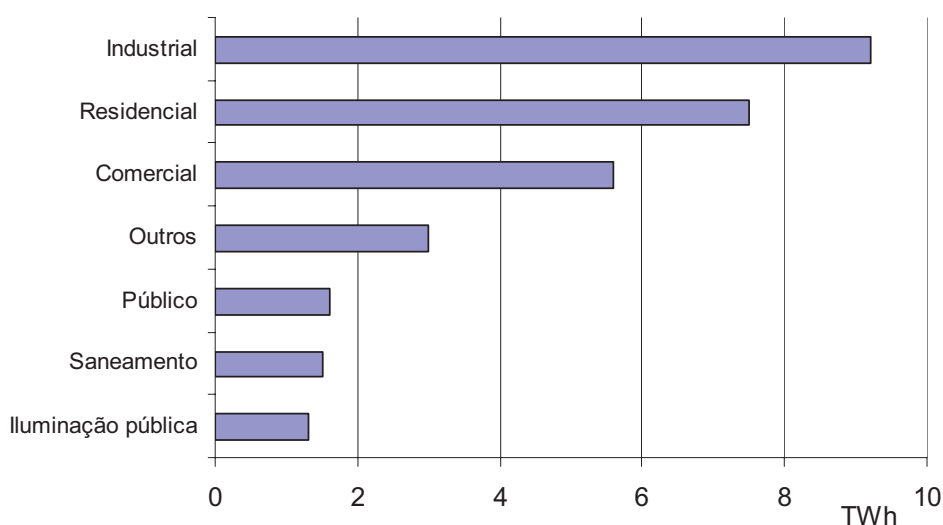


Figura 3 – Potencial de economia de derivados de petróleo e gás natural do Brasil (MME, 2006b).

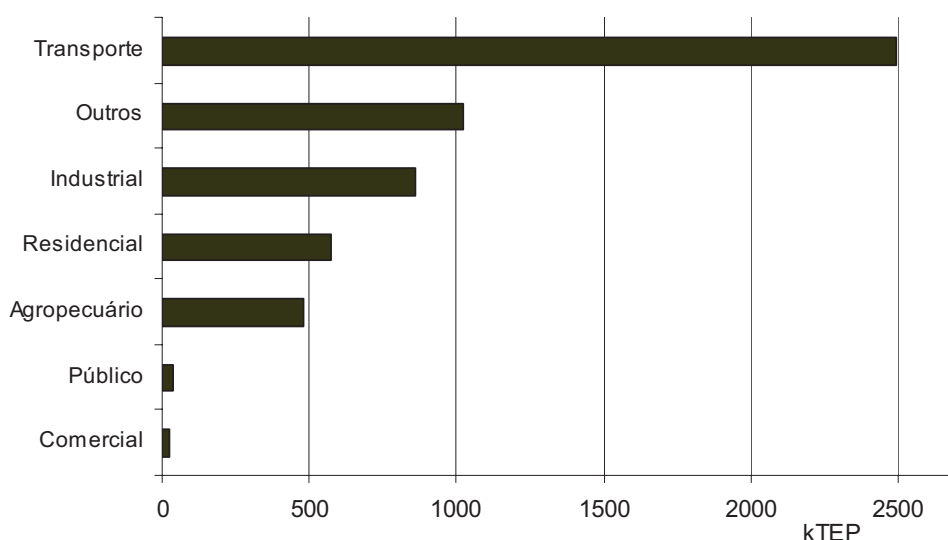


Figura 4 – Potencial de energia de economia elétrica no Brasil (MME, 2006b).

Tais potenciais são estimativas preliminares, e espera-se que à medida que se promova seu desenvolvimento os valores sejam conhecidos de maneira mais consistente, bem como possam ser discriminados outros potenciais. Nesse sentido, a avaliação quantitativa e, quando possível, auditável dos resultados dos programas e das ações de eficiência energética é da maior relevância e tem despertado grande interesse. A principal dificuldade reside em estimar bem o consumo energético que deixa de ocorrer e a potência economizada, devendo se mencionar os esforços em curso para consolidar uma metodologia interna-

cional de monitoramento e avaliação dos resultados dos programas de eficiência energética, por meio do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP). Uma detalhada e abrangente revisão dessas metodologias foi proposta pelo Programa de Avaliação das Medidas para a Eficiência Energética e Gerência da Demanda, desenvolvido pela Agência Internacional de Energia e com estudos de casos na Bélgica, no Canadá, na Coreia do Sul, na Dinamarca, na França, na Holanda, na Itália e na Suécia. Como regra geral, esse manual recomenda a comparação das curvas de carga antes e após a adoção das medidas de fomento da eficiência, cotejando assim as curvas de base (*baselines*) com as curvas de carga modificadas (IEA/DSM, 2006), como apresentado anteriormente para a avaliação do impacto do Selo Procel sobre o consumo de refrigeradores e congeladores.

Além da evolução tecnológica como fonte de alternativas para a redução dos desperdícios de energia, reitera-se a relevância de difundir hábitos e usos mais responsáveis. Medidas simples de conscientização podem levar a economias substantivas de combustíveis e energia elétrica, apenas pela redução das perdas e sem afetar os serviços providos pela energia.

### **Conclusões**

A limitada consciência dos potenciais energéticos associados ao incremento da eficiência e a persistência de uma visão segmentada e reducionista dos sistemas energéticos a partir das perspectivas das fontes primárias utilizadas têm determinado a manutenção de um nível elevado de perdas, pela ausência das integrações entre usos e da valorização dos fluxos energéticos. Com efeito, e apenas como exemplo, o setor elétrico, que recentemente passou a vivenciar crescente preocupação com desconexões entre as disponibilidades e a demanda de eletricidade, tem oferecido de um modo geral como soluções apenas a ampliação obsessiva da capacidade instalada, sob condições econômica e ambientalmente questionáveis, sem dar a devida atenção à gestão da demanda, considerada de modo superficial e secundário. Estudos internacionais têm mostrado que cada dólar investido em eficiência energética economiza dois dólares em sistemas de geração e distribuição energética (IEA, 2006). Nesse sentido, deve-se considerar um avanço notável as novas perspectivas de inserção da eficiência na agenda das autoridades energéticas, que poderão sair do imobilismo dos últimos anos e retomar com a intensidade necessária programas e ações de fomento à racionalidade energética.

É imperativo rever os marcos da política energética, em particular quanto à sua subordinação às pautas dos agentes da oferta, incapazes de ver além dos medidores de consumo de energia, sejam eles wattímetros sejam bombas de combustível, e recolocar os objetivos de um desenvolvimento energético mais saudável, onde energia é um meio e não um fim em si mesmo.

## Referências bibliográficas

- BEJAN, A. *Advanced Engineering Thermodynamics*. 2.ed. Wiley, 1997.
- BEZDEK, R. H.; WENDLING, R. M. Potential long-term impacts of changes in US vehicle fuel efficiency standards. *Energy Policy*, v.33, p.407-19, 2005.
- BRANCO, G. M. et al. Estimativa da frota de veículos, emissões e CO<sub>2</sub>. *Workshop para Eficiência de Combustíveis e Baixo Teor de Enxofre*. São Paulo: MMA, SMA-SP, Hewlett Foundation, 2004.
- CONPET. *Promovendo a eficiência energética nos automóveis brasileiros*. Preparado por L. A. Horta Nogueira e G. M. Branco. Rio de Janeiro: Conpet, Petrobras, 2005.
- IEA. *World Energy Outlook 2006*. Paris: International Energy Agency, 2006.
- IEA/DSM. *Evaluation Guidebook on the Impact of Demand-Side Management and Energy Efficiency Programmes for Kyoto's GHG Targets*. Paris: International Energy Agency, Demand-Side Management Programme, 2006.
- IMT – Instituto Mauá de Tecnologia. Ranking Folha-Mauá (Testes dos Modelos 2004). *Folha de S.Paulo*, Veículos, São Paulo, 9.12.2004.
- INMETRO. *Etiquetagem: ferramenta para conservação de energia*. Apresentação Power Point por A. Novgorodcev. Brasília: Programa Brasileiro de Etiquetagem, 2005.
- MME. *Balanço Energético Nacional*. Brasília: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, Ministério de Minas e Energia, 2006a.
- \_\_\_\_\_. *Eficiência energética: um desafio estratégico para o MME*. Documentos preliminares do PNE 2030. Brasília: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, Ministério de Minas e Energia, 2006b.
- PROCEL. *Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações*. 3.ed. Itajubá: Eletrobrás, Procel Educação, Unifei, Fupai, 2006a.
- \_\_\_\_\_. *Procel 20 anos*. Rio de Janeiro: Centro de Memória da Eletricidade no Brasil, 2006b.
- \_\_\_\_\_. *Avaliação de resultados do Programa Selo Procel de Economia de Energia em Refrigeradores e Freezers* (resultados preliminares). Itajubá: Procel, Fupai, 2006c.
- SILVA, E. S.; HADDAD, J. (Ed.) *Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais*. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- WADE. *World Survey of Decentralized Energy 2006*. World Alliance of Decentralized Energy, 2006.

*RESUMO* – Os sistemas energéticos modernos são complexas redes de exploração de recursos naturais, com sucessivos processos de conversão e transporte de energia e um elevado nível de perdas, cuja redução constitui uma fonte virtual de energia, que deve ser mais bem explorada, com vantagens econômicas e ambientais. Nestas notas se revisam os conceitos de perdas em sistemas energéticos e a evolução do marco institucional brasileiro para fomento do uso racional de energia, apresentando-se as perspectivas para a redução dos desperdícios de energia em alguns usos finais: refrigeração doméstica, aquecimento de água residencial, veículos leves e cogeração. São apresentados os po-

tenciais totais estimados de economia de energia elétrica e combustíveis, desagregados por setores de consumo.

*PALAVRAS-CHAVE:* Conservação de energia, Demanda energética, Eficiência, Uso racional de energia.

*ABSTRACT* – Modern energy systems are complex exploitation networks of natural resources with successive conversion and energy transportation processes and a high level of losses. These losses constitute a virtual energy source that must be better exploited in order to provide economic and environmental advantages. Here, the concept of energy system loss and the evolution of Brazilian institutional framework to enhance the promotion of a rational use of energy will be presented, as well as the perspectives to reduce energy waste in end uses: domestic refrigeration, residential water heat, light vehicles and cogeneration. The estimated total capacities of electric energy and fuel economy (by consuming sectors) are also presented.

*KEYWORDS:* Energy conservation, Energy demands, Efficiency, Rational use of energy.

*Luiz Augusto Horta Nogueira* é professor de Termodinâmica do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá e, entre outubro de 2006 e maio de 2007, ocupa a Cátedra do Memorial da América Latina. @ – horta@unifei.edu.br

Recebido em 16.1.2007 e aceito em 7.2.2007.