

## Eficiência Energética

GILBERTO M. JANNUZZI

■ Quando me perguntam “o quê é eficiência energética” eu respondo que primeiramente temos que deixar mais claro o que entendemos sobre energia, para quê necessitamos de energia. Eficiência energética é aquela energia que você não vê, aquela que você deixa de consumir. Por isso é tão importante desenvolver conceitos e indicadores que nos permitam avaliar e mensurar a quantidade de eficiência energética que temos disponível e como estamos aproveitando esse recurso energético. Sim, eficiência energética é também um recurso, assim como a energia hidráulica, energia solar, carvão, petróleo, etc. É um recurso invisível, mas é tão grande quanto as reservas de combustíveis fósseis, que aumentam sua longevidade cada vez que energia se torna mais cara, e portanto tornando economicamente viável sua contínua exploração em locais cada vez mais complicados.

Eficiência energética necessita de investimentos, tecnologia e planejamento para que seja aproveitada, do mesmo modo como fazemos quando pensamos em expandir nosso parque de usinas de eletricidade ou refinarias, e novos poços de petróleo, por exemplo. No entanto, via de regra, esse recurso só é lembrado quando enfrentamos crises de abastecimento (o mesmo acontece com a água para consumo), e perdemos oportunidades para melhor aproveitamento de sua potencialidade, conforme procuraremos argumentar a seguir.

### CONCEITOS

■ Aprendemos a usar a energia em nossos processos e para aumentar nosso nível de conforto, para produzir bens e serviços necessários para o estilo de vida que desejamos. Isso é feito através de uma sequência de conversões entre diversas formas de energia. Aprendemos a converter a energia mecânica dos ventos para produzir energia elétrica que depois irá acionar motores para bombear água. Aprendemos

a converter a energia química de combustíveis em energia térmica (calor) e assim por diante. Cada uma dessas conversões envolve perdas de energia que não conseguimos aproveitar. Aqui começa a aparecer a noção de eficiência. Cada conversão é realizada segundo uma determinada eficiência. De uma maneira geral procuramos sempre medir essa eficiência através de uma razão entre a energia que é utilizada para um processo e a energia resultante desse processo, chamada de energia útil (vide equação 1). Sempre há perdas nessas conversões. A termodinâmica, através da 1a. e 2a. Leis, nos fornece ferramentas para se definir eficiência energética de modo mais preciso e ter indicadores quantitativos para defini-la. A eficiência energética de acordo com a Primeira Lei, é chamada de eficiência térmica, ou eficiência entálpica, mensura a quantidade de energia contida nos insumos e nos produtos resultantes de um processo. Assim, por exemplo, uma lâmpada incandescente tem uma eficiência de apenas 6% segundo esse indicador. Em outras palavras, apenas 6% da eletricidade de abastece a lâmpada é convertida em energia luminosa, o restante (94%) é dissipada em forma de calor (energia térmica).

$$\text{Eficiência energética (\%)} = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Insumo energético}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Podemos definir um outro indicador para eficiência energética usando a 2ª Lei, onde se considera não somente o conteúdo térmico do numerador e denominador, como foi feito no caso acima, onde não é feita nenhuma distinção entre diferentes formas de energia, apenas seu conteúdo térmico, ou entalpias. Em algumas situações nos interessa considerar a “qualidade” da energia. As eficiências de conversões através da 2ª Lei da Termodinâmica são baseadas em definições de limites ideais de processos e são úteis para indicar os limites teóricos de eficiência das conversões. Um exemplo típico para essa situação é o clássico exemplo do chuveiro elétrico que é um equipamento muito eficiente do ponto de vista de 1ª Lei da termodinâmica (existem no país chuveiros com 95-98% de eficiência) convertendo energia elétrica em energia térmica, mas essa não é a melhor maneira para se usar a eletricidade. Em termos de eficiência de 2ª Lei é muito melhor usar energia solar ou um combustível (gás, por exemplo) para aquecer água.

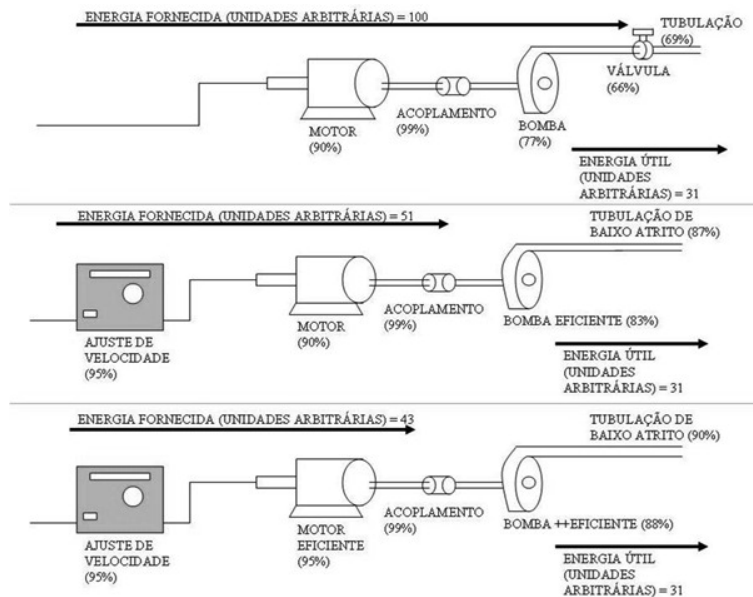
A Equação 1 apresentada acima na verdade pode ser expandida para representar melhor indicadores de eficiência energética que nos interessam. O numerador “energia útil” pode ser a quantidade de um determinado produto produzido, ou serviço de energia, por exemplo quantidade de lumens produzidos de uma lâmpada por kWh consumido.

Pode-se, ainda ampliar a definição de EE para incluir também a substituição de energéticos (gás, energia solar, etc.) onde se comprove menores custos (sociais, ambientais, financeiros) para a produção de um bem ou serviço. Novamente, nesses casos teremos novas grandezas para representar o numerador e o denominador da equação 1 apresentada.

Na verdade o que realmente interessa quando se fala em energia e eficiência energética é garantir que os serviços que necessitamos são atendidos. Não precisamos de kWh ou litros de gasolina e sim de iluminação, mobilidade, refrigeração, e tantos outros serviços que precisam de energia para serem executados.

Desse modo, o entendimento mais difundido e mais útil de eficiência energética refere-se a maneiras de consumir menos energia para realizar a mesma quantidade de serviço, ou seja, significa diminuir a quantidade de energia primária destinada a produzir um bem ou serviço de energia. Isso pode ser ilustrado pelas diferentes configurações de um sistema motor-bomba conforme a Ilustração 1, onde se pode notar que diferentes configurações requerem menos energia para executar um mesmo serviço.

ILUSTRAÇÃO 1. Exemplos de eficiência energética através de melhoramentos técnicos em um sistema motor-bomba.



Fonte: Scientific American (1990), modificado pelo autor.

Esses diferentes arranjos mostram que podemos requisitar diferentes quantidades de insumo energético para executar o mesmo trabalho, e o sistema mais eficiente é aquele que necessita de menor quantidade de energia (43 unidades) para o serviço desejado representado nessa ilustração como sendo 31 unidades de energia útil.

Eficiência energética não se restringe somente ao uso de melhores tecnologias de conversão de energia. Existem outros elementos que garantem condições de atender a demanda por serviços feitas com gasto de energia. A qualidade da energia e o comportamento do usuário final são esses outros componentes.

Garantir e melhorar constantemente a qualidade dos combustíveis e da eletricidade, estabelecendo, por exemplo, padrões de composição (combustíveis), regularidade de voltagem (eletricidade), etc., permite que equipamentos e processos possam funcionar dentro das especificações ótimas para as quais foram projetados. A qualidade de energia tem influência direta não só na quantidade de energia consumida, mas também na vida útil dos equipamentos e nível de emissões (no caso dos combustíveis).

## CATEGORIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

■ É interessante ver a eficiência energética em diferentes contextos. Vamos chamar esses contextos de categorias de eficiência energética. Isso é importante especialmente para desenhar mecanismos para incentivar e disseminar práticas, processos e tecnologias. Podemos classificar em três categorias de eficiência energética: EE do lado da oferta, ou seja da indústria de produção de energia; eficiência energética do lado da demanda ou dos serviços de energia, ou ainda dos chamados “usos finais” de energia; e finalmente uma terceira categoria relacionada a comportamentos de consumidores, sejam eles indivíduos ou então instituições e corporações (Ilustração 2).

O fluxo de energia é permeado por uma série de tecnologias cuja função é converter diversas formas de energia nos serviços desejados, conforme mencionamos. A indústria de produção de energia é naturalmente estimulada a gerar energia de maneira mais eficiente porque assim terá mais lucros com a venda de seu produto. Grande parte dos esforços em pesquisa e desenvolvimento estão justamente buscando formas de se extrair e produzir energia com menores perdas.

As diferentes tecnologias de conversão de energia primária em energia secundária tem melhorado enormemente. A Ilustração 3 mostra a melhoria de eficiência de conversão da energia solar em eletricidade nos últimos 40 anos em laboratórios de pesquisa.

ILUSTRAÇÃO 2. Categorias de eficiência energética e fluxo de energia

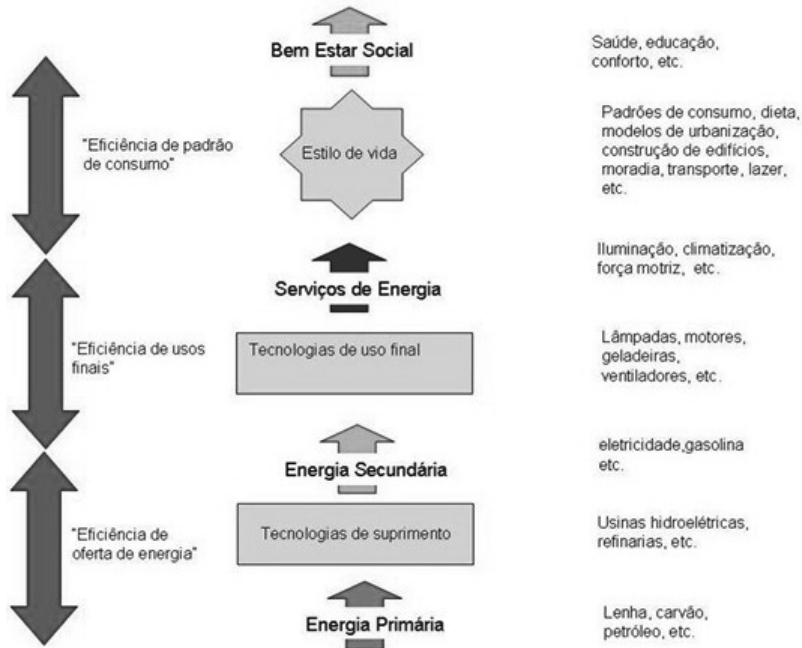
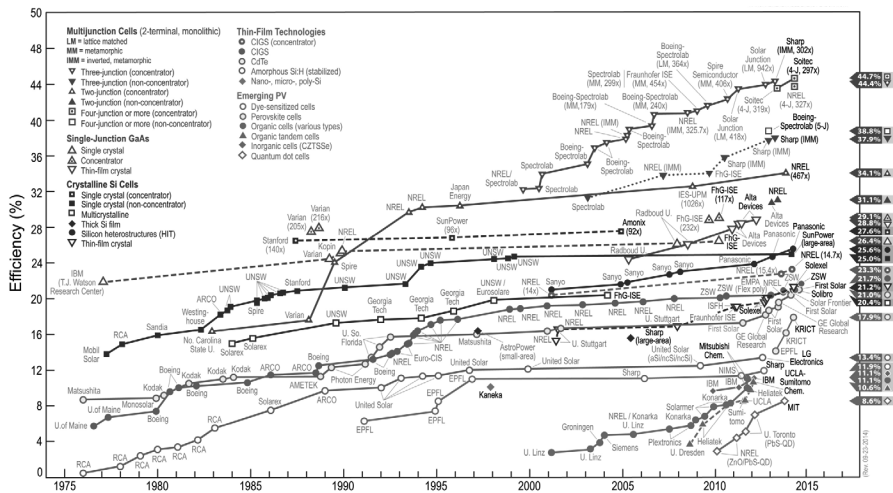


ILUSTRAÇÃO 3. Eficiências conseguidas em laboratórios de pesquisas através de diferentes tecnologias de células fotovoltaicas



Fonte: "NREL: National Center for Photovoltaics." 2014. <http://www.nrel.gov/ncpv/>.

O que chamamos de eficiência energética do lado da demanda ou dos serviços de energia, é ainda a categoria que possui o maior potencial de eficiência energética. A dinâmica do mercado, a estratégia dos fornecedores de equipamentos e altos custos de transação para se substituir ou modificar as tecnologias em uso, tem oferecido entraves significativos para acelerar a introdução e disseminação de novas tecnologias mais eficientes. Frequentemente é necessário recorrer a instrumentos regulatórios ou legislativos para possibilitar a comercialização de equipamentos mais eficientes. Incentivos financeiros acoplados a especificações técnicas que garantam o desempenho energético dentro de padrões cada vez menor de consumo têm sido utilizados principalmente para várias tecnologias de uso final, como motores, refrigeradores, lâmpadas e inclusive edificações.

O usuário final é o terceiro elemento fundamental para um sistema energético eficiente. Além da contribuição importante das tecnologias de conversão energética e da infraestrutura que estabelece padrões físicos de eficiência das duas categorias anteriores, o comportamento do consumidor (e das firmas e corporações) são fundamentais. Dele dependem decisões importantes como compra, instalação e operação e uso de equipamentos e processos que consomem energia. Seu padrão de consumo e estilo de vida determinam em última análise a produção, distribuição e o consumo de energia de toda a cadeia de produção de bens e serviços de um país ou região. Acesso a informação, poder aquisitivo, cultura e preferências influem de maneira complexa nas interações dos consumidores com tecnologias e demanda final de energia.

## O POTENCIAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

■ Estimar o potencial de eficiência energética de um país é muito similar a realizar estimativas de reservas de petróleo. Os valores podem variar de acordo com cada analista, metodologias e critérios utilizados. A cada novo preço de energia novos potenciais de se economizar energia aparecem, do mesmo modo como novas fontes de energia e novas reservas de petróleo, por exemplo, são contabilizadas.

O potencial de eficiência não é desprezível como indicam diversos estudos internacionais. Os relatórios recentes do IPCC mais uma vez conferem um papel especial para a eficiência energética como parte de estratégias de mitigação de gases-estufa<sup>1</sup>. A Agência Internacional de Energia através de estudos de cenários de aquecimento global estima que os resultados obtidos no mundo se ações de eficiência energética no setor de usos finais serão mais importantes que as contri-

1 IPCC, *Fifth Assessment Report (AR5)*, 2014, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>.

buições esperadas das fontes renováveis para manter o aumento de temperatura em 2 graus Celsius até 2050<sup>2</sup>. Os estudos realizados para o Brasil pela WWF<sup>3</sup>, Greenpeace<sup>4</sup> e mesmo EPE<sup>5</sup> também apresentam estimativas com valores expressivos para a contribuição de eficiência energética para o futuro. As avaliações do WWF e Greenpeace são bem superiores àquelas apontadas pelas projeções oficiais da EPE, ao redor de 30-38% da demanda projetada de eletricidade durante 2020-2030, enquanto a EPE estima um valor de cerca de 10%.

Estimativas do potencial de EE implicam em considerações complexas sobre comportamento do consumidor, do mercado, desempenho e evolução de tecnologias ao longo do tempo, e, principalmente da existência de políticas públicas para transformar o mercado de energia (e tecnologias). Dependem em grande parte dos investimentos que serão disponibilizados, preços de energia, liderança e coordenação de políticas públicas.

Existem também fatores que adicionam maiores incertezas às estimativas de potencial de EE, como efeito rebote (“rebound effect”), quando muitas vezes o consumidor passa a consumir mais energia, modificando seus hábitos. Outros fatores como sazonalidade econômica e climática que podem impactar nas economias de energia inicialmente estimadas. No entanto, muito se tem avançado em sistemas e metodologias para monitorar e avaliar os impactos dos investimentos em eficiência energética. Hoje em dia existem diversos protocolos internacionais<sup>6</sup> e experiências<sup>7</sup> que procuram estabelecer parâmetros confiáveis para acompanhar e avaliar os progressos que estão sendo alcançados através de investimentos em programas, e ações

- 2 International Energy Agency. et al., *Energy Technology Perspectives 2014: Harnessing Electricity's Potential* (Paris, France: OECD/IEA, 2014).
- 3 G. M. Jannuzzi et al., *Agenda Elétrica Sustentável 2020: Estudo de Cenários Para Um Setor Elétrico Brasileiro Eficiente, Seguro E Competitivo*, Série Técnica (Brasília: WWF-Brasil, 2007), [http://assets.wwf.org.br/downloads/wwf\\_energia\\_2ed\\_ebook.pdf](http://assets.wwf.org.br/downloads/wwf_energia_2ed_ebook.pdf).
- 4 Greenpeace International, European Renewable Energy Council – EREC, *Global Energy [r] evolution: A Sustainable World Energy Outlook* (Greenpeace International and EREC, 2007); Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC) and Greenpeace, “[r]evolução Energética – Perspectivas Para Uma Energia Global Sustentável,” 2007, [http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario\\_brasileiro.pdf](http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario_brasileiro.pdf).
- 5 Empresa de Pesquisa Energética EPE, *Plano Nacional de Energia 2030* (Empresa de Pesquisa Energética, 2007), <http://epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>.
- 6 INEE, “Medição & Verificação – ESCOS,” 2014, [http://www.inee.org.br/escos\\_mev.asp?Cat=mev;EVO, “IPMVP Core Concepts, 2014: English,” 2014, http://www.evo-world.org/index.php?option=com\\_rform&formId=124&Itemid=1958&lang=en](http://www.inee.org.br/escos_mev.asp?Cat=mev;EVO, “IPMVP Core Concepts, 2014: English,” 2014, http://www.evo-world.org/index.php?option=com_rform&formId=124&Itemid=1958&lang=en).
- 7 L. Skumatz, *Lessons Learned and Next Steps in Energy Efficiency Measurement and Attribution: Energy Savings, Net to Gross, Non-Energy Benefits, and Persistence of Energy Efficiency Behavior* (Berkeley, CA, USA: California Institute for Energy and Environment, 2009).

de eficiência energética. É importante observar que existe uma enorme evolução em termos de metodologias e instrumentos de avaliação de programas de eficiência energética de modo a reduzir as incertezas ou controlá-las de maneira aceitável.

Tradicionalmente se relevam as incertezas de estimativas do potencial de fornecimento de energia (potencial de oferta de energia) e se penalizam as incertezas do potencial de eficiência energética do lado da demanda (onde grande parte do potencial de EE se localiza). É importante reconhecer que existem também enormes incertezas em relação à quantificação de reservas de petróleo, por exemplo e sua produção ao longo do tempo. O mesmo acontece com inventários de potenciais hidroelétricos e correspondente produção anual de eletricidade. Mudanças de regimes climáticos, atrasos em obras civis, variações de custos, exemplificam as incertezas que permeiam as projeções de fornecimento de energia, e comprometem muitas vezes a geração de energia e os custos inicialmente previstos.

## A CONTRIBUIÇÃO DA EE PARA O BRASIL

■ Entendemos a eficiência energética como sendo mais um recurso energético que pode ser explorado para atender às necessidades da sociedade. Destacamos abaixo principais áreas onde ela pode ter uma contribuição significativa para o país.

### Compatibilizar a oferta e demanda de energia

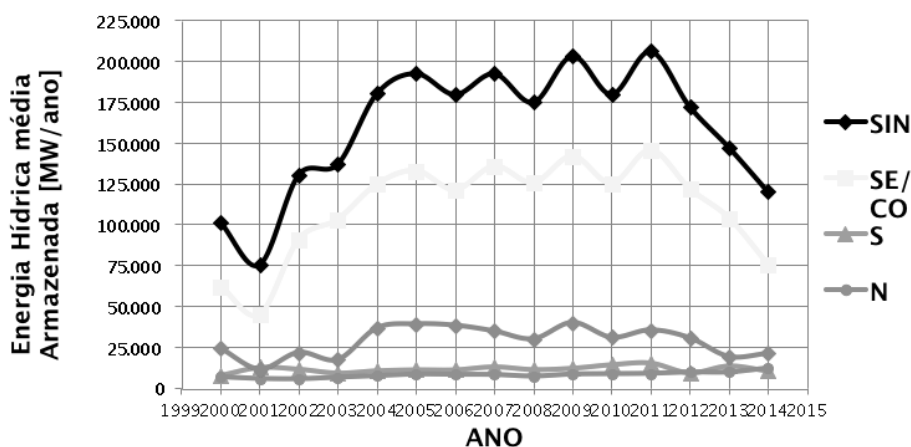
A curto prazo, a grande prioridade da eficiência energética no Brasil é ajudar a evitar perdas econômicas em virtude de desequilíbrio entre a demanda e a capacidade de geração de energia. Já há alguns anos, o crescimento econômico do Brasil impõe demandas de nova capacidade de geração e infra-estrutura adicional de eletricidade e combustíveis. Conforme vários estudos e alertas feitos ao longo dos últimos anos, investimentos em nova capacidade de geração não estavam acompanhando a crescente demanda. Restrições no abastecimento de causam sérios transtornos às atividades comercial e industrial, além da vida dos cidadãos, como foi possível verificar durante o ano de 2001.

Desde 2003 os novos empreendimentos hidroelétricos não tem incorporado reservatórios, o que acrescenta o aspecto de intermitência tão característico das fontes renováveis, como a energia eólica e a energia solar. A tradição brasileira bem sucedida do setor elétrico se baseava na sua capacidade de reservar energia nos reservatórios para sua utilização em períodos secos. Com isso as usinas térmicas representavam apenas uma forma de complementação da geração quando se



fizesse necessário. No entanto, essa situação está se modificando rapidamente e de maneira preocupante. A Ilustração 4 mostra que desde 2003 a capacidade de armazenagem tem ficado estável e que a partir de 2011 ela tem se reduzido, especialmente no Sudeste e Centro-Oeste que concentram cerca de 70% da capacidade dos reservatórios do país. Eficiência energética não somente economizaria energia como pouparia água nos reservatórios, inclusive para abastecimento humano, e contribuiria para o enfrentamento da estiagem verificada nessa região do país.

ILUSTRAÇÃO 4. Evolução da capacidade de armazenagem de energia no Sistema elétrico brasileiro



Fonte: ONS (2014)<sup>8</sup>.

Ações mais coordenadas e planejadas de eficiência energética devem fazer parte de uma política de investimentos para o setor de energia no longo prazo e como vemos possuem reflexos importantes no gerenciamento de recursos críticos como a água.

**Reduzir os impactos ambientais, em nível local e global, devidos ao fornecimento de energia**

Maior eficiência e redução do desperdício no fornecimento e uso final de energia ajudariam a preservar o meio ambiente, na medida em que restringem a quanti-

8 “ONS – Operador Nacional Do Sistema Elétrico,” accessed November 14, 2014, <http://www.ons.org.br/home/>.

dade de energia que precisa ser gerada. O fornecimento e uso de energia afeta o meio ambiente em razão da extração de combustível e transporte, implantação de usinas de geração de eletricidade, refinarias e emissões na atmosfera. Embora o fornecimento de energia elétrica no Brasil tenha sido historicamente hidrelétrico, a capacidade adicional futura será crescentemente dominada por tecnologias térmicas. A queima de combustível fóssil para geração de energia ocasiona poluição local e gases de efeito-estufa na atmosfera. Redução do desperdício de energia elétrica e melhor gerenciamento do setor de transportes podem ajudar o Brasil a melhorar a qualidade do ar local, além de contribuir para os esforços globais visando a redução dos gases de efeito-estufa.

### **Garantir a expansão dos serviços de energia com menores custos**

É claro que usar energia de modo eficiente implica em investimentos e custos operacionais, no entanto grande parte das possibilidades indicam custos inferiores àqueles necessários para gerar a quantidade equivalente evitada. Diversos estudos identificam essas oportunidades. O próprio mercado tem sido capaz de explorar uma parcela do potencial de EE que se mostra economicamente atraente para investidores privados. É desse modo que tem havido oportunidades para as novas ESCOs.

A sustentabilidade de mercados de eficiência energética pode ser alcançada por meio da captura de economias de escala em produtos e serviços, reduzindo os riscos de desempenho de projetos individuais por meio da diversificação de carteira, e reduzindo os custos de transação para financiamento e entrega dos serviços. Essas características, por sua vez, podem ser promovidas por meio de articulação de recursos, cooperação entre diferentes agentes do mercado e alavancagem de fundos.

Na medida em que esses investimentos aumentem existirá menor pressão para a expansão do parque gerador de energia.

### **Garantir o acesso e capacidade de adquirir serviços de energia para consumidores**

Com a reestruturação e privatização do setor elétrico do Brasil, as tarifas são reajustadas para que reflitam, mais diretamente, os custos do fornecimento dos serviços, com arrecadação mais eficaz das receitas. Com a maior participação da geração termoeletrica nesses dois últimos anos, as tarifas já estão sendo reajustadas

para cima, em valores superiores à inflação e essa situação deverá permanecer para os próximos anos. Eficiência energética possibilita que consumidores residenciais, industriais possam ter suas necessidades atendidas a custos menores de energia.

Domicílios de baixa renda, em particular, têm recebido historicamente subsídios explícitos ou implícitos pelos serviços de eletricidade e GLP. Além disso, alguns domicílios de baixa renda recebem energia elétrica informalmente, sem a instalação de medidores ou cobrança de tarifas. É desejável, dessa forma, desenvolver uma estratégia de retirada dos subsídios sem provocar impactos negativos na capacidade de pagamento dessa população atualmente enquadrada na Tarifa Social. Eficiência energética pode fazer parte dessa estratégia, desonerando os demais consumidores que estão na realidade subsidiando o uso ineficiente de eletricidade dos equipamentos obsoletos encontrados nos domicílios de baixa renda. Maior eficiência energética facilitará aos consumidores de baixa renda manter a condição de acesso e a capacidade de pagar pela eletricidade, ao mesmo tempo podem contribuir para reduzir a necessidade de subsídios no médio e longo prazos.

A regulação brasileira estipula que uma porcentagem da receita líquida das distribuidoras de eletricidade invistam em programas de eficiência energética de seus consumidores<sup>9</sup>. Isso representa cerca de 300-400 milhões de reais por ano o que é algo bastante significativo para o país. No entanto, parece ainda ser difícil de se contabilizar o impacto desses investimentos na demanda de eletricidade. Desde 2005 um pouco mais de 60% desse valor está sendo aplicado em consumidores de baixa renda através de doação de lâmpadas e refrigeradores. Praticamente nenhum desse recurso está sendo investido no segmento industrial que representa mais da metade do consumo nacional de eletricidade. Em outros países com esse tipo de mecanismo, esse recurso é utilizado para alavancar ainda mais investimentos em eficiência energética buscando criar um mercado de negócios e investimentos públicos e privados em soluções eficientes.

## NOTAS FINAIS

■ Embora exista um potencial técnico e econômico de eficiência energética e mesmo com diversos mecanismos importantes existentes no Brasil ainda temos um caminho significativo para consolidar e melhor aproveitar esse potencial. Assim como planejamos a oferta de energia e promovemos leilões para novas usinas, é ne-

9 Presidência da República, *Lei 9.991/2000*, 2000, [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9991.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9991.htm).

cessário planejar novos investimentos em eficiência especialmente no que se refere a serviços de energia e usuários finais. Leilões de eficiência energética, aprimorar a regulação para que as concessionárias de energia e outros agentes possam se beneficiar economicamente desses investimentos. Avançar com maior rapidez e rigor em padrões mandatórios de eficiência mínima para veículos, edifícios e equipamentos, aproveitando a Lei de Eficiência Energética em vigor no país<sup>10</sup>.

Eficiência energética não é uma novidade no Brasil. Diversas ações tem sido executadas por agentes públicos e privados desde a década de setenta. O país conta com mecanismos de incentivos, normas técnicas, legislação etc. No entanto não temos tido uma política de eficiência energética que pudesse alinhar essas oportunidades ao lado das demais opções de recursos energéticos. Com esse objetivo seriam necessários ainda os seguintes elementos:

- O estabelecimento de metas dentro do planejamento energético para conservação de energia (eletricidade e combustíveis). Essas metas devem ser feitas de modo desagregado (usos finais ou tecnologias) possibilitando avaliar o seu impacto na demanda global (priorização) e definição dos programas necessários para atingi-las.
- Avaliação das necessidades de investimentos. Definição de mecanismos operativos e/ou programas para serem implementados.
- Criação de linhas de base e indicadores de acompanhamento e avaliação de resultados
- Capacidade institucional para coordenação, acompanhamento e avaliação das ações

As negociações internacionais do regime climático e possivelmente metas de emissões a serem estabelecidas na próxima Conferência das Partes em Paris em 2015, possivelmente ajudarão a dar maior importância para o potencial de eficiência energética juntamente com o agravamento da oferta de eletricidade e seus custos nos próximos anos.

GILBERTO M JANNUZZI · Professor Titular em Sistemas Energéticos, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP.

10 Presidência da República, *LEI Nº 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001*, 2001, <http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200110295.pdf>.