



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GET/29
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – XIV

GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO – GET

PROJEÇÃO DOS IMPACTOS DA LEI DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 10.295/2001 PARA O ANO DE 2030

RAFAEL BALBINO CARDOSO (*)
UNIFEI / CAMPUS ITABIRA

LUIZ AUGUSTO HORTA NOGUEIRA
UNIFEI / EXCEN

RESUMO

O presente estudo avalia os impactos energéticos, considerando a economia de energia e redução de demanda de ponta, atribuídos à Lei 10.295/2001, que estabelece índices mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo, para equipamentos consumidores de energia no Brasil, bem como projeta os mesmos para o ano de 2030. Segundo estimativas, no ano de 2010, as geladeiras, condicionadores de ar, motores elétricos e equipamentos consumidores de gás liquefeito de petróleo – GLP os impactos foram relativamente pequenos, perante o mercado. As projeções para o ano de 2030 indicam que os impactos da Lei de Eficiência Energética poderão apresentar resultados relevantes.

PALAVRAS-CHAVE

Economia de Energia, Eficiência Energética, Lei 10.295/2001, Projeção.

1.0 - INTRODUÇÃO

O presente estudo apresenta uma avaliação do processo de implementação e das consequências energéticas da Lei 10.295/2001, conhecida como Lei de Eficiência Energética, que estabelece níveis mínimos para o desempenho de equipamentos que consomem eletricidade e combustíveis, bem como realiza projeções desses impactos para o ano de 2030. Essa lei foi regulamentada através do Decreto no 4.059/2001, que instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética, órgão do Ministério de Minas e Energia que responde diretamente pela implementação da Lei de Eficiência Energética.

Esta lei se integra a outras ações governamentais desenvolvidas no Brasil visando estimular a introdução de equipamentos mais eficientes no mercado (Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e Selos Procel e Conpet), conformando um sistema baseado em procedimentos similares de avaliação da eficiência e orientando consumidores, produtores e importadores no sentido da adoção de melhores produtos e de menor consumo de energia.

Nesse sentido o presente estudo tem por objetivo avaliar e projetar os impactos da Lei 10.295/2001, em termos de economia de energia, nos seguintes equipamentos consumidores de energia: Refrigeradores, condicionadores de ar, fogões a gás, aquecedores de água, motores elétricos e lâmpadas fluorescentes compactas.

(*) Rua Irmã Ivone Drumond, n. 200, Sala 208, Distrito Industrial II, Itabira - MG – Brasil
Tel: (+55 31) 9448-8047 – Email: cardosorb@excen.com.br

2.0 - METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS

A metodologia de avaliação dos impactos da Lei 10.295/2001 se baseia em diretrizes de protocolos internacionais, tais como o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance - PIMVP. Entre as principais diretrizes, seguiu-se as seguintes:

- 1) Estabelecimento de linha de base para a avaliação dos impactos energéticos;
- 2) Avaliação ao longo da vida útil;
- 3) Consideração das condições de operação dos equipamentos.

Com base nos índices mínimos de eficiência energética de cada categoria de equipamento estudado, consumo unitário de cada equipamento representativo de cada categoria, considerando duas situações de mercado (Linha de base e Real), e parque de equipamentos estimaram-se as economias de energia de acordo com as seguintes equações:

a) Economia de Energia: a economia de energia em um determinado ano decorre da diferença entre as condições estimadas para a linha de base e após a mudança induzida pela adoção dos equipamentos mais eficientes (CARDOSO et. al, 2012):

$$EE = CEE_B - CEE_E \quad (1)$$

Onde:

EE - Economia de energia (GWh).

CEE_B - Consumo de energia do parque de equipamentos na linha de base (GWh).

CEE_E - Consumo de energia do parque real, com equipamentos eficientes (GWh).

A unidade utilizada nessa equação e subseqüentes considera o uso de energia elétrica, mas pode ser naturalmente ajustada para as unidades típicas empregadas para outros vetores energéticos, como tep ou GJ.

b) Consumo de Energia do Parque de Equipamentos: para as diferentes hipóteses de composição do parque (equipamentos na linha de base e adotando equipamentos eficientes, após a regulamentação), em um determinado ano, esse consumo resulta da soma dos consumos parciais estimados para as diversas regiões, setores e classes de desempenho no contexto analisado, tendo em vista os critérios de homogeneidade e a disponibilidade de dados.

Por sua vez, esses consumos parciais podem ser estimados pelo produto entre o número de equipamentos (que não varia com a hipótese de composição do parque) e o consumo unitário de um equipamento representativo (que varia com a hipótese de composição do parque):

$$CEE_K = \sum_{regiões} \sum_{setor} \sum_{classes} CEP_K \quad (2)$$

$$CEP_K = CM_{jK} \cdot P_j \quad (3)$$

Onde:

CEP_K - Consumo anual de energia do parque de equipamentos na condição K (GWh).

CM_{jK} - Consumo unitário médio anual dos equipamentos da região/setor/classe para o ano j (kWh).

P_j - Parque de equipamentos na região/setor/classe no ano j (milhões de unidades).

K - Refere-se ao cenário de composição do parque de equipamentos (linha de base ou melhorado, considerando os níveis mínimos de eficiência).

c) Parque de Equipamentos: a dimensão do parque de equipamentos em uma dada região/setor/classe para um determinado ano pode ser estimada pela soma das vendas durante um período igual à vida útil e o sucateamento para os equipamentos que atingem a vida útil:

$$P_j = \sum_{i=j-VU}^j V_i - S_j \quad (4)$$

Onde:

- P – Parque de equipamentos (milhões de unidades).
- V – Vendas anuais de equipamentos (milhões de unidades/ano).
- S – Função de sucateamento dos equipamentos (-).
- i – Índice referente à idade dos equipamentos (ano).
- j – Índice referente ao ano de análise (ano).
- VU – Vida útil do equipamento (ano).

Nessa equação a variável S, função de sucateamento, pode ser assumida diretamente como a quantidade de equipamentos completando sua vida útil, nesse caso pressupondo uma retirada completa e simultânea desses produtos nesse ano, ou de maneira mais distribuída no entorno da vida útil, segundo regras de saída arbitradas em função dos históricos de venda e estoque de equipamentos em operação. Por exemplo, estudos efetuados pelo PROCEL indicam que a vida útil média de um refrigerador no Brasil é da ordem de 16 anos, mas 50% dos produtos são retirados de uso com 15 anos, 40% com 16 anos e 10% com 17 anos após sua aquisição (PROCEL, 2010).

d) Consumo unitário médio: tendo em conta as condições definidas pela região/setor/classe, o consumo anual de um equipamento representativo de um grupo homogêneo de consumidores, em um determinado ano pode ser dado pela ponderação dos consumos unitários dos modelos comercializados em função das vendas desses equipamentos nos diversos anos, considerando toda a vida útil.

Assim, o consumo unitário médio resulta de duas ponderações sucessivas dos valores de consumo medidos para cada modelo, inicialmente ponderando pelos modelos vendidos em um mesmo ano, e em seguida entre os consumos nos diversos anos, na medida em que um parque de equipamentos apresenta produtos diferentes, de mesma idade e de idades diferentes. Observe-se que tais ponderações admitem subjetivamente que os padrões de uso, sob o pressuposto da homogeneidade, se preservam entre os diferentes modelos.

$$CM_{jk} = \frac{\sum_{i=j-VU}^j C_{ik} \cdot V_i}{\sum_{i=j-VU}^j V_i} \quad (5)$$

$$C_k = \frac{\sum_{i=\text{modelos}} CP_{ik} \cdot V_i}{\sum_{i=\text{modelos}} V_i} \quad (6)$$

Onde:

- C – Consumo anual de um equipamento representativo do parque de equipamentos, novos e usados, de uma dada região/setor/classe, no ano j (kWh).
- CP – Consumo anual de um modelo de equipamento, nas condições de ensaio, para uma dada região/setor/classe, no ano j (kWh).

e) Redução de demanda de Ponta (RDP)

A redução de demanda de ponta é calculada de acordo com o produto da economia de energia pelo fator de coincidência de ponta (FCP) dividido pelo tempo de utilização dos equipamentos. Essa RDP indica a potência elétrica poupada pelo país, devido à Lei 10.295/2001.

3.0 - RESULTADOS DOS IMPACTOS DA LEI 10.295/2001

Aplicando a metodologia descrita no capítulo anterior, estimou-se os impactos energéticos, em termos de economia de energia e redução de demanda de ponta, atribuídos a Lei 10.295/2001 para os equipamentos avaliados: Refrigeradores, condicionadores de ar, fogões a gás, aquecedores de água, motores elétricos e lâmpadas fluorescentes compactas, como mostra a Tabela 1.

As informações para alimentação das equações propostas no capítulo anterior, para as estimativas dos impactos energéticos da Lei 10.295/2001, foram obtidas através de fontes de informação, para estimativas do parque de

equipamentos e consumo médio unitário, tais como: (ABRAVA, 2010), (ABINEE, 2010) (PNAD/IBGE, 2010), (Cardoso e Nogueira, 2007), (PPE/COPPE/UFRJ, 2005), (BORTONI et. al., 2007), (RISE, 1997), Tabelas do PBE/INMETRO, entre outras.

Tabela 1. Impactos energéticos da Lei 10.295/2001 em 2010

Equipamentos	EE (GWh)	RDP (MW)
Refrigeradores de 1 porta (300 litros)	43,1	17,7
Refrigeradores combinados(400 litros)	3,1	1,3
Refrigeradores combinados frost-free (400 litros)	3,6	1,5
Condicionadores de ar janela (6 a 12 kBTU/h)	16,7	9,1
Condicionadores de ar janela (12 a 36 kBTU/h)	20,5	8,3
Condicionadores de ar split (6 a 12 kBTU/h)	13,2	7,2
Condicionadores de ar split (12 a 36 kBTU/h)	4,6	1,8
Motores elétricos (1 a 10 cv)	14,0	6,1
Motores elétricos (10 a 40 cv)	27,4	9,6
Motores elétricos (40 a 100 cv)	12,0	3,5
Motores elétricos (100 a 250 cv)	24,6	4,3
Total	182,8	70,4

Como apresenta a Tabela 1, a redução de demanda de ponta promovida pela Lei 10.295/2001 no ano de 2010 foi na ordem de 70 MW, valor que pode ser considerado reduzido frente à capacidade total instalada no país para a geração de energia elétrica, cerca de 110 GW. A economia de energia alcançada em torno de 182 GWh, daria para abastecer cerca de 120.000 residências no país. Nesse sentido cabe observar que os impactos da Lei 10.295/2001 ainda são pequenos devido ao número limitado de modelos que foram retirados do mercado, inclusive pela entrada em vigor relativamente recente da regulamentação dos níveis mínimos de eficiência pela Lei. Os motores elétricos tiveram maior participação nos impactos energéticos, já que foram os primeiros equipamentos a aderirem à Lei, em 2003, enquanto os refrigeradores aderiram somente no ano de 2008 e condicionadores de ar em 2009.

Considerando agora os equipamentos que utilizam combustíveis, com as informações sobre as vendas anuais, a parcela dessas vendas alterada pelas disposições da Lei de Eficiência Energética (5%, conforme informações da ELETROS para fogões, valor assumido também para os aquecedores) e os parâmetros de desempenho, tem-se as estimativas de economia de energia apresentadas na Tabela 2.

Esses resultados totalizam 9.575 tep, que mesmo considerando serem transformações na margem no mercado, cerca de 0,15% do consumo doméstico de GLP, considerando a dimensão do consumo brasileiro, se avolumam: correspondem a mais de 736 mil botijões de GLP economizados como resultado da Lei de Eficiência Energética, sem alterar as condições de uso, apenas reduzindo as perdas e melhorando o desempenho energético dos equipamentos.

Tabela 2. Energia economizada (acumulada até 2010) devido à Lei de Eficiência Energética para equipamentos que consomem combustíveis

Produto (s)	Modelo(s) representativo(s)	Energia Economizada
Fogões e fornos a gás	Fogão de quatro bocas, com forno, sem acendimento automático.	8.974 tep
Aquecedores de água a gás	Aquecedor do tipo instantâneo de triagem natural, para 5 litros/min.	620p

4.0 - PROJEÇÕES DOS IMPACTOS PARA O ANO DE 2030

Para os produtos regulamentados pela Lei de Eficiência Energética estudados nos tópicos anteriores, a seguir se apresentam as projeções dos impactos dessa lei até 2030. Conforme a modelagem adotada, foram efetuadas projeções do parque de equipamentos consumidores e estimativas de evolução de seu desempenho energético, conforme se detalha a seguir.

Com exceção do parque de motores elétricos, cujos valores históricos mostram boa correlação com o Produto Interno Bruto (EPE, 2009), para os demais equipamentos as projeções do parque consumidor foram realizadas com base na previsão do número de domicílios, eventualmente considerando um incremento de sua penetração no setor residencial, com taxas na ordem de 0,68% a.a.. Nesse sentido, como a presença dos refrigeradores e fogões é quase absoluta nos domicílios brasileiros, não se considerou um aumento de sua penetração, tampouco parece que existem razões fortes para incrementar de forma importante o emprego dos aquecedores a gás ou de lâmpadas nas residências brasileiras. Entretanto, o uso dos condicionadores de ar vem se expandindo, tendo sido assumido que sua presença nos domicílios brasileiros deverá passar de 18% em 2010 para 35% em 2030. Esse nível de penetração ao final do período reflete as expectativas apresentadas na definição dos cenários do Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2009).

Para as projeções dos ganhos de desempenho energético dos equipamentos estudados, em ambas situações consideradas, baseou-se em estudos de projeções do Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2009) e as notas técnicas de estudos de consumo de equipamentos no Brasil e no exterior. Assumiu-se ainda que com o passar dos anos os ganhos de eficiência são cada vez menores, como resultado do processo de “saturação tecnológica”.

Para geladeiras e condicionadores de ar assumiu-se um ganho de desempenho de 8,5% entre 2010 e 2020 e 4,5% entre 2020 e 2030. No caso dos motores elétricos e equipamentos a gás, foi mantida a eficiência assumida nos estudos para 2010. Com base nos valores de consumo utilizados no tópico anterior e essas estimativas de evolução do desempenho, foram efetuadas projeções para as duas situações de mercado (Linha de Base e Regulamentada), para as estimativas dos impactos da Lei de Eficiência Energética.

Com as projeções das vendas de equipamentos e consumos unitários efetuadas em duas situações, foi possível estimar os impactos energéticos para 2030, aplicando a modelagem desenvolvida anteriormente. A Tabela 3 apresenta os resultados prospectivos de economia de energia e redução de demanda de ponta para cada equipamento avaliado.

Tabela 3. Projeção dos impactos energéticos no ano de 2030 para equipamentos que usam energia elétrica

Equipamento	Economia de energia (GWh)	Redução na demanda de ponta (MW)
Refrigeradores de uma porta	356	146
Refrigeradores combinados	28	12
Refrigeradores combinados frost-free	34	14
Condicionador de ar janela (6 a 12 kBTU/h)	337	184
Condicionador de ar janela (12 a 30 kBTU/h)	225	97
Condicionador de ar split (6 a 12 kBTU/h)	234	128
Condicionador de ar split (12 a 30 kBTU/h)	63	27
Motores elétricos de 1 a 10 cv	160	70
Motores elétricos de 10 a 40 cv	341	119
Motores elétricos de 40 a 100 cv	314	92
Motores elétricos de 100 a 250 cv	369	65
Lâmpadas eficientes	11.864	8.300
Total	14.325	9.254

Como se pode observar, os impactos energéticos da Lei de Eficiência Energética deverão ser cada vez mais significativos a médio prazo. Espera-se que em 2030 a economia de energia alcance 14.325 GWh (energia suficiente para abastecer cerca de 6 milhões de residências) e as reduções de demanda de ponta fiquem na ordem de 9.254 MW (cerca de 9% da capacidade instalada, para a geração de energia elétrica, atualmente no Brasil). Esses impactos prospectivos foram fortemente elevados pelo banimento das lâmpadas incandescentes, que efetivamente está em curso e responde por 82% da economia total prevista.

Para os equipamentos que consomem combustíveis, a Tabela 4 apresenta as economias anuais de energia previstas para 2020 e 2030, considerando a progressiva adoção de modelos mais eficientes, em uma proporção de 5% do mercado a cada ano. Como já observado, não foi considerada uma maior penetração de sistemas de aquecimento residenciais a gás, que caso ocorra certamente poderá elevar de forma relevante esses resultados.

Não obstante, é possível que, como consequência da Lei de Eficiência Energética, em 2030 mais de 6,1 milhões de botijões de gás deixem de ser consumidos no Brasil, somando economias na ordem de 79.501 tep.

Tabela 4. Impactos energéticos projetados para 2030, equipamentos regulamentados que consomem combustíveis

Equipamento	Economia (tep)	
	2020	2030
Fogões e fornos a gás	32.545	64.656
Aquecedores de água a gás	7.819	14.845
Total	40.364	79.501

5.0 - CONCLUSÕES

A partir de metodologias para avaliação dos impactos energéticos da Lei 10.295/2001, que consideram premissas como avaliação dos impactos ao longo da vida útil dos equipamentos, interferências da temperatura ambiente e da perda de desempenho dos equipamentos nos impactos energéticos, bem como influência dos hábitos de uso, estimou-se as economias de energia para os equipamentos regulamentados pela lei. Segundo avaliações, constatou-se que, em 2010, geladeiras, condicionadores de ar e motores elétricos geraram economias de energia de 182,8 GWh (energia suficiente para alimentar cerca de 120.000 residências) e redução de demanda de ponta 70 MW (potência menor que 1% da capacidade instalada no país) devido à lei de eficiência energética. Os impactos em fogões e fornos a gás e aquecedores de água a gás foram estimados em 9.594 tep, que corresponde apenas 0,15% do consumo doméstico de GLP do país no ano.

Os impactos da Lei 10.295/2001 ainda são relativamente limitados devido ao reduzido número de modelos que foram retirados do mercado, de todos equipamentos avaliados, desde sua regulamentação nos termos da Lei.

Segundo estimativas em 2030 a economia de energia alcançada chegará a 14.325 GWh (energia suficiente para abastecer cerca de 6 milhões de residências) e as reduções de demanda de ponta na ordem de 9.254 MW (cerca de 10% da atual capacidade instalada para a geração de energia elétrica no Brasil). De forma análoga, as projeções de economia de combustíveis em fogões e aquecedores se elevam de forma importante na medida em que o parque de equipamentos mais eficientes vai progressivamente se expandindo no mercado, alcançando mais de 79 mil tep em 2030.

De um modo geral, os resultados apresentados mostram que a Lei de Eficiência Energética vem cumprindo e pode cumprir de modo ainda mais significativo seu propósito de reduzir de forma inteligente as perdas de energia no Brasil. Assim, é interessante que sejam cada vez mais divulgadas junto aos consumidores informações sobre as medidas de regulamentação no arcabouço dessa lei, bem como reforçar a base de equipamentos regulamentados e permanentemente revisar os níveis de desempenho colocados para o mercado. Em um país em desenvolvimento como o Brasil esse último aspecto deve ser atendido buscando resultados energéticos, bem como atender a objetivos de política industrial, redução dos impactos ambientais, metas sociais, enfim, inserindo efetivamente a eficiência energética no desenvolvimento sustentável do país.

6.0 - REFERÊNCIAS

- 1.ABINEE, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, "Histórico de vendas de motores elétricos", 2010.
- 2.ABRAVA, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, "Vendas de Condicionadores de ar e freezers e refrigeradores", 2010.
- 3.BORTONI, E. C.; Haddad, J.; Santos, A. H. M.; Azevedo, E. M.; Yamachita, R. A., "Analysis of Repairs on Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors Performance", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 22, nº. 2, June 2007.
- 4.CARDOSO, R.B., NOGUEIRA, L.A.H; "Estimativa do consumo de energia elétrica de refrigeradores nas residências brasileiras", Revista Brasileira de Energia, v. 13 (2), p.55-67, 2007.
- 5.CARDOSO, R.B., NOGUEIRA, L.A.H, HADDAD, J., SOUZA, E.P., "An assessment of energy benefits of efficient household air-conditioners in Brazil", Energy Efficiency, v.5, p.433-446, 2012.
- 6.EPE (2011), Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos dez anos (2011 – 2020), Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2011.
7. EPE (2009), Plano Nacional de Energia, Ministério de Minas e Energia, 2009.

- 8.PNAD/IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra a Domicílio / Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, "Distribuição por região de freezers e refrigeradores no Brasil", 2010.
- 9.PPE/COPPE/UFRJ, "Avaliação dos Índices de Eficiência Energética para Motores Trifásicos de Indução", Coordenador: Roberto Shaeffer, Rio de Janeiro, 2005.
- 10.PROCEL, "Relatório de Avaliação de Resultados do Programa Selo PROCEL de Economia de Energia, Ano base 2009", DPS/DPST, 2010.
- 11.RISE, S.; "The Danish High Efficiency Motor Campaign 1996-1998. in: ALMEIDA, A.; BERTOLDI, P.; LONHARD, W. (eds)"; Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives. Alemanha. Springer, 551 p. p 452- 463, 1997.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Autor: Rafael Balbino Cardoso
Data de Nascimento: 29/09/1982
Naturalidade: Maria da Fé-MG, Brasil
Residência: Itabira-MG, Brasil
Profissão: Professor de ensino superior da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio financeiro que possibilitou a apresentação desse artigo no XXIII SNPTE.