

Série
ESTUDOS DE DEMANDA

NOTA TÉCNICA DEA 16/12
Avaliação da
Eficiência Energética
para os próximos 10 anos (2012-2021)

Rio de Janeiro
Dezembro 2012



Ministério de
Minas e Energia



(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - “*double sided*”)



Governo Federal

Ministério de Minas e Energia

Ministro

Edison Lobão

Secretário Executivo

Márcio Pereira Zimmermann

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético

Altino Ventura Filho



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Mauricio Tiomno Tolmasquim

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Amílcar Guerreiro

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

José Carlos de Miranda Farias

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Elson Ronaldo Nunes

Diretor de Gestão Corporativa

Alvaro Henrique Matias Pereira

Série ESTUDOS DE DEMANDA

NOTA TÉCNICA DEA 16/12

Avaliação da

Eficiência Energética

para os próximos 10 anos (2012-2021)

Coordenação Geral

Mauricio Tiomno Tolmasquim

Amílcar Guerreiro

Coordenação Executiva

Ricardo Gorini de Oliveira

Coordenação Técnica

Jeferson Soares

Equipe Técnica

Ana Cristina B. Maia

Arnaldo dos Santos Junior

Flávio Alberto F. Rosa

Jose Manuel David

Luiz Gustavo de Oliveira

Monique Riscado

Natalia G. de Moraes

Revisão de texto

Adriana Fiorotti Campos

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede

SCN – Quadra 1 – Bloco C Nº 85 – Salas 1712/1714

Edifício Brasília Trade Center

70711-902- Brasília – DF

Escritório Central

Av. Rio Branco, n.º 01 – 11º Andar

20090-003 - Rio de Janeiro – RJ

Rio de Janeiro
Dezembro de 2012

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - "*double sided*")

APRESENTAÇÃO

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é empresa pública instituída nos termos da Lei n° 10.847, de 15 de março de 2004, e do Decreto n° 5.184, de 16 de agosto de 2004, vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

O presente texto insere-se na série “Estudos de Energia”, que compila notas técnicas produzidas pela Diretoria de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais da EPE, contemplando a análise de diversos temas ligados ao mercado de energia, com foco nas análises de demanda, recursos energéticos, economia da energia, evolução tecnológica e outros temas. Os documentos vinculados a esta série, que não têm obrigatoriamente periodicidade regular, estão disponíveis no endereço eletrônico <http://www.epe.gov.br/Estudos>.

Entre os “Estudos de Energia”, destacam-se os estudos sobre a demanda de energia que subsidiam a elaboração do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e do Plano Nacional de Energia de Longo Prazo (PNE). Tais estudos são importantes na avaliação das estratégias de expansão da oferta de energia no médio e no longo prazos.

A eficiência no uso da energia é um importante vetor no atendimento da demanda, contribuindo para a segurança energética, para a modicidade tarifária, para a competitividade da economia e para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Nesse sentido, cabe destacar que as projeções da demanda de energia elaboradas pela EPE contemplam uma parcela expressiva relativa aos ganhos de eficiência, sendo incorporados aos resultados finais das previsões de demanda.

Esta nota técnica visa, especificamente, apresentar a projeção dos ganhos de eficiência energética considerados nas projeções da demanda de energia elaboradas pela EPE para um horizonte de dez anos (2012-2021).

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - “*double sided*”)

Série
ESTUDOS DE DEMANDANOTA TÉCNICA DEA 16/12
Avaliação da
Eficiência Energética
*para os próximos 10 anos (2012-2021)***SUMÁRIO**

APRESENTAÇÃO	I
1 INTRODUÇÃO	1
2 CONSIDERAÇÕES GERAIS	4
2.1 DEFINIÇÕES UTILIZADAS	4
2.2 INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	6
2.3 ENERGIA ÚTIL	8
2.4 PROGRESSOS TENDENCIAL E INDUZIDO	9
3 POTENCIAIS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	10
3.1 DEFINIÇÕES GERAIS	10
3.2 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA SEGUNDO O BEU	11
3.3 OUTROS ESTUDOS	13
4 INDICADORES AGREGADOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	17
5 SETOR RESIDENCIAL	21
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	21
5.2 TAXA DE ATENDIMENTO DO SERVIÇO DE ELETRICIDADE	22
5.3 POSSE DE EQUIPAMENTOS ELETRODOMÉSTICOS	23
5.4 CONSUMO ESPECÍFICO DE EQUIPAMENTOS ELETRODOMÉSTICOS	24
5.5 CALOR DE PROCESSO (AQUECIMENTO DE ÁGUA)	30
5.6 AQUECIMENTO DIRETO (COZINHA)	33
5.7 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO DE ENERGIA ELÉTRICA	35
5.8 RESULTADOS GLOBAIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR RESIDENCIAL	37

6	SETOR INDUSTRIAL	39
6.1	PARÂMETROS BÁSICOS	39
6.2	ENERGIA ELÉTRICA	42
6.3	COMBUSTÍVEIS	43
6.4	RESULTADOS GLOBAIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR INDUSTRIAL	43
7	SETOR DE TRANSPORTES	45
7.1	EFICIÊNCIA NO TRANSPORTE	48
7.2	RESULTADOS GLOBAIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR DE TRANSPORTES	51
8	DEMAIS SETORES DE CONSUMO FINAL	52
8.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	52
8.2	SETOR AGROPECUÁRIO	52
8.3	SETOR COMERCIAL	52
9	RESULTADOS CONSOLIDADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
10	REFERÊNCIAS	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Aspectos considerados em cada setor de consumo final, para fins de contabilização dos ganhos de eficiência energética no PDE 2021.	6
Tabela 2. Indicadores energéticos	7
Tabela 3. Indicadores de eficiência energética utilizados no PDE 2021	8
Tabela 4. Potencial de conservação de energia - BEU (10^3 tep/ano) - ano base de 2011	12
Tabela 5. Potenciais de conservação de energia elétrica	14
Tabela 6. Potencial de conservação de eletricidade em setores industriais selecionados	15
Tabela 7. Potencial de conservação em combustíveis em setores industriais selecionados (CNI)	16
Tabela 8. Indicadores energéticos globais de países selecionados (2010)	19
Tabela 9. Consumo final energético no setor residencial brasileiro em 2011	21
Tabela 10. Vida útil e posse média de equipamentos elétricos	24
Tabela 11. Aumento anual de eficiência dos equipamentos	25
Tabela 12. Evolução do consumo unitário de eletricidade do estoque de equipamentos nos domicílios	26
Tabela 13. Ganho de eficiência estimado em equipamentos eletrodomésticos (ano base 2011)	27
Tabela 14. Cronograma de níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes - 127 V, para fabricação e importação no Brasil	28
Tabela 15. Cronograma de níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas fluorescentes compactas - 220 V, para fabricação e importação no Brasil	28
Tabela 16. Consumo de energia elétrica no setor residencial - GWh	30
Tabela 17. Aquecimento de água no setor residencial	33
Tabela 18. Distribuição da cocção no setor residencial	34
Tabela 19. Eficiência energética no setor residencial 2021/2011. Energia elétrica	35
Tabela 20. Consumo total energético do setor residencial	37
Tabela 21- Setor residencial: consumo de eletricidade e eficiência energética (GWh)	38
Tabela 22. Consumo final energético no setor industrial brasileiro em 2011	39
Tabela 23 - Grandes consumidores industriais: consumo específico de eletricidade ¹ (kWh por tonelada produzida)	42
Tabela 24 - Setor industrial: consumo de eletricidade e eficiência energética	44
Tabela 25 - Setor industrial: consumo de energia e eficiência energética	44
Tabela 26 - Setor de transportes: consumo de energia e eficiência energética (10^3 tep)	51
Tabela 27. Brasil: Consumo de energia e eficiência energética (10^3 tep)	54

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Representação estilizada das estimativas de ganhos de eficiência energética apresentados nesta nota técnica.	4
Gráfico 2 - Evolução da intensidade energética e elétrica da economia	17
Gráfico 3 - Consumo de energia per capita (tep/hab)	18
Gráfico 4 - Consumo de eletricidade per capita (kWh/hab)	18
Gráfico 5 - Intensidade Energética de países selecionados	20
Gráfico 6. Brasil: Projeção de evolução do percentual de domicílios com energia elétrica	23
Gráfico 7. Ganho de eficiência de equipamentos eletrodomésticos em 2021	29
Gráfico 8. Distribuição de energéticos para aquecimento de água - valores percentuais (2011-2021)	31
Gráfico 9. Distribuição de energéticos para aquecimento de água - valores absolutos em mil unidades (2011-2021)	31
Gráfico 10. Efeito líquido no aumento do consumo (aumento de posse + aumento de potência - conservação) - 2021/2011	36
Gráfico 11. Consumo específico de energia em setores industriais selecionados (tep/10 ³ t)	41
Gráfico 12. Intensidade elétrica e energética na indústria	41
Gráfico 13 - Consumo energético por modal	48
Gráfico 14 - Matriz de transportes: atual e projeção	49
Gráfico 15 - Projeção para o setor de transporte, segmento de passageiro (milhões de tep)	50
Gráfico 16 - Projeção para o setor de transporte, segmento de cargas (milhões de tep)	50
Gráfico 17 - Projeção para o setor de transporte total - cargas e passageiro (milhões de tep)	51
Gráfico 18 - Projeção do consumo energético por setor, considerando o consumo evitado pela conservação de energia (milhões de tep)	54
Gráfico 19 - Emissões de CO ₂ -eq evitadas devido à eficiência energética (MtCO ₂)	55

1 INTRODUÇÃO

A eficiência no uso da energia entrou na agenda mundial a partir dos choques no preço do petróleo dos anos 1970, quando ficou claro que o uso das reservas de recursos fósseis teria custos crescentes, seja do ponto de vista econômico, seja do ponto de vista ambiental. Logo se reconheceu que um mesmo serviço poderia ser obtido com menor gasto de energia e, conseqüentemente com menores impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais. Equipamentos e hábitos de consumo passaram a ser analisados em termos da conservação da energia tendo sido demonstrado que, de fato, muitas iniciativas que resultam em maior eficiência energética são economicamente viáveis, ou seja, o custo de sua implantação é menor do que o custo de produzir ou adquirir a energia cujo consumo é evitado.

Mais recentemente, a busca pela eficiência energética ganhou nova motivação. Em adição à perspectiva de custos mais elevados da energia de origem fóssil, a preocupação com a questão das mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global do planeta, aquecimento este atribuído, em grande medida, à produção e ao consumo de energia, trouxe argumentos novos e definitivos que justificam destacar a eficiência energética quando se analisa em perspectiva a oferta e o consumo de energia. Essa preocupação se justifica mesmo em um país como o Brasil, em que o custo de produção de energia é, de uma forma geral, economicamente competitivo e que apresenta uma matriz energética em que quase metade está associada a energias renováveis.

No Brasil, diversas iniciativas sistematizadas vêm sendo empreendidas há mais de 20 anos. Destacam-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), cuja coordenação executiva está a cargo da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS), e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), cuja coordenação executiva é de responsabilidade da Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), o Programa de apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), cuja coordenação executiva pertence ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O PBE é vinculado ao ministério do Desenvolvimento, da Indústria e do Comércio Exterior (MDIC). O PROCEL e o CONPET são vinculados o Ministério de Minas e Energia (MME).

Além destes, a Lei nº 10.295/2001 determina a instituição 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” e o Decreto nº 4.059/2001 regulamenta a mesma. Neste âmbito, mais recentemente, foi instituída a política de banimento

gradativo das lâmpadas incandescentes por faixa de potência através da Portaria Interministerial MME/MCTI e MDIC, nº 1.007/2010.

Cabe destacar que, sob a perspectiva de um horizonte de longo prazo, a energia conservada devido a ações de eficiência energética tem papel importante no atendimento à demanda futura de energia pela sociedade brasileira. O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) além de explicitar o papel da eficiência energética no planejamento energético nacional - destacando a sua importância - também apresenta pela primeira vez, em nível governamental e de forma integrada, a indicação de metas de eficiência energética no longo prazo para o país. Como elemento provocador da discussão estratégica nessa área, o PNE 2030 também destaca a necessidade de se estabelecer um sistema integrado de informação sobre eficiência energética no Brasil, além da elaboração de novos estudos sobre o tema, em suas mais diversas esferas, governamental, agentes privados, academia e sociedade em geral.

Exatamente com essa diretriz, os estudos da demanda de energia desenvolvidos pela EPE consideram e explicitam obrigatoriamente a contribuição quantitativa da eficiência energética na redução da demanda energética que deve ser atendida pela expansão da oferta de energia em qualquer horizonte, seja ele de médio ou longo prazos.

Levando-se em conta estimativas realizadas a partir do BEU, identifica-se que a grande parcela do potencial técnico de eficiência energética no Brasil encontra-se nos setores residencial, industrial e de transportes, que representaram juntos mais de 80% do consumo final energético do país em 2011. Partindo desse fato, esses setores são naturalmente elegíveis para uma abordagem mais detalhada da eficiência energética implícita na projeção da demanda de energia para o horizonte dos próximos 10 anos.

A título de ilustração, considerando-se os coeficientes técnicos publicados no Balanço de Energia Útil (BEU), é possível estimar considerando as tecnologias disponíveis no mercado a existência de um potencial técnico de eficiência energética de aproximadamente 8%. Embora este número não contemple análises de custo-benefício da implantação de medidas de eficiência energética, por si exibe a contribuição que estas medidas podem aportar, reduzindo/postergando a necessidade de expansão da oferta de energia. Isto significa evitar a construção de determinadas unidades de geração elétrica, expansão da produção de combustíveis (de origem mineral ou renovável), menor grau de solicitação de serviços de recursos naturais (redução de consumo de água, de uso de solo etc.). Ou seja, a eficiência energética tem papel relevante no aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, de forma geral.

O objetivo desta nota técnica é apresentar a estimativa dos ganhos de eficiência energética no consumo final de energia para o horizonte até 2021, explicitando a contribuição setorial para a redução de demanda de energia neste horizonte. Com esta finalidade, esta nota se inicia com a apresentação de algumas definições utilizadas ao longo do texto, etapa necessária para explicitar ao leitor o significado dos números aqui apresentados. Após essa definição inicial,

apresentam-se o contexto de potencial de eficiência energética onde se inserem as estimativas apresentadas, estabelecendo os limites desta estimativa. Na sequência, são apresentadas as estimativas de evolução de indicadores de eficiência energética global e setorial, explicitando-se as premissas do estudo em cada caso. Finalmente, é apresentada a consolidação destes resultados e considerações finais sobre as perspectivas estimadas de ganhos de eficiência energética no PDE 2021.

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

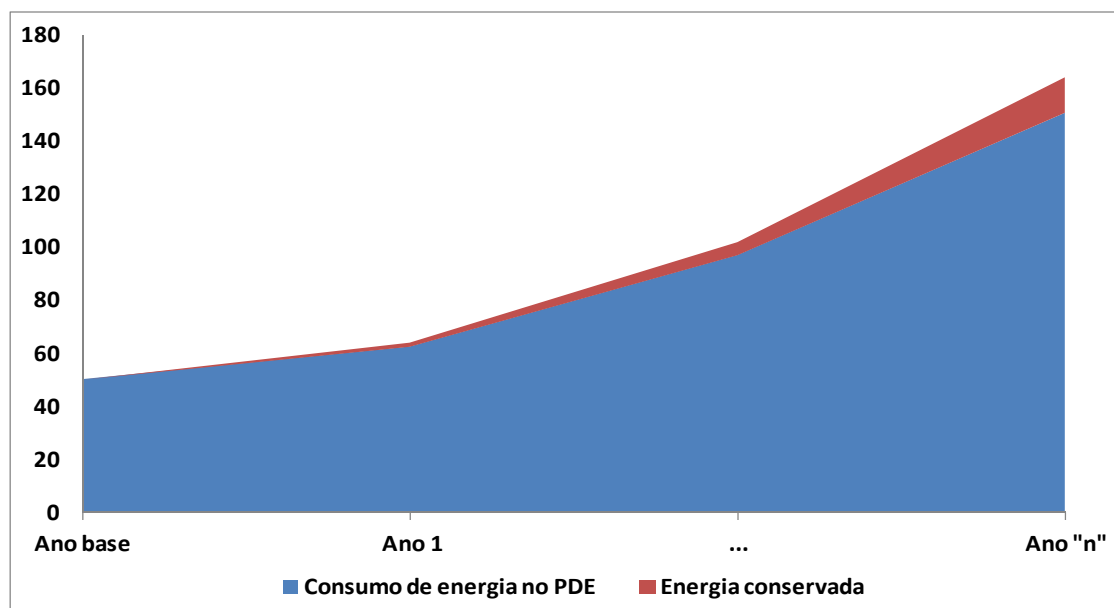
2.1 Definições utilizadas

Para a adequada compreensão do significado dos ganhos de eficiência energética apresentados nesta nota técnica, faz-se necessário definir alguns conceitos utilizados ao longo desse texto.

A primeira definição se refere às expressões “energia conservada” e “conservação de energia”, que são utilizadas como sinônimo de consumo de energia evitado em decorrência da adoção de mudanças de padrão tecnológico no uso de energia, de estrutura do sistema consumidor ou de alterações de padrões/hábitos de consumo. Esta ressalva é importante, dado que estas expressões têm significados bastante precisos no âmbito da lei de conservação de quantidades, que engloba massa, energia e movimento, de modo que não haja confusão na interpretação destas expressões no âmbito desta nota técnica.

Outra definição importante é que os ganhos de eficiência energética apresentados correspondem à diferença observada entre a projeção do consumo final de energia - que incorpora esses ganhos de eficiência - e a projeção desse consumo na hipótese de serem mantidos os padrões tecnológicos e de uso da energia observados para o ano base. Esta abordagem é ilustrada no Gráfico 1. Ou seja, as projeções de demanda de energia apresentadas no PDE já consideram os ganhos de eficiência energética em cada setor de consumo.

Gráfico 1. Representação estilizada das estimativas de ganhos de eficiência energética apresentados nesta nota técnica.



Fonte: elaboração EPE

Outra consideração importante refere-se à forma de apuração dos ganhos de eficiência energética estimados no período, que se dá através da avaliação de evolução de indicadores de consumo específico de energia por unidade de produto. Esta unidade de produto normalmente considera um indicador físico, como por exemplo, por tonelada de produção (caso da indústria) ou por tonelada-quilômetro (“momento” de transporte, no caso deste setor). Esta abordagem é importante porquanto:

- Permite avaliar a evolução dos ganhos de eficiência energética considerando o mesmo nível de atividade de um determinado setor, ou seja, o mesmo volume de saídas (produção física de bens industriais, prestação de serviços e conforto) - sendo variável apenas a quantidade de energia necessária à sua produção ou realização. Esta abordagem possibilita depurar o efeito da atividade econômica sobre o consumo de energia, evitando que ganhos de eficiência sejam inadequadamente apropriados a ações de eficiência energética, quando, na verdade, a redução pode ter se dado devido, por exemplo, à retração da atividade econômica.
- Ainda que seja considerado o mesmo nível de atividade nesta análise, é importante separar o efeito de alterações estruturais que impactem esses indicadores cuja relação direta com ações de efficientização não seja tão evidente. Um exemplo conveniente inclui as refinarias de petróleo que apresentam contínuo aumento de indicadores globais de consumo de energia por barril de petróleo processado, em função do aumento do grau de complexidade média do parque brasileiro de refino, mas que ainda assim apuram ganhos de eficiência energética. Nesse caso, a análise dos ganhos de eficiência energética deve considerar indicadores de natureza *bottom up*;
- Nesta abordagem, não foram consideradas mudanças de hábitos/padrão de consumo ou regime de operação de equipamentos.

Ademais, outra consideração importante é que efeitos sistêmicos advindos de alterações na estrutura de cada setor não foram contabilizados nos ganhos de eficiência energética estimados no PDE 2021, excetuando-se o caso do setor de transportes de carga, em que o impacto do Plano Nacional de Logística de Transporte (PNLT) foi incorporado à estimativa destes ganhos de eficiência energética. Cumpre destacar também que o recentemente publicado Plano Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) não teve o impacto quantificado nos ganhos de eficiência energética, uma vez que as ações específicas neste campo, da qual dependem as estimativas desses impactos, serão mais bem detalhadas futuramente pelos órgãos e instituições com competência e delegação formal para essa atividade. A Tabela 1 sumariza os aspectos considerados em cada setor nesta nota técnica.

Tabela 1. Aspectos considerados em cada setor de consumo final, para fins de contabilização dos ganhos de eficiência energética no PDE 2021.

Setor	Aspectos		
	Tecnológicos	Padrões de uso/hábito	Sistêmicos
Indústria/Energético	×	-	-
Transportes	×	-	×
Residencial	×	-	-
Agropecuária	×	-	-
Comércio/Serviços	×	-	-
Público	×	-	-

Fonte: elaboração EPE

A seguir, serão abordados os demais conceitos utilizados nesta nota técnica.

2.2 Indicadores de eficiência energética

O uso de indicadores de eficiência energética permite (ODYSSEE, 2011): (i) monitorar o progresso da eficiência energética na economia e em setores específicos; (ii) avaliar o impacto de políticas e programas voltados para eficiência energética, inclusive justificando a manutenção ou a interrupção de determinadas ações; (iii) planejar ações futuras, incluindo programas de P&D; (iv) alimentar parâmetros de modelagem de modo a melhorar a qualidade de projeções de demanda de energia; (v) possibilitar comparações internacionais entre setores e entre países.

Outros autores definem que os indicadores energéticos descrevem as relações entre o uso de energia e a atividade econômica de forma desagregada, representando medições do consumo de energia, permitindo identificar os fatores que o afetam (SCHIPPER *et al.*, 2001). Tolmasquim *et al.* (1998) destacam, ainda, que os indicadores globais prestam-se a avaliar a eficiência energética de um país como um todo, possibilitando a comparação com outros países e o acompanhamento da evolução da eficiência ao longo do tempo. Patterson (1996), por sua vez, destaca o entendimento de “eficiência energética” como um processo associado a um menor uso de energia por cada unidade de produção, o que torna a avaliação de indicadores de eficiência energética uma atividade fundamental.

Em todas essas definições, o ponto comum é o uso destes indicadores como uma ferramenta útil de avaliação do progresso da eficiência energética como um todo ou em setores específicos. Cabe ressaltar, contudo, que essa avaliação deve vir necessariamente acompanhada da análise

das especificidades setoriais aplicáveis - a simples queda ou aumento de um indicador não necessariamente significa melhoria ou perda de eficiência energética, além da correta separação de outros efeitos que podem interferir na evolução de um indicador: como por exemplo, parte da escolha de um equipamento eficiente pode ser atribuída a outros fatores que não necessariamente à incidência de uma determinada política voltada para eficiência energética. É necessário, assim, conjugar-se o monitoramento de indicadores com outras ferramentas de análise, de modo a avaliar corretamente o impacto de uma determinada ação incentivada para eficiência energética.

A seleção de indicadores a serem utilizados para avaliar o progresso da eficiência energética nas projeções decenais é uma atividade importante, devendo a seleção ser convergente com este objetivo. A partir disso, procedeu-se à avaliação do conjunto de indicadores que poderiam ser utilizados com este objetivo e, a partir da lista de indicadores propostos pela *International Atomic Energy Agency* (IAEA, 2005), selecionaram-se como mais relevantes aqueles apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Indicadores energéticos

Tema	Indicador	Componentes
Uso total	Uso de energia por habitante	Uso de energia (oferta total, consumo final total) População total
Produtividade total	Uso de energia por unidade de produto interno bruto	Uso de energia (oferta total, consumo final total) Produto interno bruto
Eficiência do suprimento	Eficiência na conversão e distribuição	Perdas nos centros de transformação Perdas nos sistemas de transmissão e distribuição
Uso final	Intensidade energética - setor industrial	Uso de energia por setor industrial Valor adicionado da indústria
	Intensidade energética - setor agropecuário	Uso de energia no setor agropecuário Valor adicionado da agropecuária
	Intensidade energética - setor serviços	Uso de energia no setor de serviços Valor adicionado para o setor serviços
	Intensidade energética - setor residencial	Uso de energia no setor residencial e para os principais usos finais
	Intensidade energética - setor transportes	Uso de energia para transporte de cargas e passageiros e por modal Passageiro-km e tonelada-km por modal

Fonte: IAEA (2005)

A partir dessa seleção, o conjunto de indicadores globais aplicado à avaliação dos ganhos de eficiência energética no PDE 2021 é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Indicadores de eficiência energética utilizados no PDE 2021

Indicador	Expressão	Unidade (*)
<i>Consumo final per capita</i>	Consumo final de eletricidade por habitante	kWh/hab
<i>Consumo final por domicílio</i>	Consumo final de eletricidade por domicílio	kWh/dom
<i>Intensidade energética</i>	Consumo final de energia por unidade de valor adicionado	MWh/R\$ tep/R\$
<i>Consumo específico</i>	Consumo final de energia por unidade física de produto	MWh/t tep/t

Nota: (*) Em função dos valores expressos, as unidades poderão ser revistas para múltiplos ou submúltiplos das indicadas.

Fonte: elaboração EPE

2.3 Energia útil

Outro conceito utilizado é o de energia útil. Conforme Marques *et al.* (2006), energia útil “significa a forma energética última, efetivamente demandada pelo usuário, devendo ser algum fluxo energético simples, como calor de alta e baixa temperatura, iluminação e potência mecânica”.

A estimativa dos valores de energia útil no Brasil é apresentada no Balanço de Energia Útil (BEU), publicado em intervalos de 10 anos, e cuja edição mais recente tem como ano base 2004 (MME/FDTE, 2005). De acordo com esse documento, a energia útil é a parcela da energia final efetivamente utilizada em um dado uso, ou seja, a energia final menos as perdas. Expresso de outra forma corresponderia ao produto da energia final por um rendimento energético.

Com relação ao conceito de rendimento energético, o adotado na formulação do BEU “se refere apenas à primeira transformação de energia do processo produtivo”, tratando-se de uma simplificação e reduzindo o potencial de economia calculado por não considerar perdas (e consequentes oportunidades de aumento da eficiência) para todo o sistema energético: as perdas reais serão sempre maiores do que as estimadas.

O BEU apresenta, para efeitos de análise do potencial de economia de energia, dois valores para os rendimentos energéticos:

- Rendimento “real” ou “efetivo”, associado às instalações em atividade no Brasil;

- Rendimento de referência, que corresponde a um valor (máximo) disponível no mercado para determinada tecnologia¹.

O potencial de conservação de energia calculado a partir dos parâmetros apresentados no BEU se aproxima, portanto, do potencial técnico conforme descrito em EPRI (2009) - economias resultantes da adoção das tecnologias mais eficientes disponíveis, sem levar em conta a viabilidade econômica destas tecnologias.

2.4 Progressos tendencial e induzido

Os ganhos de eficiência energética estimados no PDE 2021 compõem-se, basicamente, de duas parcelas, com contribuições distintas no horizonte decenal.

A primeira delas denomina-se **progresso tendencial**, e corresponde ao movimento tendencial do consumidor final de energia, que inclui contribuições tais como a reposição tecnológica natural devido ao término da vida útil de equipamentos, os efeitos de políticas, programas e ações de conservação já em prática no país. Pode-se dizer que corresponde a uma trajetória do tipo *business-as-usual*.

A segunda parcela de contribuição denomina-se **progresso induzido**, necessitando da instituição de programas e ações adicionais orientados para o incentivo à eficiência energética, sejam de caráter transversal, sejam voltados para setores específicos. Essa parcela relaciona-se, fundamentalmente, à ação de políticas públicas neste campo, que se encontra em estágio de estudos para implantação no horizonte decenal, por exemplo.

Assim, nesta Nota Técnica, os montantes de conservação indicados são decorrentes do efeito combinado dos progressos tendencial e induzido, ainda que com forte predominância do progresso tendencial, no qual o impacto de novos programas e políticas foi considerado limitado, dado o horizonte do período de análise de dez anos, em que ações demandam certo tempo de maturação para surtir efeitos mensuráveis relevantes.

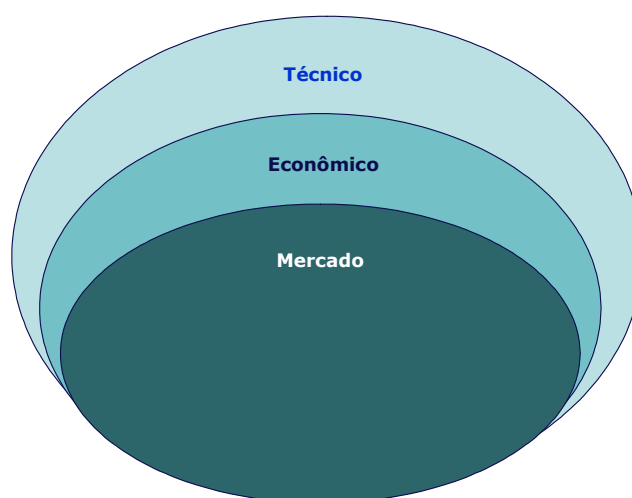
¹ Como indicado no BEU, “os rendimentos de referência não devem ser considerados como o estado da arte disponível na literatura técnica, mas como o estado da arte disponível entre os equipamentos comercializados normalmente”.

3 POTENCIAIS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

3.1 Definições gerais

Em estudos de potencial de conservação de energia, é possível vislumbrar-três cenários de introdução de medidas de eficiência energética (MEE), representados na Figura 1.

Figura 1. Representação da abrangência de potenciais de conservação de energia



Fonte: elaboração EPE

O potencial técnico visa estabelecer um limite de penetração das medidas, dado pela substituição de todos os usos da energia considerados por equivalentes com a tecnologia mais eficiente disponível. Este potencial não considera custos ou qualquer outro impedimento de absorção da tecnologia, sendo, portanto, menos um cenário e mais um valor limite para balizamento dos outros estudos.

O potencial econômico, por sua vez, corresponde a um sub-conjunto do potencial técnico, onde são consideradas apenas as medidas que apresentam viabilidade econômica para implementação. No entanto, a viabilidade econômica depende da ótica de quem a analisa - neste cenário, procura-se comparar as MEE com as alternativas de expansão do sistema elétrico, adotando-se, portanto, as variáveis que norteiam essa expansão, em especial a taxa de desconto e o custo marginal de expansão: busca-se verificar até que ponto seria interessante investir em evitar o uso da energia antes de expandir o sistema.

No potencial de mercado, ao contrário, procura-se analisar as medidas que seriam introduzidas “por si mesmas”, ou seja, aquelas cuja adoção traria redução de custos ao usuário, analisadas, portanto, pela sua ótica, em particular a taxa de desconto praticada e a tarifa de eletricidade a

que está submetido. Mesmo neste cenário, outras barreiras poderão impedir a sua total penetração - é para sua minimização que devem existir as políticas públicas adequadas. Outro aspecto que é levado em consideração na análise deste potencial de mercado inclui a identificação de barreiras que dificultem a adoção das MEE no consumidor final.

Deve-se notar que todos os três conceitos de potencial de conservação de energia evoluem continuamente ao longo do tempo: novas tecnologias ampliam o cenário técnico, enquanto o seu desenvolvimento e economias de escala provocadas por maiores penetrações no mercado diminuem o seu custo, ampliando os cenários econômico e de mercado. Por outro lado, a penetração de uma MEE se dá através de uma “curva de aprendizado”, com parâmetros dependentes de diversas variáveis, inclusive das políticas de incentivo.

Importante destacar que os ganhos de eficiência energética apresentados nesta Nota Técnica aproximam-se do conceito de potencial de mercado, uma vez que tanto a parcela tendencial dessa contribuição quando a induzida implicitamente consideram a premissa de implementação da MEE na ótica do consumidor final.

3.2 Potencial de conservação de energia segundo o BEU

O Balanço de Energia Útil (MME/FDTE, 2005) disponibiliza uma ferramenta que permite o cálculo de potenciais de conservação de energia a partir de coeficientes técnicos, comparando a eficiência verificada nos processos energéticos com valores referenciais que corresponderiam, conforme já assinalado, às melhores tecnologias disponíveis comercialmente.

Utilizando-se os valores apurados no Balanço Energético Nacional (BEN) para o ano base 2011 (EPE, 2012) e os parâmetros técnicos do BEU, válidos para 2004, pode-se calcular o potencial de conservação para todas as formas de energia. Os valores assim obtidos são indicados na Tabela 4.

Tabela 4. Potencial de conservação de energia - BEU (10^3 tep/ano) - ano base de 2011

Uso final	Setor					Total
	Residencial	Comercial ¹	Transporte	Industrial ²	Agropecuário	
Força motriz	27,8	40,8	6.598,9	1.217,6	283,98	8.169,1
Calor de processo	53,5	13,8	0	2.607,87	51,9	2.726,9
Aquec. direto	1.803,90	62,7	0	3.099,9	119,3	5.085,8
Refrigeração	440,2	211,4	0	103,1	24,6	779,3
Iluminação	1.101,8	652,6	0	117,6	32,6	1.904,5
Eletroquímica	0	0	0	236,7	0	236,7
TOTAL	3.427,2	981,2	6.598,9	7.382,8	512,3	18.902,3

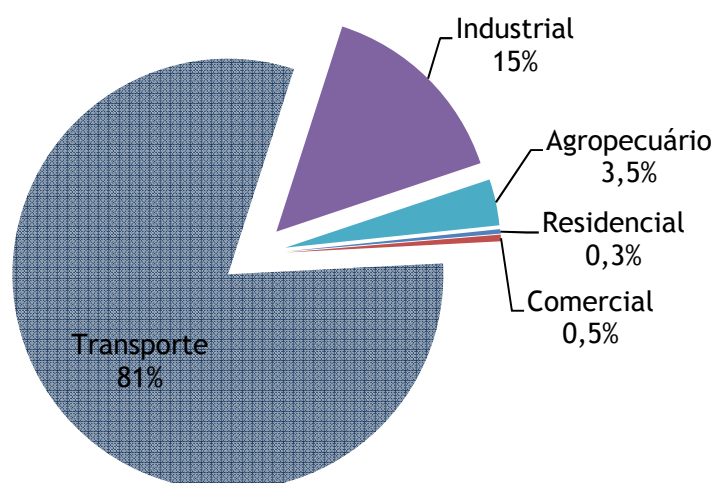
Notas: ¹ Inclui setor público.

² Inclui o setor energético.

Fonte: elaboração EPE

Por estar na força motriz o maior percentual de conservação de energia (43%) do uso final, a Figura 2 mostra quais são os setores mais representativos para serem priorizados nas ações de eficiência energética.

Figura 2. Potencial de conservação de energia pela força motriz nos setores. Ano base 2011.



Fonte: elaboração EPE

Em termos totais de quantidade de energia conservada, o maior potencial encontra-se no setor industrial, embora também mereçam destaque os valores calculados para os setores de transporte e residencial. Em termos proporcionais, o setor residencial é o que apresenta maior potencial uma vez que o valor de 3,4 milhões de tep representou 14,6% do total da energia

consumida nesse setor em 2011. Nesses termos, as residências são seguidas pelo setor de transportes (10%). Em média, o potencial de conservação seria de 8,3% do consumo final energético de todos os setores.

Visto de outra forma, o potencial de conservação de energia no setor residencial, por exemplo, em que a forma de energia predominante é a energia elétrica, equivaleria a uma usina hidrelétrica de mais de 8.000 MW de potência instalada. No setor de transportes, em que os principais energéticos consumidos são óleo diesel, gasolina e etanol, o potencial de conservação calculado equivaleria a cerca de 147 mil barris por dia, ou seja, 7% da produção nacional de petróleo em 2011.

3.3 Outros estudos

3.3.1 Energia elétrica

Diversos estudos se referem ao potencial de conservação de energia elétrica, distribuindo esse potencial segundo setores de consumo e muitas vezes classificando conforme a natureza, se potencial técnico, econômico ou de mercado. Na Tabela 5 é apresentada uma compilação das estimativas de potencial de conservação de energia elétrica elaborada com base na revisão bibliográfica realizada para o PNE 2030 (EPE, 2007).

Tabela 5. Potenciais de conservação de energia elétrica

Autor	Setor / Segmento	Potencial (%)	Observações
Schaeffer <i>et al</i> (1998) ¹		28	Potencial técnico
	Residencial	14	Potencial econômico
		12	Potencial de mercado
		26	Potencial técnico
	Hotéis (4-5 estrelas)	25	Potencial econômico
		18	Potencial de mercado
		58	Potencial técnico
	Shopping Centers	57	Potencial econômico
		37	Potencial de mercado
		38	Potencial técnico/econômico
	Industrial - Cimento	21	Potencial de mercado
51		Potencial técnico	
Industrial - Ferro Gusa e Aço	36	Potencial de mercado	
	Iluminação Pública	14	-
Leonelli (2006)	Saneamento	20	-
	Brasil	7	-
IAEA (2006)	Brasil	20 - 30	-
WWF (2006)	Brasil	25	-
MME/SPE (2006)	Edificações	10	-
	Iluminação Pública	51	-
	Saneamento	9	-

Nota:¹ Os potenciais apresentados de conservação de energia elétrica são para o ano de 2020.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) desenvolveu extensa pesquisa do mercado de eficiência energética no Brasil (ELETROBRAS, 2009). Para o ano de 2015, um horizonte de aproximadamente 10 anos após o ano base da pesquisa, são estimados potenciais de conservação de eletricidade no setor residencial de 46,0%, 21,5% e 10,3%, correspondendo respectivamente aos potenciais técnico, econômico e de mercado.

A Confederação Nacional da Indústria (CNI), como resultado de convênio estabelecido com o PROCEL, realizou avaliação de 13 setores industriais com expressivo consumo de energia (CNI, 2009). Os resultados agregados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Potencial de conservação de eletricidade em setores industriais selecionados

Uso da energia	Potencial (por ano)		Subsetores com maior potencial de conservação
	10 ³ tep	GWh	
Força motriz	2.032,4	23.640	Siderurgia Extrativa mineral Alimentos e bebidas
Refrigeração	46,6	540	Alimentos e bebidas Químico Têxtil
Fornos elétricos	370,9	4.310	Siderurgia Minerais não ferrosos Ferro ligas
Eletrólise	191,4	2.230	Metais não ferrosos Química Papel e celulose
Iluminação	60,2	700	Alimentos e bebidas Têxtil Extrativa mineral Papel e celulose
Outros usos	2,4	30	Extrativa mineral
TOTAL	2.703,9	31.450	

Fonte: CNI (2009)

O potencial de conservação de energia elétrica na indústria avaliado pelo estudo da CNI equivale a uma usina hidrelétrica com 6.500 MW de potência instalada. Dito de outra forma, é equivalente a todo o consumo de energia elétrica dos grandes consumidores industriais da rede interligada do subsistema Sudeste/Centro-Oeste estimado para o ano de 2009².

3.3.2 Combustíveis

O estudo da CNI citado na subseção precedente compreendeu também avaliação do potencial de conservação de combustíveis nos setores selecionados. A indicação deste estudo é que o aquecimento direto (fornos) é o uso em que há maior potencial para a conservação de combustíveis na indústria, conforme revelado na Tabela 7.

² Como grandes consumidores industriais relacionam-se os seguintes subsectores: bauxita, alumina, alumínio, siderurgia, ferro ligas, pelletização, cobre, soda-cloro, petroquímica, celulose, papel e pasta mecânica e cimento. O consumo na rede exclui a autoprodução.

Tabela 7. Potencial de conservação em combustíveis em setores industriais selecionados (CNI)

Uso da energia	Potencial de conservação		Subsetores com maior potencial de conservação
	10 ³ tep	bbl/dia	
Aquecimento direto (fornos)	9.103,7	175.600	Siderurgia Cerâmica Cimento
Aquecimento direto (secadores)	415,5	8.010	Alimentos e bebidas Cerâmica Têxtil
Vapor de processo (caldeiras)	2.358,2	45.500	Papel e celulose Têxtil Alimentos e bebidas Siderurgia
Outros usos	74,7	1.440	Química
TOTAL	11.952,0	230.550	

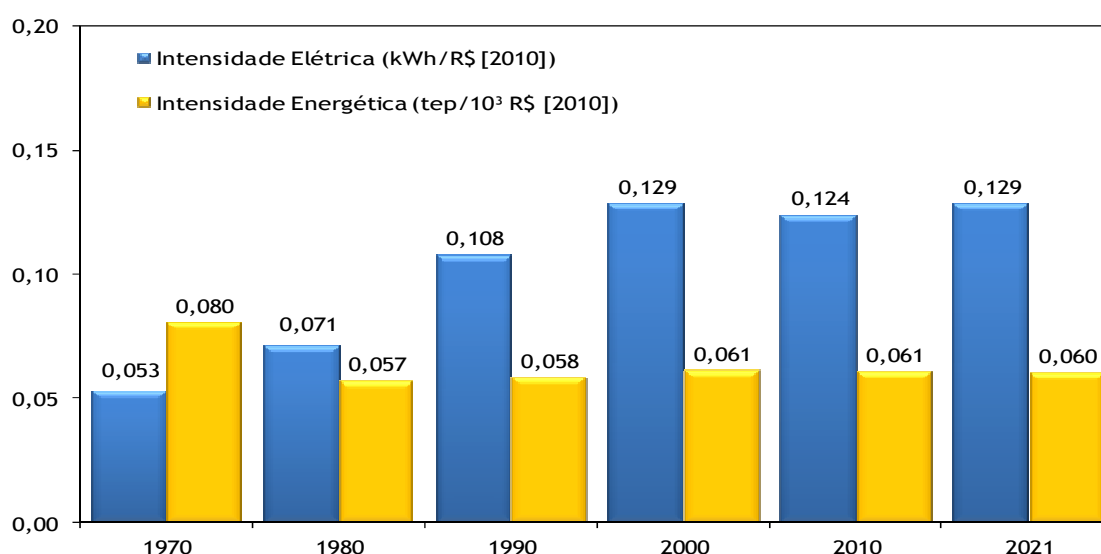
Fonte: CNI (2009)

É digno de nota que, de acordo com o estudo da CNI, há, na indústria, um potencial quase quatro vezes e meia maior para a conservação de energia em combustíveis do que em energia elétrica. Estes dados coadunam com aqueles estimados a partir dos coeficientes técnicos disponíveis no Balanço de Energia Útil, em que também se identifica que são os usos térmicos que apresentam maior potencial de eficiência energética na indústria.

4 INDICADORES AGREGADOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

No horizonte decenal, estima-se que o consumo final de energia atinja aproximadamente 363 milhões de toneladas equivalentes de petróleo em 2021. Dado o crescimento econômico previsto no horizonte 2012-2021, observa-se um aumento da intensidade elétrica no ano de 2021, quando comparado ao ano de 2010, entretanto retomando o mesmo patamar do ano de 2000. A intensidade energética mantém o mesmo patamar nos anos de 2000 e 2010, com uma pequena redução em 2021.

Gráfico 2 - Evolução da intensidade energética e elétrica da economia



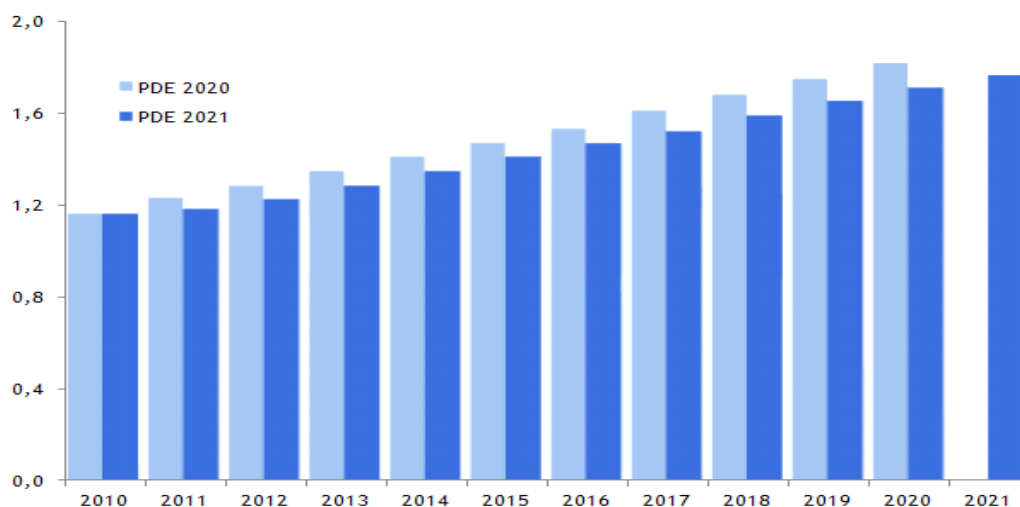
Fonte: elaboração EPE

A comparação dos indicadores de consumo de energia e eletricidade per capita, da atual projeção do PDE 2021 com a do PDE 2020 estão ilustradas nos Gráfico 3 e Gráfico 4.

O Gráfico 3 mostra a comparação das projeções de consumo de energia per capita (tep/hab), para o PDE 2021, observa-se uma redução em relação ao PDE anterior, influenciadas por uma trajetória de crescimento econômico ligeiramente inferior nos primeiros cinco anos, pela revisão, para baixo, do cenário de expansão das grandes cargas industriais, assim como uma queda observada na participação da lenha, que se deve a incorporação dos resultados preliminares da pesquisa nacional de coleta de dados primários relacionados ao consumo de lenha e carvão vegetal, conduzida pela EPE³.

³ Contrato nº CT-EPE-002/2011 conforme especificações do Projeto Básico do Edital do Pregão Eletrônico nº PE.EPE.020/2010.

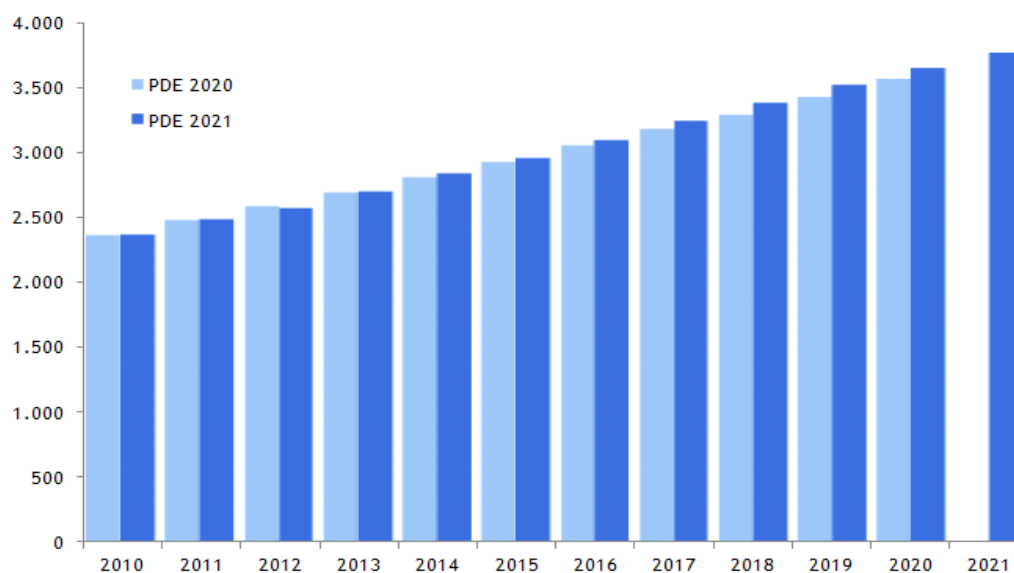
Gráfico 3 - Consumo de energia per capita (tep/hab)



Fonte: elaboração EPE

Conforme se pode observar no Gráfico 4, a projeção de consumo de eletricidade per capita, para o PDE-2021 apresenta um pequeno crescimento no consumo de eletricidade quando comparado ao PDE 2020, que se dá pelas premissas de autoprodução. A metodologia utilizada, nas projeções do consumo energia elétrica, está descrita em maior detalhe em nota técnica específica (EPE, 2011).

Gráfico 4 - Consumo de eletricidade per capita (kWh/hab)



Fonte: elaboração EPE

A título de comparação, na Tabela 8, são apresentados indicadores globais de consumo de energia divulgados pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2012) e relacionados ao ano de 2010. Observe-se que, para o grupo de países e regiões selecionados, a relação entre oferta

interna de energia (OIE) e produto interno bruto (PIB) do Brasil é uma das mais baixas, acima apenas da Argentina, Chile e México e o consumo de eletricidade per capita brasileiro está num patamar menor que o da China, ligeiramente superior ao do México e inferior aos de Argentina (-18%) e Chile (-28%).

Tabela 8. Indicadores energéticos globais de países selecionados (2010)

País/Região	População (10 ⁶ hab)	PIB ¹ (10 ⁹ US\$)	Consumo de energia		Indicadores		
			OIE ² (10 ⁶ tep)	Eletricidade (TWh)	(tep/10 ³ US\$)	(kWh/hab)	(tep/hab)
OECD	1.232	37.113	5.406	10.246	0,19	8.315	4,39
Ásia	2.229	9.072	1.524	1.796	0,17	806	0,68
África	1.022	2.769	682	603	0,25	591	0,67
África do Sul	49,99	473,77	136,87	240,09	0,27	4.532	2,92
Argentina	40,41	580,43	74,63	117,38	0,13	2.904	1,85
Chile	17,09	232,68	30,92	56,43	0,13	3.301	1,81
China	1.345	12.194,40	2.257,10	3.503,40	0,26	2.958	1,81
Estados Unidos	301,11	13.017,00	2.162,32	4.143,40	0,17	13.361	7,15
Índia	1.170,94	3.762,86	692,69	754,61	0,18	644	0,59
México	108,29	1.406,83	178,11	225,76	0,13	2.085	1,64
Rússia	141,75	1.530,15	646,91	870,33	0,35	6.460	4,95
Brasil	194,95	1.960,36	265,62	464,70	0,14	2.384	1,36
Mundo	6.825	68.431	12.717	19.738	0,19	2.892	1,86

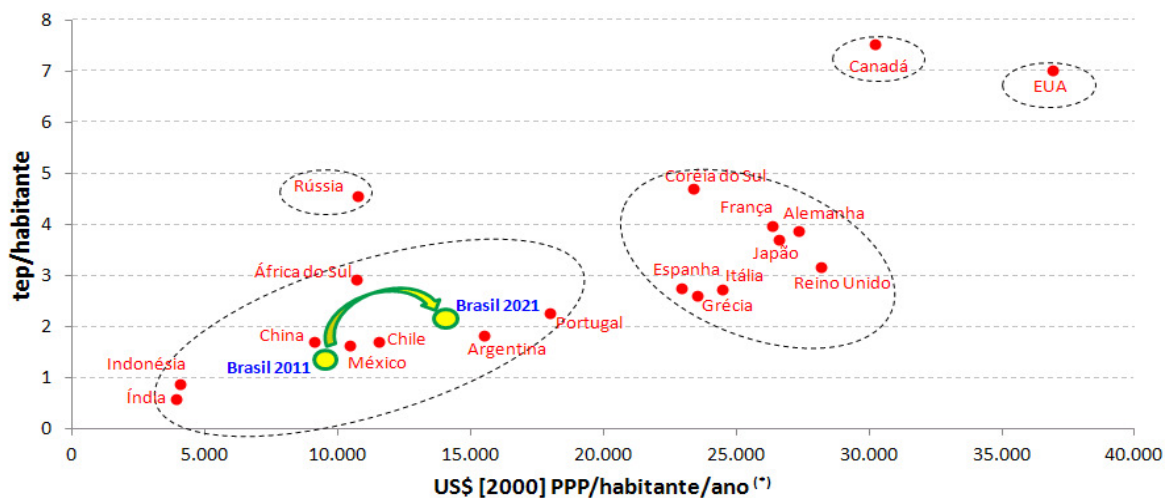
Notas: ¹ PIB expresso segundo conceito de “paridade de poder de compra”.

² OIE: Oferta Interna de Energia

Fonte: IEA (2012)

O Gráfico 5 mostra o posicionamento atual do Brasil, no que se refere à renda per capita e ao consumo energético per capita, numa posição bastante próxima à da China e do México. Na projeção do consumo energético, em 2021, o Brasil evolui no sentido de um maior consumo energético per capita, ultrapassando a Argentina e o Chile (ambos com dados de 2009) ao final do horizonte decenal.

Gráfico 5 - Intensidade Energética de países selecionados



(*) PIB per capita referenciado a US\$ [2000] PPP. Os dados são relativos ao ano de 2009 para todos os países com exceção do Brasil.

Nota: o consumo de eletricidade inclui autoprodução.

Fonte: IEA (2011)

5 SETOR RESIDENCIAL

5.1 Considerações iniciais

Conforme dados do BEN 2012 (ano base 2011) destacam-se, no setor residencial brasileiro, o consumo de eletricidade, lenha e gás liquefeito de petróleo - GLP (ver Tabela 9).

Tabela 9. Consumo final energético no setor residencial brasileiro em 2011

Fonte	Consumo (10 ³ tep)	%
Eletricidade	9.629	41,4
Lenha	6.505	28,0
GLP	6.364	27,3
Carvão vegetal	483	2,1
Gás natural	280	1,2
Querosene	5	0,0
Total	23.266	100,0

Fonte: EPE (2012)

Nesse setor, variáveis como o número de domicílios e o perfil de posse de equipamentos têm importante impacto na determinação do consumo de energia. Enquanto o consumo de eletricidade é significativo para o uso de eletrodomésticos e outros equipamentos de uso em residências, como chuveiros e lâmpadas, o consumo da lenha, do gás natural e do GLP têm uma aplicação importante no atendimento da demanda por cocção e aquecimento de água.

No caso da energia elétrica, a fim de calibrar os modelos de cálculo utilizados, foram aplicadas duas abordagens metodológicas na projeção da demanda. Uma do tipo *top-down*, que se baseou na cenarização da evolução de dois indicadores básicos, a saber: (a) relação entre o número de consumidores residenciais e a população, que permite obter a projeção do número de consumidores a partir da projeção da população; e (b) o consumo médio por consumidor residencial. A outra é do tipo *bottom-up*, por uso final, em que se considera o número de domicílios, a posse média de equipamentos e seu consumo específico - variável que internaliza possíveis ganhos de eficiência.

Uma vez calibrados os modelos e os parâmetros básicos de projeção, aplicou-se a metodologia *bottom-up*, em uma situação que considera e outra que desconsidera modificações no rendimento energético dos principais equipamentos. A energia conservada foi então calculada como a diferença entre as duas projeções. Desta forma:

- O cálculo da energia conservada teve por referência uma mesma base de número de domicílios e atendimento pela rede elétrica;

- Para efeito de cálculo, não foram consideradas diferenças de posse e uso de equipamentos.

A energia conservada assim calculada refere-se, exclusivamente, ao aumento da eficiência dos novos equipamentos consumidores.

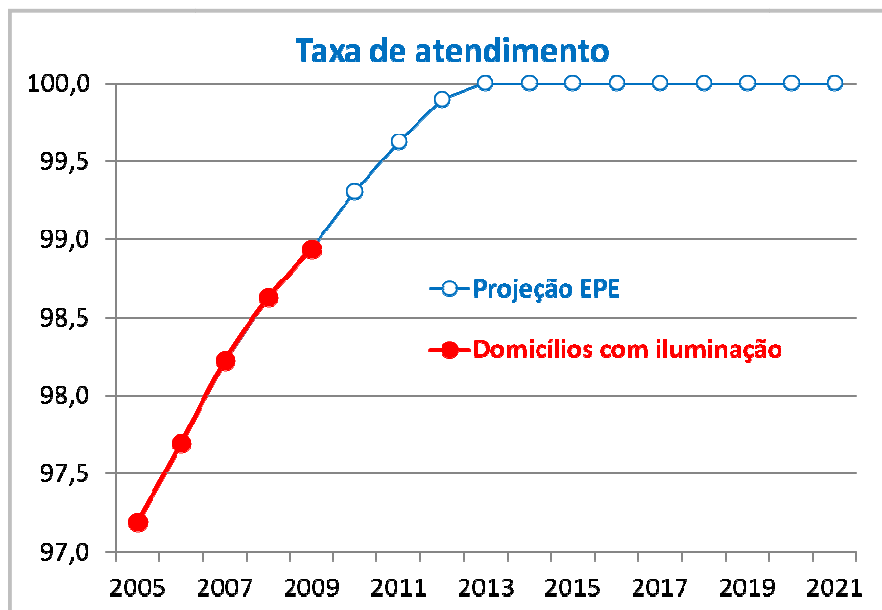
Observe-se que a metodologia permite que seja considerada - e assim se fez - eventual substituição entre fontes. Por exemplo, a substituição da eletricidade por gás ou por sistemas de aquecimento solar no caso do aquecimento de água. Contudo, pela abordagem adotada, tal redução não foi contabilizada ou apropriada como energia conservada, embora muitos autores defendam que assim devesse ser considerado.⁴ Na sequência deste texto, serão apresentadas algumas variáveis relacionadas às características estruturais do setor residencial que merecem ser mencionadas.

5.2 Taxa de atendimento do serviço de eletricidade

Uma das questões básicas na avaliação da demanda de eletricidade no setor residencial é determinar a parcela dos domicílios que serão atendidos pelo serviço de energia elétrica ao longo do horizonte de análise (taxa de atendimento). Para tanto, admitiu-se a prorrogação do prazo do Programa Luz para Todos com execução das obras até 2014. A meta alcançada até março de 2012 beneficiou a inclusão de 14,4 milhões de moradores rurais de todo o país. Essa hipótese leva a considerar a evolução da taxa de atendimento (percentual de domicílios com energia elétrica) conforme ilustrado no Gráfico 6. Com isto, o número de domicílios particulares permanentes com energia elétrica cresce de 62 milhões de unidades no ano de 2011 para cerca de 77 milhões de unidades em 2021.

⁴De fato, aqui se adota o entendimento de que a substituição por energia solar apenas desloca o atendimento para outra fonte de energia, ou seja, não representa necessariamente redução de demanda de energia.

Gráfico 6. Brasil: Projeção de evolução do percentual de domicílios com energia elétrica



Nota: Domicílios particulares permanentes.

Fonte: EPE (2012)

5.3 Posse de equipamentos eletrodomésticos

No que tange ao consumo de eletricidade, a evolução da posse de equipamentos por domicílio é determinante do ritmo de crescimento dessa demanda. Na metodologia empregada para a projeção da demanda residencial de energia elétrica por uso final nos estudos da EPE, a evolução da posse média resulta de estimativa sobre a evolução do estoque dos principais eletrodomésticos presentes nos domicílios. Por sua vez, a projeção do estoque é realizada a partir da diferença entre a estimativa de evolução das vendas e o sucateamento dos equipamentos considerados.

Para efeito de cálculo, tomou-se por base o perfil de idade dos equipamentos levantado na “Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - ano base 2005” realizada pelo PROCEL (ELETROBRAS, 2007). Em adição, admitiu-se que, ao final da vida útil, os equipamentos domésticos são substituídos por novos mais eficientes. Além da renovação da parcela do estoque que é sucateada, considera-se que o ritmo de crescimento das vendas de eletrodomésticos é função do incremento no número de novas ligações à rede e também do aumento da renda das famílias e, em um plano mais agregado, de sua melhor repartição. Essas considerações são determinantes na composição da trajetória da posse média de equipamentos domésticos. A Tabela 10 apresenta os dados básicos considerados nesta Nota Técnica, a saber, a vida útil dos equipamentos eletrodomésticos e a posse média desses equipamentos pelas famílias.

Tabela 10. Vida útil e posse média de equipamentos elétricos

Equipamento	Vida útil anos	Posse média (equipamentos por 100 domicílios)			
		2011	2012	2016	2021
Ar condicionado	15	21	22	24	28
Refrigerador	15	97	98	100	100
Congelador	15	19	18	17	15
Chuveiro elétrico ¹	15	73	72	71	70
Máquina de lavar roupas	15	64	65	70	75
Televisão	10	139	142	168	172
Lâmpadas ²	1,5	7,56	7,57	7,61	7,65

Notas: 1 - Corresponde ao número de domicílios que utilizam exclusivamente o chuveiro elétrico.

2 - Número médio de lâmpadas por domicílio.

Fonte: Elaboração EPE

O congelador (*freezer*) é o único eletrodoméstico para o qual se supõe decréscimo na posse média ao longo do período de análise. Essa hipótese se apoia no histórico recente em que, diante de uma economia em que a inflação dos preços de alimentação e bebidas está sob controle, reduz-se a necessidade de estoque doméstico.

5.4 Consumo específico de equipamentos eletrodomésticos

A premissa geral adotada nesta Nota Técnica é de que a oferta de equipamentos no mercado evolui na direção de sempre disponibilizar dispositivos mais modernos e eficientes. Tal hipótese é lastreada, por exemplo, nas ações realizadas pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e por arcabouço provido, por exemplo, pela lei nº 10.295/2001, conhecida como “Lei de Eficiência Energética”.

Como resultado, a eficiência média do estoque de equipamentos em poder das famílias aumenta progressivamente seja devido à reposição do equipamento ao final de sua vida útil, seja devido à expansão do estoque, associado ao movimento de equipar os novos domicílios. Nesse sentido, considerou-se que a eficiência dos novos equipamentos adquiridos pelas famílias crescerá conforme o apontado na Tabela 11.

Tabela 11. Aumento anual de eficiência dos equipamentos

Equipamento	Aumento anual de eficiência (%)	Fundamentação geral
	2011 - 2021	
Ar condicionado	0,5	Reposição tecnológica natural do estoque e ações dos fabricantes com melhorias de eficiência impulsionadas principalmente pelo PBE e PROCEL.
Geladeira	0,5	
Freezer	0,5	
Máquina de Lavar Roupas	0,5	
Televisão	0,3	
Lâmpadas	8,5	Substituição das lâmpadas incandescentes
Chuveiro elétrico	-0,5	Tendência de aquisição de equipamentos com maior potência.

Fonte: Elaboração EPE

Vale ressaltar que ainda existe uma grande dificuldade em mensurar os resultados de medidas específicas em cada equipamento consumidor de energia. Além da indisponibilidade de dados sobre os impactos dos diversos programas voltados para eficiência energética, as variáveis são extremamente sensíveis a mudanças de hábitos de uso, cujos dados utilizados para projeção são estimados.

Em todos os casos, admitiu-se que o equipamento de referência seria o mesmo ao longo do horizonte de estudo. Por exemplo, o condicionador de ar de referência foi sempre, para efeito de cálculo, um equipamento com potência nominal de 1.000 W. Apenas no caso do chuveiro elétrico, considerando a busca por maior conforto, admitiu-se que as famílias tenderiam a adquirir equipamentos com maior potência elétrica, que demandariam, conseqüentemente, mais energia elétrica.

Para o cálculo do consumo específico por equipamento existente no ano de 2005, tomaram-se como referência inicial os valores determinados a partir de informações contidas na “Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso” do PROCEL (ELETROBRAS, 2007), nas tabelas de eficiência do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO (INMETRO, 2011), além de dados de potência e tempo de uso, disponibilizados pelas concessionárias de energia elétrica.

As principais hipóteses utilizadas para a evolução do consumo específico destes equipamentos foram:

- **Refrigerador:** foi considerado, para efeito de cálculo da média de consumo de energia elétrica, um funcionamento durante 10 horas por dia⁵, 365 dias por ano, constante em todo o horizonte de análise.

⁵ Já considerado o período em que o compressor permanece desligado.

- **Congelador:** o consumo específico deste equipamento foi calculado de forma semelhante ao da geladeira. Assumiu-se um uso de 9 horas por dia⁶ e 365 dias por ano, constante em todo o horizonte de análise.
- **Ar condicionado:** considerou-se um tempo médio de uso de 8 horas por dia⁷, durante quatro meses por ano⁸.
- **Chuveiro elétrico:** admitiu-se um tempo médio de banho de 10 minutos por habitante na posição “inverno” durante quatro meses e na posição “verão” durante o restante do ano.
- **Máquina de lavar roupas:** considerou-se um funcionamento médio de 12 horas por mês (3 horas por semana).
- **Televisão:** o consumo específico deste equipamento foi calculado admitindo um tempo médio de utilização de 4 horas por dia e 365 dias por ano, ponderado pela posse média de aparelhos de 14, 20, 21 e 29 polegadas nos domicílios no ano de 2005.⁹
- **Lâmpadas:** o tempo médio de utilização foi estimado a partir da média de utilização de lâmpadas de uso habitual (considerada 5 horas por dia) e de uso eventual (considerada de 1 hora por dia), ponderada pela posse média de cada um dos dois tipos.

Nessas condições, o consumo médio do estoque de equipamentos nas residências foi estimado conforme se apresenta na Tabela 12.

Tabela 12. Evolução do consumo unitário de eletricidade do estoque de equipamentos nos domicílios

Equipamento	kWh/equipamento/ano			
	2011	2012	2016	2021
Ar condicionado	453	449	430	414
Refrigerador	347	345	330	314
Congelador	516	512	480	450
Lâmpadas	38	38	31	17
Chuveiro elétrico	483	484	490	501
Máquina de lavar roupas	68	67	65	62
Televisão	148	148	146	144

Fonte: Elaboração EPE

Cabe destacar que a análise se restringiu a esse grupo de equipamentos em razão de esses equipamentos representarem, em 2005, 87% do consumo de uma residência brasileira típica ou média. Além disso, o PBE e o PROCEL atuam principalmente no aumento de eficiência destes

⁶ Descontando-se o período que o compressor permanece desligado.

⁷ Considerando que o compressor funciona 50% do tempo.

⁸ Correspondendo aos meses com maiores temperaturas médias.

⁹ Para mais detalhes ver Duarte *et al.* (2007).

equipamentos. A Tabela 13 mostra os ganhos estimados de eficiência energética por equipamento no período estudado.

Tabela 13. Ganho de eficiência estimado em equipamentos eletrodomésticos (ano base 2011)

Equipamento	2016	2021
Ar condicionado	5,1%	8,6%
Refrigerador	5,0%	9,5%
Congelador	7,0%	12,8%
Lâmpadas	18,6%	56,5%
Chuveiro elétrico	-1,5%	-3,8%
Máquina de lavar roupas	4,5%	8,4%
Televisão	1,4%	2,7%

Notas: (1) Ganhos de eficiência computados a partir do ano base de 2011 e expressos como percentual de redução do consumo em cada ano.

(2) O valor negativo apresentado na tabela para o chuveiro elétrico não representa perda de eficiência, mas traduz o resultado líquido do consumo unitário de cada equipamento (kWh/equipamento) entre os ganhos de eficiência do equipamento e o aumento de potência. Assim, os ganhos negativos referem-se principalmente ao fato de que os novos chuveiros elétricos tenderão a ter maior potência à medida que as condições de renda da população aumentarem, superando os ganhos de eficiência do equipamento individual.

Fonte: Elaboração EPE

Nota-se uma queda considerável no consumo específico de lâmpadas, impacto estimado como consequência principalmente do banimento das lâmpadas incandescentes que ocorrerá no horizonte de análise, conforme prevê cronograma para a exigência de índices de eficiência energética para lâmpadas incandescentes constante na Portaria Interministerial MME/MCTI e MDIC nº 1.007/2010. Sendo assim, o estoque se tornará mais eficiente no período, pois as lâmpadas existentes serão paulatinamente substituídas por outras com consumo específico menor, diminuindo assim seu consumo específico médio.

A referida Portaria estabelece datas-limite para fabricação e importação das lâmpadas incandescentes que não atendam ao disposto, conforme Tabela 14 e Tabela 15.

Tabela 14. Cronograma de níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes - 127 V, para fabricação e importação no Brasil

Lâmpadas Incandescentes Domésticas de 127 V - 750 horas					
Potência (W)	Eficiência Mínima (lm/W)				
	30/06/2012	30/06/2013	30/06/2014	30/06/2015	30/06/2016
Acima de 150	20,0	24,0			
101 a 150	19,0	23,0			
76 a 100		17,0	22,0		
61 a 75		16,0	21,0		
41 a 60			15,5	20,0	
26 a 40				14,0	19,0
Até 25				11,0	15,0

Fonte: MME (2010)

Tabela 15. Cronograma de níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas fluorescentes compactas - 220 V, para fabricação e importação no Brasil

Lâmpadas Incandescentes Domésticas de 220 V - 1.000 horas					
Potência (W)	Eficiência Mínima (lm/W)				
	30/06/2012	30/06/2013	30/06/2014	30/06/2015	30/06/2016
Acima de 150	18,0	22,0			
101 a 150	17,0	21,0			
76 a 100		14,0	20,0		
61 a 75		14,0	19,0		
41 a 60			13,0	18,0	
26 a 40				11,0	16,0
Até 25				10,0	15,0

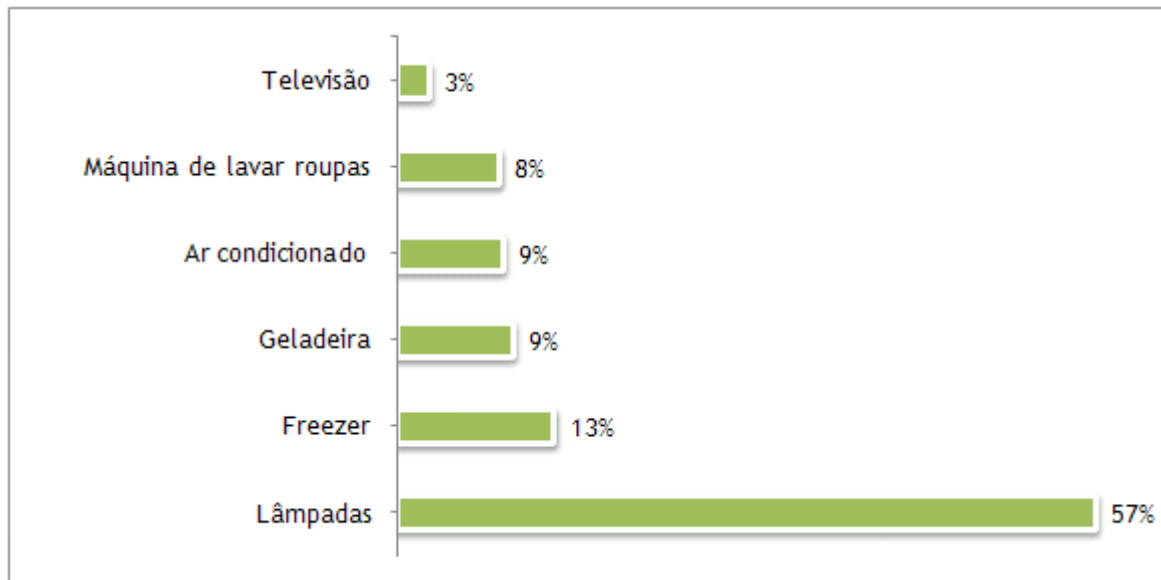
Fonte: MME (2010)

As datas limites para comercialização no Brasil por parte de fabricantes e importadores das lâmpadas incandescentes serão de seis meses, a contar das datas limites estabelecidas na Tabela 14 e na Tabela 15. As datas limites para comercialização por atacadistas e varejistas no país das Lâmpadas Incandescentes serão de um ano, a contar das datas estabelecidas das mesmas tabelas (MME, 2010).

Tais índices mínimos de eficiência energética caracterizados não podem ser atendidos por nenhuma das lâmpadas incandescentes. Esses índices são dirigidos às lâmpadas incandescentes de uso geral, com algumas poucas exceções constantes na Portaria.

Os ganhos de eficiência considerados em cada caso são, portanto, os apresentados no Gráfico 7.

Gráfico 7. Ganho de eficiência de equipamentos eletrodomésticos em 2021



Fonte: Elaboração EPE

Todavia, em uma visão prospectiva, a crescente importância que tendem a assumir os demais eletrodomésticos no uso da energia residencial autoriza admitir que a proporção dos demais equipamentos no consumo de eletricidade em uma residência brasileira, que em 2011 se estimou em cerca de 24%, tenda a aumentar¹⁰. Como referência considere-se que já em 2001 a categoria “demais equipamentos” representava 45% do consumo de energia elétrica dos domicílios norte-americanos (EIA, 2009).

Essa observação é relevante porque, em razão da abordagem metodológica adotada, em que a avaliação da eficiência é feita pela diferença entre a projeção da demanda de energia, considerando a evolução do consumo específico de equipamentos e a projeção da demanda de energia considerando o consumo específico constante ao longo do horizonte de tempo, a mudança da estrutura de consumo nas residências, como, por exemplo, o ganho de participação dos demais equipamentos, pode mascarar os ganhos de eficiência obtidos.

Assim, a Tabela 16 apresenta o consumo residencial de energia elétrica no período estudado. Vale ressaltar que os valores do consumo residencial desta tabela apresentam uma diferença conceitual em relação aos valores habitualmente utilizados pelo setor elétrico. De fato, conforme inciso III do § 4º do Art.º 5º da Resolução Normativa ANEEL nº 414/2010, unidade consumidora “localizada na área rural, com fim residencial, utilizada por trabalhador rural ou aposentado nesta condição, incluída a agricultura de subsistência” é classificada como “rural”,

¹⁰ Para se ter uma ideia do potencial de elevação do consumo de energia elétrica em decorrência do aumento da posse e do uso de outros equipamentos, isto é, não relacionados nesta seção, considere que, de acordo com a pesquisa do PROCEL (ELETROBRAS, 2007) em cada 100 domicílios, não há mais do que 74 aparelhos de som, 50 ventiladores de teto, 32 aparelhos de vídeo-cassete, 25 aparelhos de DVD, 23 computadores pessoais (PC), 14 impressoras, e 9 aparelhos de “vídeo-games”.

enquanto que, na presente Nota Técnica, tais consumidores estão considerados na classe residencial, conforme conceituação utilizada pelo Balanço Energético Nacional (BEN).

Tabela 16. Consumo de energia elétrica no setor residencial - GWh

Equipamento	2011	2012	2016	2021
Ar condicionado	5.782	6.081	6.951	8.795
Refrigerador	20.212	20.791	22.407	23.936
Congelador	5.780	5.741	5.467	5.194
Lâmpadas	17.220	17.565	16.082	9.666
Chuveiro elétrico	21.413	21.869	24.170	27.607
Máquina de lavar roupas	2.605	2.665	3.065	3.565
Televisão	12.310	12.933	16.712	18.996
Outros	26.909	29.443	45.198	75.947
Total	112.232	117.088	140.053	173.706

Fonte: Elaboração EPE

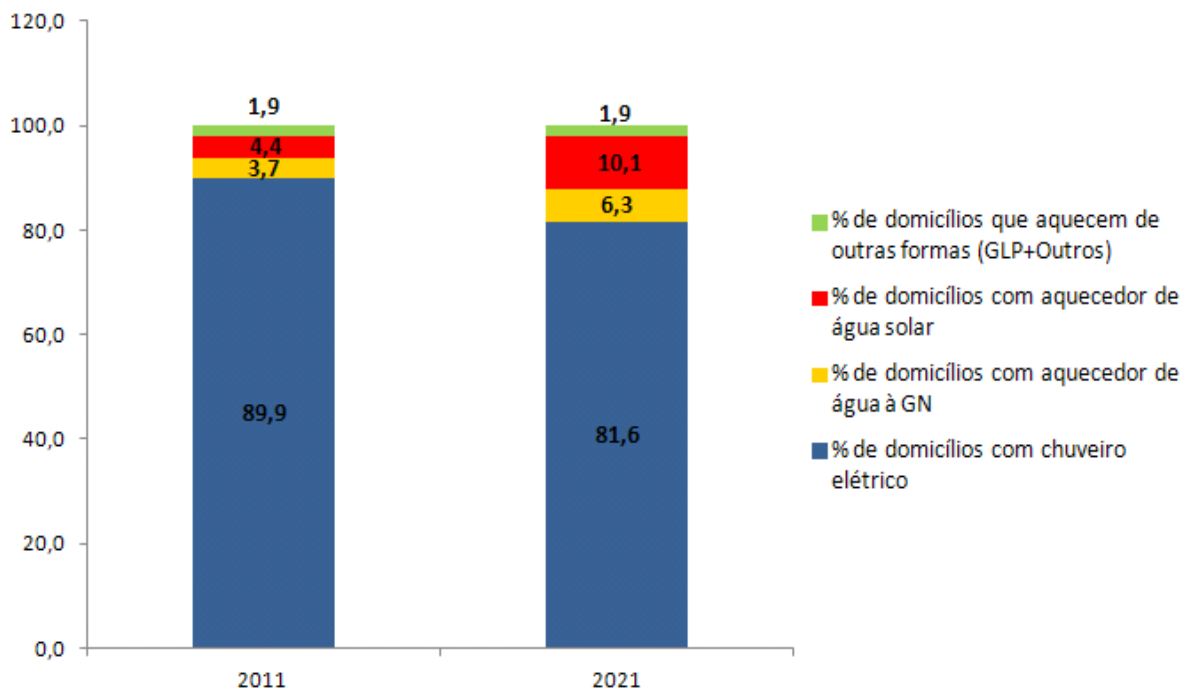
5.5 Calor de processo (aquecimento de água)

O calor de processo no setor residencial se destina basicamente ao aquecimento de água, sobretudo para banho. De acordo com a já referida pesquisa do PROCEL e ajustada no modelo, a energia elétrica é a forma de energia preponderantemente utilizada para o aquecimento de água para banho na maioria absoluta (73%) dos domicílios brasileiros no ano de 2011. O uso de outros energéticos para este fim é ainda residual. Ainda é expressiva a parcela de domicílios que não possuem equipamento para aquecer a água (18,8%). Há, portanto, um grande potencial para a penetração de sistemas de aquecimento baseados em gás natural ou energia termo-solar.

Os gráficos abaixo mostram as perspectivas de evolução do aquecimento de água, primeiramente em termos percentuais e posteriormente a divisão do mercado por energético em valores absolutos.

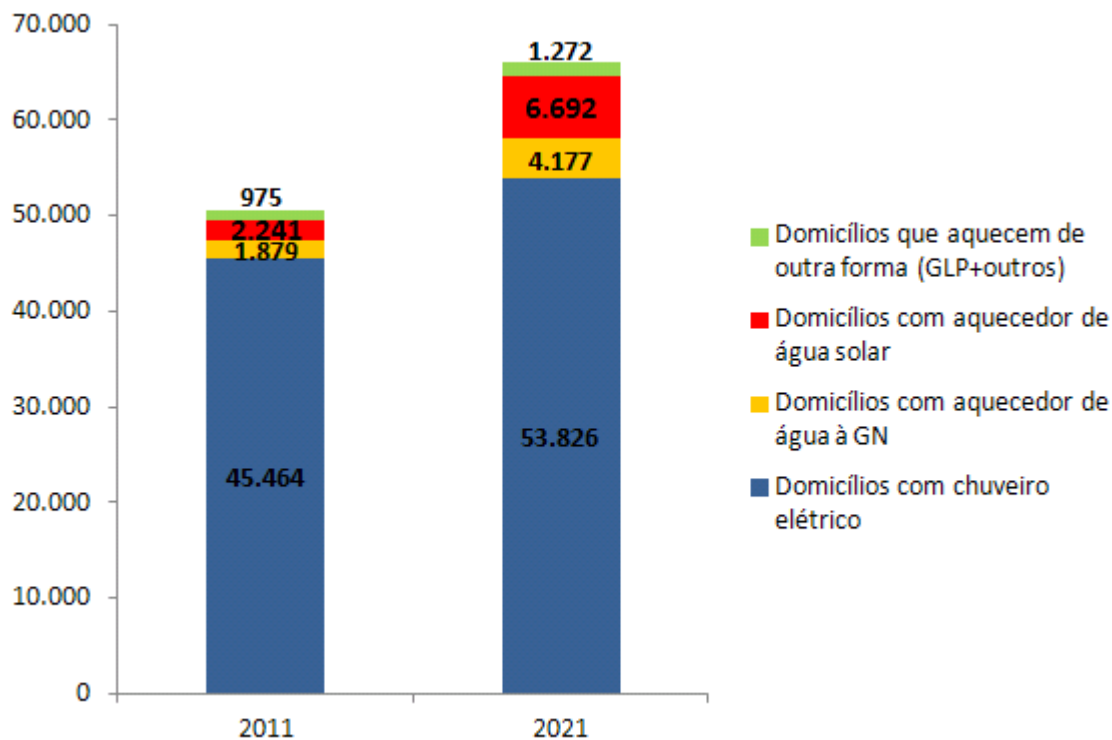
Ressalta-se que apesar do chuveiro elétrico perder participação no mercado, devido ao aumento do número de domicílios com aquecimento de água, a quantidade de domicílios que utiliza esse energético em valores absolutos tende a aumentar. Já o aquecimento de água por energia solar é o que mais expandirá no horizonte decenal.

Gráfico 8. Distribuição de energéticos para aquecimento de água - valores percentuais (2011-2021)



Fonte: Elaboração EPE

Gráfico 9. Distribuição de energéticos para aquecimento de água - valores absolutos em mil unidades (2011-2021)



Fonte: Elaboração EPE

Sendo a energia elétrica o principal energético nesse uso, o equipamento principal é o chuveiro elétrico (o uso de *boiler* elétrico é marginal). No caso do chuveiro elétrico, o parâmetro importante a considerar é o número de domicílios dotados deste equipamento. De modo geral, essa estimativa resulta da diferença entre o número total de domicílios que aquecem água para banho e aqueles que utilizam algum outro energético (gás natural, GLP, sistemas de aquecimento solar ou lenha) que não a eletricidade para este fim. Para tanto, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- O percentual de domicílios em que se aquece água para banho evoluiria de 81,2% em 2011 para 85,7% em 2021. O percentual dos domicílios que aquecem água para banho é calculado com base na pesquisa de posse e hábito do PROCEL para o ano de 2005.

Foi considerado que o percentual cresce ao longo do tempo em função da:

- expansão da renda, fazendo com que alguns domicílios que não aqueciam passem a aquecer água e que o percentual de domicílios que aquecem em regiões como Nordeste e Norte aumente marginalmente (atendimento a demanda reprimida);
- novos domicílios tendem a aquecer água para banho de alguma forma, uma vez que o maior aumento no número de domicílios é previsto para o Sudeste, onde o hábito de aquecer água para banho tende a 100%.

No entanto, acredita-se que este percentual não chegará a 100% em todo o país por uma questão de hábito.

- O percentual de domicílios em que se aquece água para banho utilizando gás natural evoluiria de 3,0% em 2011 para 5,4% em 2021. Nessa projeção admitiu-se um consumo específico de 13 m³/domicílio/mês em 2011 subindo linearmente até 14,2 m³/domicílio/mês. Além disso, considerou-se no período de 10 anos uma média de 95% dos domicílios conectados à rede de gás possuem aquecedores a gás. O percentual dos domicílios que aquecem água para banho com gás natural tende a aumentar em função da expansão da malha de distribuição.

O percentual de domicílios dotados de Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) evoluiria de 3,6% em 2011 para 8,7% em 2021. Nessa projeção, estimaram-se as taxas de crescimento do uso de SAS em torno de 5%, mantidas até 2021, impulsionadas principalmente pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) e pelo Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL, com instalação de SAS em mais de 1 milhão de residências entre 2011 e 2014. Após 2018, o incremento anual é mantido até que o país atinja 3 m² de painel solar por domicílio que usa o sistema de aquecimento solar (SAS), que é considerado como meta conservadora para a Europa em 2020. Além disso, usou-se uma fração solar média de 75%, ou seja, cada SAS economiza o equivalente a 75% do consumo anual de um chuveiro elétrico. Adicionalmente, o percentual de domicílios em que se aquece água para banho, utilizando outro energético que não os citados anteriormente,

ou seja, que utiliza o GLP (ou outros) manter-se-ia, por simplificação, em torno de 2% ao longo do horizonte da análise.

A partir das hipóteses explicitadas, estima-se que o percentual de domicílios com pelo menos um chuveiro elétrico passará de 73% em 2011 para 70% em 2021.

Na Tabela 17 são mostrados os principais parâmetros relativos ao aquecimento de água para banho e substituição entre energéticos para este fim.

Tabela 17. Aquecimento de água no setor residencial

	2011	2012	2016	2021
Número de domicílios (mil)				
Chuveiro elétrico	45.464	46.102	49.083	53.826
SAS	2.241	2.976	5.038	6.692
Gás Natural	1.879	2.064	2.912	4.177
Outras fontes	975	1.005	1.121	1.272
Sem aquecimento de água	11.742	11.608	11.424	11.001
TOTAL	62.301	63.755	69.578	76.969
Número de domicílios (%)				
Chuveiro elétrico	73,0%	72,3%	70,5%	69,9%
SAS	3,6%	4,7%	7,2%	8,7%
Gás Natural	3,0%	3,2%	4,2%	5,4%
Outras fontes	1,6%	1,6%	1,6%	1,7%
Sem aquecimento de água	18,8%	18,2%	16,4%	14,3%
TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Consumo de energia elétrica evitado (GWh)				
SAS	812	1.081	1.852	2.517
Gás Natural	908	1.000	1.427	2.094
Outras fontes	471	487	550	638
TOTAL	2.191	2.567	3.829	5.249

Fonte: Elaboração EPE

5.6 Aquecimento direto (cocção)

De acordo com o BEU (MME/FDTE, 2005), o aquecimento direto é o mais importante uso final da energia de combustíveis nas residências. Neste setor, a finalidade principal do aquecimento direto é o processamento de alimentos (cocção), sendo complementares usos como secagem de alimentos e roupas, ferros de passar roupa e aquecimento ambiental (estufas e lareiras). O equipamento típico do aquecimento direto residencial é o fogão e os principais energéticos são a lenha, o gás natural e o GLP.

Dentro de uma perspectiva de longo prazo, em um cenário de crescimento da renda, favorecendo o desenvolvimento tecnológico e a expansão do emprego, a tendência deverá ser a substituição continuada da lenha pelo GLP. Além disso, a substituição do GLP pelo gás natural se mantém devido ao aumento de gasodutos e da malha de distribuição de gás no país, principalmente no Nordeste.

A projeção do consumo para cocção é realizada utilizando dados de consumo específico por domicílio e número de domicílios com uso preponderante de GLP, gás natural, lenha ou carvão vegetal. Devido a ganhos de eficiência neste uso e melhoria no rendimento médio do estoque de fogões nas residências, os consumos específicos tendem a diminuir. Porém, esses ganhos podem ser contrapostos efeitos tais como o aumento do tamanho médio dos fogões (maior número de queimadores), bem como aumento do padrão de consumo pelo efeito de melhoria de renda per capita, prevista no horizonte do PDE 2021. Nesse caso, assumiu-se, como hipótese de trabalho, que esses efeitos opostos se contrabalançam, de modo que os consumos específicos são mantidos constantes durante toda a projeção.

Na Tabela 18 são apresentados os domicílios do país distribuídos entre os principais energéticos utilizados para cocção.

Tabela 18. Distribuição da cocção no setor residencial

	2011	2012	2016	2021
Domicílios com uso preponderante (mil)				
GLP	56.642	58.012	63.434	70.214
Gás Natural	2.042	2.236	3.109	4.382
Lenha	3.170	3.084	2.715	2.205
Carvão vegetal	389	364	254	95
Outras Fontes	58	59	65	73
TOTAL	62.301	63.755	69.578	76.969
Domicílios com uso preponderante (%)				
GLP	90,9%	91,0%	91,2%	91,2%
Gás Natural	3,3%	3,5%	4,5%	5,7%
Lenha	5,1%	4,8%	3,9%	2,9%
Carvão vegetal	0,6%	0,6%	0,4%	0,1%
Outras Fontes	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

Fonte: Elaboração EPE

Vale, ainda, destacar a existência de diferenças entre a projeção de demanda de carvão vegetal e lenha no PDE 2021 e os dados divulgados no Balanço Energético Nacional 2012 (ano base 2011 - resultados preliminares). As projeções apresentadas baseiam-se em recente pesquisa de campo, conduzida em âmbito nacional, referente ao consumo residencial de lenha e carvão vegetal¹¹. A

¹¹ Contrato nº CT-EPE-002/2011 conforme especificações do Projeto Básico do Edital do Pregão Eletrônico nº PE.EPE.020/2010.

revisão do consumo específico de lenha por domicílio que usa lenha, um dos resultados desta pesquisa nacional, já foi considerada nestas projeções, de modo que, temporariamente, observa-se descontinuidade dos dados projetados comparados aos dados históricos publicados. Contudo, essa descontinuidade desaparecerá quando da revisão das séries do Balanço Energético Nacional, atualmente em processo de execução.

5.7 Eficiência Energética no uso de energia elétrica

Com base nos critérios, premissas e parâmetros apresentados nas subseções precedentes pode-se calcular o ganho de eficiência energética no uso da energia elétrica nas residências no médio prazo, inclusive explicitando a influência do efeito renda, aqui refletido no aumento da posse de equipamentos.

Através da interação entre os modelos que estimam o consumo de energia elétrica no setor residencial, podem-se determinar os ganhos de eficiência esperados para os equipamentos estudados em detalhe e para os demais equipamentos.

Outra observação relevante é que não estará contabilizado como ganho de eficiência o deslocamento do aquecimento elétrico (chuveiro e boilers) por outros energéticos (gás natural, sistemas de aquecimento solar etc.), ainda que esse cálculo possa ser explicitado, como na Tabela 17. Com relação a chuveiros elétricos deve-se ressaltar ainda que, por hipótese, supôs-se aumento da potência dos chuveiros elétricos ao longo do horizonte.

Na Tabela 19 é resumida a decomposição do aumento do consumo de energia elétrica no setor residencial no período compreendido entre 2011 e 2021, explicitando-se os montantes de conservação de energia.

Tabela 19. Eficiência energética no setor residencial 2021/2011. Energia elétrica

Período 2021/2011	Variação no consumo (GWh) - Fatores		Aumento no consumo (GWh)
	Posse + Potência do equipamento + Hábito de Uso (A)	Conservação (B)	A - B
Ar condicionado	3.853	832	3.020
Refrigerador	6.248	2.500	3.748
Congelador	181	760	(579)
Lâmpadas	6.219	12.576	(7.533)
Chuveiro elétrico	5.211	-	6.219
Máquina de lavar roupas	1.289	326	963
Televisão	7.224	524	6.700
Outros	49.070	-	49.070
TOTAL	79.126	17.517	61.608

Fonte: Elaboração EPE

Observe-se que a energia conservada para este setor é 17.517 GWh, no horizonte de análise, que corresponde a:

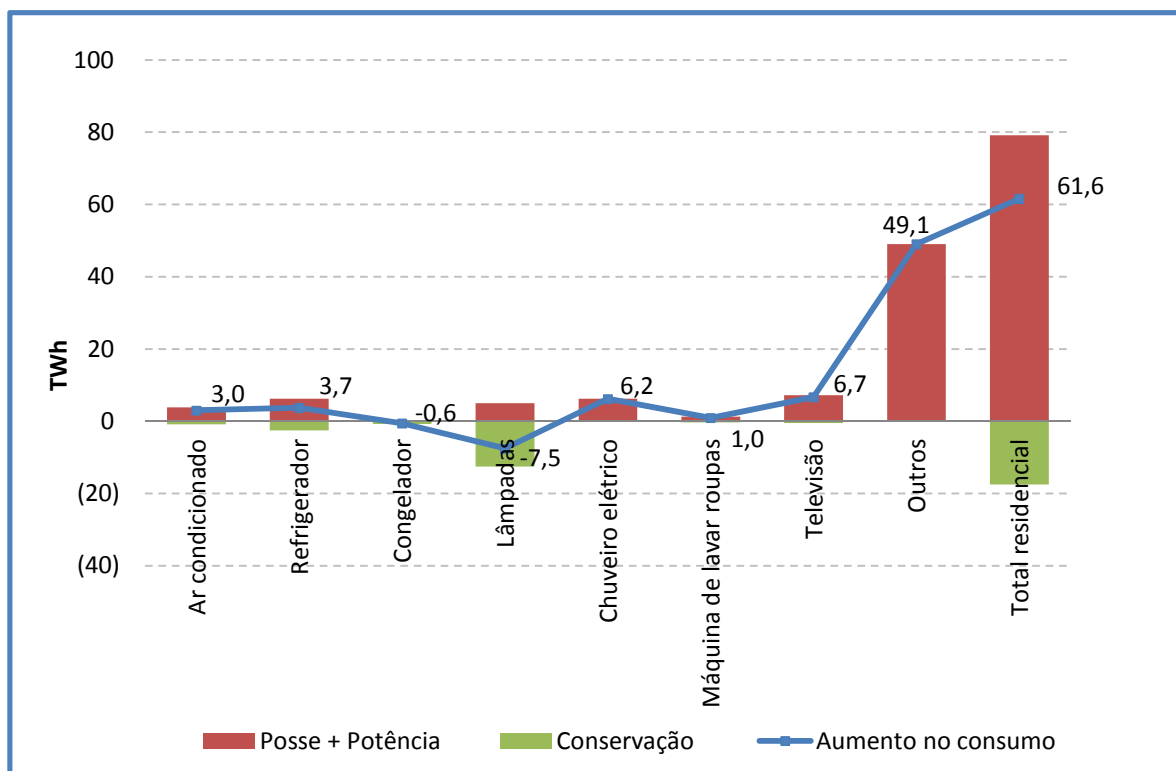
- 28,4% do acréscimo do consumo residencial no horizonte de estudo (2012-2021);
- 9,2% do consumo residencial de energia elétrica projetado para 2021, de acordo com estudos da EPE.

Com relação ao aumento no consumo esperado, é importante destacar a dificuldade em desagregar os efeitos positivos sobre essa variável, principalmente no que se refere aos outros equipamentos residenciais, que tendem a ocupar um percentual considerável do consumo nos próximos 10 anos, conforme mencionado anteriormente.

No que se refere a eles, existem poucos dados levantados para o país e por este ser um composto de diversos aparelhos, é difícil afirmar a tendência com relação à potência desse conjunto, uma vez que não é conhecida qual será a participação de cada equipamento no mesmo. No entanto, mesmo com equipamentos cuja potência conjunta seja menor, o que determinará a participação na energia total consumida serão a posse e os hábitos de uso, cujo efeito líquido positivo é previsível pelo aumento da renda estimado para o horizonte do estudo.

No Gráfico 10 observa-se o efeito líquido das variáveis incidentes sobre os equipamentos através do aumento do consumo resultante.

Gráfico 10. Efeito líquido no aumento do consumo (aumento de posse + aumento de potência - conservação) - 2021/2011



Fonte: Elaboração EPE

Além desse montante conservado, há que se considerar também a energia elétrica deslocada pela penetração do gás e do aquecimento solar no aquecimento de água para banho, além do uso marginal de GLP e outros energéticos. Com base nos parâmetros apresentados anteriormente, calcula-se em 5.249 GWh o montante de energia elétrica deslocada em 2021 por essas outras fontes para aquecimento de água. É importante destacar que foi considerado um aumento na potência dos chuveiros elétricos, devido ao aumento da renda, deste modo existirá uma tendência das famílias por chuveiros com potências elétricas maiores em 0,5%.

Este montante de energia elétrica conservada para o setor residencial equivale, aproximadamente, à geração de uma usina hidrelétrica com 3.500 MW de capacidade instalada. Em termos da energia elétrica deslocada no aquecimento de água para banho, por sua vez, o montante economizado de eletricidade equivale à geração de uma usina hidrelétrica com 1.050 MW de capacidade instalada, semelhante à usina de Sobradinho, em operação no Rio São Francisco, no estado da Bahia.

5.8 Resultados globais de eficiência energética no setor residencial

Dadas as premissas citadas anteriormente relacionadas ao uso de equipamentos elétricos, aquecimento de água e cocção, tem-se a projeção de energia total para o setor residencial. O crescimento do uso de carvão vegetal segue a mesma tendência do uso da lenha. A Tabela 20 apresenta o consumo do setor em unidades comerciais e em tep.

Tabela 20. Consumo total energético do setor residencial

Equipamento	Unidade	2011	2012	2016	2021
Energia elétrica	10 ³ tep	9.652	10.070	12.045	14.939
Gás natural	10 ³ tep	280	307	452	655
GLP	10 ³ tep	6.455	6.611	7.228	7.999
Lenha	10 ³ tep	2.940	2.860	2.519	2.048
Carvão vegetal	10 ³ tep	318	298	208	79
Total	10³ tep	19.645	20.146	22.452	25.720
Unidades Comerciais					
Energia elétrica	GWh	112.098	117.088	140.053	173.706
Gás natural	1.000 m ³ /dia	872	957	1.408	2.040
GLP	1.000 m ³	10.564	10.819	11.829	13.092
Lenha	1.000 t	9.483	9.227	8.127	6.605
Carvão vegetal	1.000 t	493	461	323	123

Nota: Considera domicílios urbanos e rurais.

Fonte: Elaboração EPE

Na Tabela 21 são apresentados os resultados obtidos para o setor residencial. As projeções do consumo de eletricidade indicam um crescimento de 5,5% ao ano no período. A energia elétrica conservada foi calculada em 9,2% do consumo projetado para o ano horizonte, reduzindo o consumo final em aproximadamente 17 TWh, em que 7,5 TWh se deve ao mecanismo regulatório de banimento das lâmpadas incandescentes.

Tabela 21- Setor residencial: consumo de eletricidade e eficiência energética (GWh)

Consumo	2012	2016	2021
Consumo sem conservação	117.779	145.292	191.223
Energia conservada	691	5.239	17.517
Energia conservada [%]	0,6	3,6	9,2
Consumo com conservação	117.088	140.053	173.706

Nota: Considera domicílios urbanos e rurais.

Fonte: Elaboração EPE

6 SETOR INDUSTRIAL¹²

6.1 Parâmetros básicos

Conforme dados do BEN o consumo de energia no setor industrial brasileiro é bastante diversificado, como apresentado na Tabela 22. A principal fonte de energia, eletricidade, representa apenas 20,4% do consumo total de energia no uso final. São ainda relevantes, como fonte de energia para a indústria, o bagaço de cana, a lenha, o carvão mineral e os derivados de petróleo.

Tabela 22. Consumo final energético no setor industrial brasileiro em 2011

Fonte	Consumo (10 ³ tep)	%
Eletricidade	18.031	20,4
Bagaço de cana	16.901	19,1
Lenha e carvão vegetal	11.728	13,3
Carvão mineral, coque de carvão mineral e gás de coqueria	9.368	10,6
Gás natural e GLP	10.736	12,1
Óleo combustível e óleo diesel	3.890	4,4
Outras fontes primárias ¹	9.562	10,8
Outras fontes secundárias ²	8.193	9,3
Total	88.410	100,0

Nota: ¹Inclui carvão vapor e outras fontes primárias.

²Inclui querosene, outras secundárias de petróleo e alcatrão.

Fonte: Elaboração EPE

Uma avaliação acurada da eficiência energética na indústria demandaria, por certo, o exame dos processos empregados em cada subsetor, incluindo as possibilidades de atualização tecnológica. Uma abordagem mais geral, contudo, pode levar a resultados aceitáveis, principalmente quando se tem em conta os objetivos a que se destina a avaliação, quais sejam, no caso, os estudos de planejamento energético.

Nessas condições, a avaliação da eficiência energética na indústria foi realizada tomando por base a cenarização de indicadores selecionados, a saber:

¹² Inclui o setor energético, classificação utilizada no Balanço Energético Nacional, onde se enquadra o consumo de energia devido ao segmento de produção de energia: exploração e produção de petróleo/gás natural, transporte de gás natural, refinarias de petróleo, destilarias, coquearias e carvoarias.

- Consumo específico, no caso de setores com processos de produção mais homogêneos (caso das produções de cimento, ferro gusa e aço, ferro ligas, não-ferrosos e de papel e celulose); comparativamente aos outros segmentos industriais;
- Intensidade energética, no caso de setores considerados mais heterogêneos (alimentos e bebidas, têxtil, cerâmica, mineração, química e outras indústrias), dada a diversidade de produtos e processos observados nestes segmentos.

A energia conservada em cada segmento industrial resultou da diferença entre o consumo de energia congelada dos rendimentos energéticos dos equipamentos, processos e usos finais e o consumo de energia admitindo-se progressivo aumento destes rendimentos ao longo do tempo.

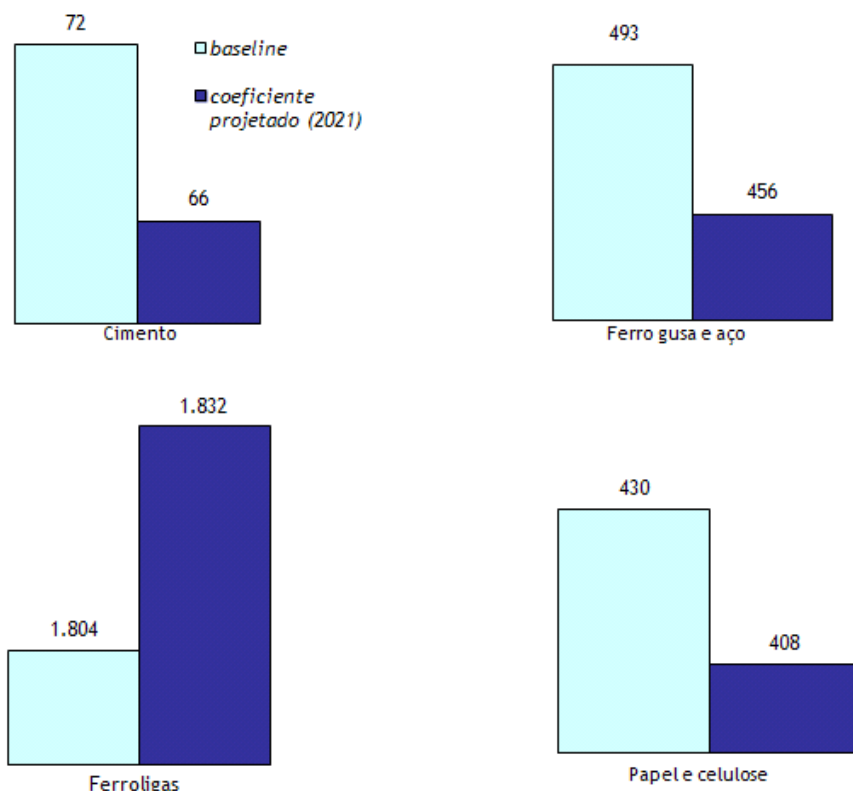
A projeção desses indicadores foi realizada adotando-se dois procedimentos de forma combinada:

- (i) Tomando como base referencial as informações das séries históricas do BEN (EPE, 2012) e o potencial de conservação de energia (ver seção 3 desta Nota Técnica). Como procedimento geral, levaram-se em conta os ganhos energéticos apurados com base nas duas últimas edições do BEU (anos bases: 1994 e 2004), admitindo-se a manutenção da dinâmica histórica destes ganhos no horizonte deste trabalho (2012-2021).
- (ii) Analisando-se a estrutura do consumo energético de cada segmento industrial, considerando os dados históricos, as tendências tecnológicas em curso e, quando relevante, cenários possíveis de substituição entre energéticos, tudo em conformidade com as hipóteses de trabalho adotadas, que foram:
 - a. Expansão de capacidade instalada formulada de acordo com o cenário macroeconômico adotado e a partir de consultas feitas a associações de classe, empresas de alguns dos setores em estudo e outros órgãos governamentais¹³.
 - b. O preço do gás natural, menor que o do óleo combustível nos próximos 4 a 5 anos, atingindo a igualdade após esse período inicial;
 - c. Aproveitamento parcial do potencial de eficiência energética indicado na última versão do BEU.

Nessas condições, os consumos específicos e as intensidades energéticas resultantes deste estudo são apresentados no Gráfico 11 e no Gráfico 12.

¹³ Mais detalhes sobre o cenário adotado para a expansão da capacidade instalada industrial serão apresentados na Nota Técnica que documenta a projeção da demanda de energia elétrica (2012-2021), disponível no “site” da EPE.

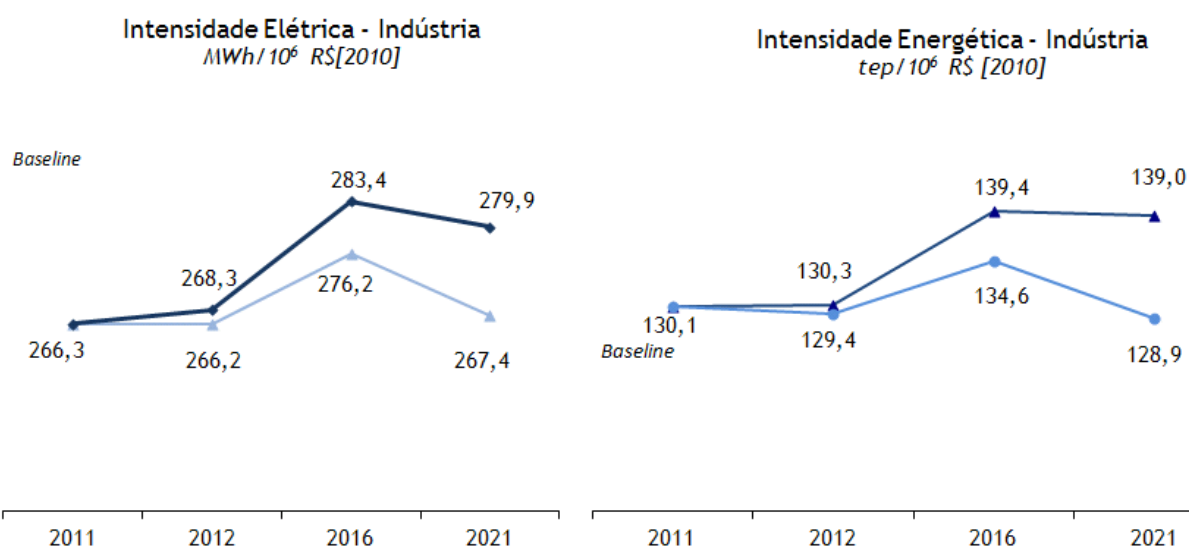
Gráfico 11. Consumo específico de energia em setores industriais selecionados (tep/10³t)



Nota: O aumento do consumo específico do segmento de ferro ligas, se dá pela participação das ligas mais eletrointensivas (como as ligas de níquel), no “mix” de ferro ligas.

Fonte: Elaboração EPE

Gráfico 12. Intensidade elétrica e energética na indústria



Fonte: Elaboração EPE

6.2 Energia elétrica

As indústrias para as quais se avalia maior ganho de eficiência energética no uso da eletricidade se caracterizam por um consumo energético mais intensivo, a saber, siderurgia e ferro ligas.

Entre as eletrointensivas, também merece destaque, apesar de proporcionalmente menor, o ganho de eficiência na indústria de não ferrosos, dominada, em termos da quantidade de energia consumida, pela produção do alumínio. Pela própria natureza dessa indústria, a preocupação com a eficiência energética, especialmente quando se trata de energia elétrica, é relevante e, no Brasil, em razão da atualização tecnológica do segmento, o setor é reconhecidamente eficiente. Ainda assim, vislumbram-se ganhos setoriais adicionais ao longo do horizonte, permitindo que o consumo específico médio do segmento de alumínio reduza no horizonte deste trabalho. As considerações sobre a evolução do consumo específico de eletricidade na indústria pode ser vista na Tabela 23.

Tabela 23 - Grandes consumidores industriais: consumo específico de eletricidade¹ (kWh por tonelada produzida)

Segmento	2011	2016	2021	2011 - 2021 (% ao ano)
Bauxita	13	13	12	-0,4
Alumina	299	291	287	-0,4
Alumínio Primário	14.765	14.277	13.938	-0,6
Siderurgia	501	487	459	-0,9
Ferro ligas	8.535	9.029	9.078	0,6
Pelotização	49	48	47	-0,4
Cobre Primário	1.554	1.487	1.460	-0,6
Soda	2.722	2.671	2.641	-0,3
Petroquímica	1.590	1.571	1.548	-0,3
Celulose	980	950	928	-0,5
Pasta mecânica	2.189	2.139	2.104	-0,4
Papel	791	772	752	-0,5
Cimento	122	119	116	-0,5

Nota: ¹ Inclui autoprodução.

Fonte: Nota técnica EPE: Projeções de demanda de energia elétrica - 10 anos (2012-2021)

No caso do setor químico, um aspecto contribui para um aumento na eficiência energética: o aumento da participação da cadeia do propeno (menos eletrointensiva), provocando uma queda no consumo específico de eletricidade no segmento petroquímico.

Avalia-se que a indústria como um todo obtenha, no final do horizonte, em 2021, ganhos em eficiência elétrica, que podem atingir mais de 17,9 TWh, o que equivale, de acordo com os estudos de energia em elaboração na EPE para os próximos 10 anos (horizonte 2021), a 2,3% do total do consumo de energia elétrica projetado para o ano de 2021.

Em termos de geração evitada, essa economia de energia da indústria equivale, aproximadamente, à energia produzida por uma usina termelétrica a gás natural com 5.600 MW, potência superior a 5,6 vezes a usina termelétrica de Santa Cruz, localizada no município do Rio de Janeiro. Equivale, ainda, a mais que geração anual de uma usina hidrelétrica com cerca de 3.600 MW, que representa mais que a potência da usina de Ilha Solteira (localizada no estado de São Paulo) ou ainda, a mais da metade da Usina de Itaipu (parte brasileira).

6.3 Combustíveis

Para efeito desta Nota Técnica, os demais energéticos utilizados na indústria foram tratados de forma agregada.

Avalia-se que a indústria como um todo possa obter, no final do horizonte, em 2021, ganhos em eficiência energética no uso de combustíveis que podem atingir 12 milhões de tep, o que equivale, de acordo com os estudos de energia para os próximos 10 anos, a 7% do total do consumo industrial de combustíveis projetado para o ano de 2021.

Essa economia de energia corresponde aproximadamente a 251 mil barris equivalentes de petróleo por dia, ou seja, cerca de 12% da produção diária brasileira de petróleo em 2011.

Entre as indústrias para as quais se avaliam maiores ganhos de eficiência energética no uso dos combustíveis estão a cerâmica, na aplicação de aquecimento direto – fornos e secadores, e a indústria de ferro gusa e aço, também na aplicação de aquecimento direto – nos processos de redução, lingotamento contínuo, laminação e etc. Também se visualizam ganhos relevantes na mineração e na indústria de cimento.

Em termos da contribuição setorial no total de combustível conservado, assim como no caso da energia elétrica, o “*ranking*” tende a acompanhar o peso específico do setor na estrutura do consumo. As exceções são os setores de papel e celulose e alimentos e bebidas, cuja participação na conservação se mostra relativamente maior, e, em contraposição, ao setor têxtil, que tem uma importância na estrutura de consumo maior do que sua participação nos ganhos de eficiência energética. Esta pequena alteração de ordem decorre da identificação de maiores potenciais de ganho relativo no consumo de combustíveis comparativamente a outros segmentos industriais. Por exemplo, nos fornos utilizados em produção cerâmica e caldeiras na produção de celulose e papel.

6.4 Resultados globais de eficiência energética no setor industrial

O consumo energético total da indústria, considera a participação de todas as fontes energéticas, inclusive eletricidade, utilizadas especialmente para aquecimento direto e calor de processo, esses dois usos finais representam cerca de 77% do consumo desse setor.

Para a demanda de eletricidade, projeta-se uma conservação de 4,5% prevista para 2021, equivalente a aproximadamente 17,9 TWh, como apresentada na Tabela 24. Esse montante conservado em 2021 equivale a mais de 90% do consumo de eletricidade da indústria de papel e celulose (19,1 TWh) no ano de 2011, dados do BEN (2012).

Tabela 24 - Setor industrial: consumo de eletricidade e eficiência energética

	2012	2016	2021
Consumo			
Consumo sem conservação, GWh	248.150	317.809	402.125
Energia elétrica conservada, GWh	1.855	8.106	17.907
Energia elétrica conservada, %	0,8	2,6	4,5
Consumo com conservação, GWh	246.295	309.703	384.218
Intensidade elétrica			
Sem conservação, kWh/10 ³ R\$ [2010]	272	283	280
Com conservação, kWh/10 ³ R\$ [2010]	270	276	267

Nota: Inclui o setor energético

Fonte: Elaboração EPE

A Tabela 25 mostra a projeção do consumo total de energia, que considera a eletricidade e os combustíveis, a conservação prevista para 2021 é de 6,9%, equivalente a aproximadamente 13,7 milhões de tep.

Tabela 25 - Setor industrial: consumo de energia e eficiência energética

	2012	2016	2021
Consumo			
Consumo sem conservação, 10 ³ tep	117.464	153.562	198.356
Energia conservada, 10 ³ tep	733	5.056	13.763
Energia conservada, %	0,6	3,3	6,9
Consumo com conservação, 10 ³ tep	116.732	148.506	184.593
Intensidade energética			
Sem conservação, tep/10 ⁶ R\$ [2010]	129	137	138
Com conservação, tep/10 ⁶ R\$ [2010]	128	132	129

Nota: Inclui o setor energético

Fonte: Elaboração EPE

7 SETOR DE TRANSPORTES¹⁴

No setor de transportes, a definição de uma política para os modais aplicáveis para o transporte de cargas ou mesmo para o transporte coletivo de passageiros nas regiões metropolitanas pode alterar completamente o quadro da demanda setorial de energia e, por conseguinte, qualquer estimativa da eficiência energética no setor. Além disso, há reconhecidas dificuldades na obtenção de dados primários que permitam desagregar mais convenientemente o consumo de energia de acordo com a modalidade de transporte, se de cargas ou de passageiros e, nesse caso, se coletivo ou individual, entre outras informações básicas.

As projeções são aqui obtidas a partir da divisão, quanto ao seu objetivo, de mover pessoas (aqui chamadas de passageiros) ou cargas.

Outro corte metodológico adotado nessa análise considera a divisão correspondente ao tipo de modal em que se processo o transporte de carga e passageiros, a saber: modais rodoviário, aquaviário, ferroviário e aéreo, segundo os principais energéticos empregados.

A avaliação da eficiência energética no setor de transporte foi realizada a partir da contabilização concebida que se baseou na conjugação da modelagem desenvolvida que envolve duas abordagens *top-down* e *bottom-up*, que convergem a um sistema único, que consolida as informações e compara a coerência entre os modais de transporte.

Na abordagem *bottom-up* (ou contábil) são empregados modelos do tipo técnico-paramétricos, que partem de dados e informações desagregadas para a obtenção das projeções de demanda para cada segmento, modal e energético, tais como: vendas de automóveis, curvas de sucateamento e consumo específico.

Já a abordagem *top-down* utiliza formulações econométricas e dados agregados para a obtenção das projeções de demanda por segmento, modal e energético, expressos em função de duas variáveis chave: nível de atividade e intensidade energética. Nesta metodologia, destaca-se que, tanto para cargas quanto para passageiros, o nível de atividade (tonelada-quilômetro e passageiro-quilômetro) é determinado, de forma geral, a partir de sua correlação com o PIB do país.

Para as projeções de demanda de energia, deste setor é importante ressaltar que a metodologia empregada possibilita internalizar ganhos de eficiência técnica, como aqueles proporcionados pela substituição de automóveis ao término de sua vida útil por outros mais eficientes (efeito intensidade).

¹⁴ A estimativa do potencial de eficiência energética do setor de transportes foi realizada pelos técnicos da Superintendência de Derivados do Petróleo e Biocombustíveis da EPE: Giovani Machado, Amanda Aragão, Angela Oliveira da Costa, Marcelo Cavalcanti e Patricia Stelling, coordenados pelo superintendente, Ricardo Valle.

O resumo das principais premissas utilizadas nas projeções é descrito a seguir.

Modal Rodoviário

Para o segmento rodoviário de cargas, considera-se um incremento de 1% ao ano no rendimento médio dos motores de autoveículos novos a partir de 2011.

Para o segmento rodoviário de passageiros, considera-se que a média de ocupação nos autoveículos leves é de 1,5 passageiros por quilômetro (ANTP, 2008). Estima-se a manutenção desta média até 2021. O crescimento das vendas de veículos novos (efeito renda) não compromete a projeção da curva de quilometragem percorrida, no período analisado.

Modais Aeroviário e Aquaviário

Os modais aéreo e aquaviário, para transporte de passageiro foram modelados a partir de abordagens contábeis (técnico-paramétricas) associadas a formulações econométricas, incorporadas diretamente no modelo *top-down*, na forma de indicadores médios de atividade (passageiro-quilômetro e tonelada-quilômetro) e de intensidade energética.

No modal aéreo, considerou-se um aumento em função da atividade de transporte associada aos eventos de Copa do Mundo e Olimpíada, nos anos de 2014 e 2016 com um adicional de 2% além do expresso a partir da correlação com o PIB. O potencial de eficiência energética em aeronaves está associado aos avanços tecnológicos, que ocorrem principalmente em aperfeiçoamentos aerodinâmicos e reduções de peso. Esse potencial de eficiência é estimado em 1,0-2,2% ao ano no horizonte de análise (*Lee et al*, 2001). Por outro lado, como os voos regionais aumentam no Brasil, optou-se por uma abordagem conservadora no ganho de eficiência das aeronaves, pois voos regionais são mais curtos e realizados com aeronaves menores (ou com menor fator de ocupação), piorando assim a eficiência energética. Além disso, problemas de gerenciamento do espaço aéreo e dos aeroportos também reduzem o ganho de eficiência energética na aviação (aguardar para pousar e decolar gasta QAV, mas não gera o serviço energético principal, o deslocamento). Assim, o indicador médio de intensidade energética do setor considera uma redução de 1% ao ano de 2012 a 2021.

Para o modal aquaviário de cargas, as projeções de atividade foram correlacionadas com o PIB, acrescidas de um ganho de atividade, decorrente da substituição modal e a intermodalidade favorável ao transporte aquaviário, como no aumento no transporte de cabotagem do petróleo para as refinarias e de seus derivados para o mercado, em função, dentre outras, da localização de novas refinarias.

Modal Ferroviário

Na segmentação metrô e trem, foi usada uma abordagem desagregada por linha férrea/sistemas metroviários, considerando as informações como extensão de linha, atividade (passageiro-quilômetro e tonelada-quilômetro), intensidade de uso das linhas etc. Essas informações são utilizadas para definir indicadores médios de atividade e de intensidade energética, que alimentam o modelo *top-down* de projeção de demanda, como nos casos citados anteriormente. Sempre que necessário, foi utilizado um processo de iteração para harmonizar as projeções oriundas das abordagens *top-down* e *bottom-up*.

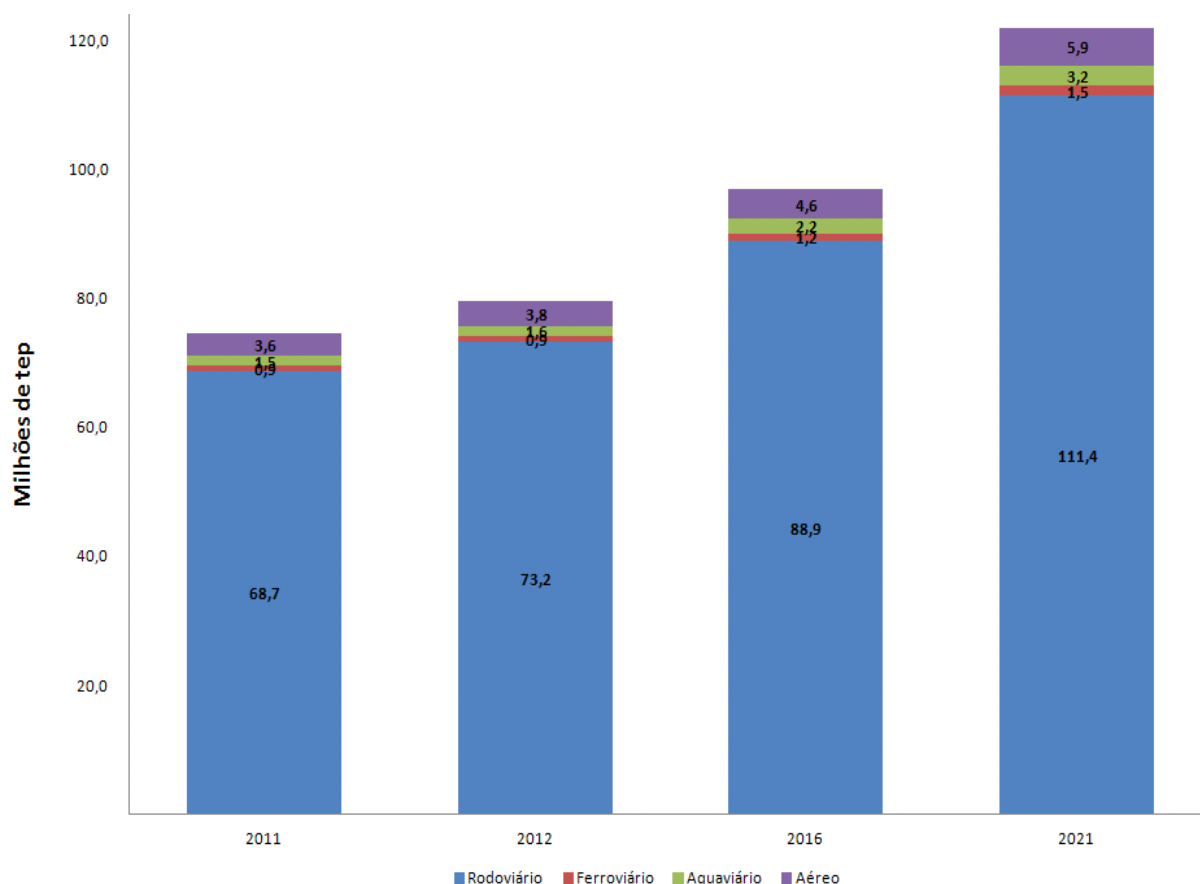
Já para o transporte ferroviário de cargas, a atividade é estimada tomando-se como base o Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT) (CENTRAN, 2007), e os projetos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 1 e 2), assim como a expansão da Estrada de Ferro Carajás, projeto que não está incluído no PAC, mas acrescentará 100 km de linha além da duplicação de um trecho de 605 km.

A extensão projetada da malha férrea para transporte de cargas, em 2021, se aproxima dos 41,5 mil km, estes valores projetados estão em conformidade com o Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT).

Projeção do Consumo por Modal

A taxa de crescimento médio do consumo energético para o modal rodoviário é de 5,0% ao ano, no período 2012-2021. As projeções indicam um crescimento médio de 5,0% ao ano (63,3% no período) da demanda de energia do setor transporte, chegando a 122 milhões de tep em 2021, como indicado no Gráfico 13.

Gráfico 13 - Consumo energético por modal



Fonte: Elaboração EPE

7.1 Eficiência no Transporte

Para estimar a energia conservada no setor transporte, subtrai-se a projeção de consumo de energia realizada por fonte do consumo que ocorreria na ausência dos ganhos de eficiência energética (ou “consumo sem conservação”). O “consumo sem conservação” é obtido aplicando-se a mesma intensidade energética por fonte registrada no ano-base¹⁵ à projeção da atividade de transporte por modal¹⁶.

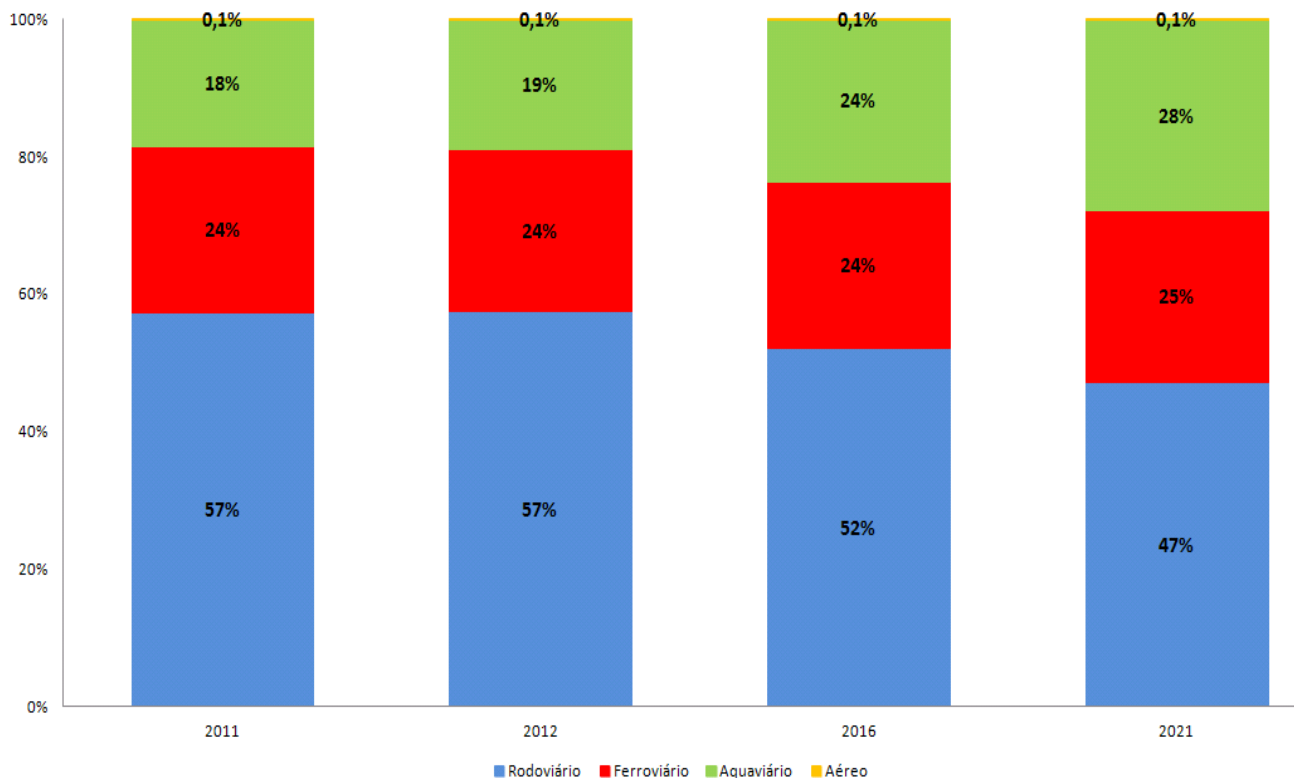
A evolução da distribuição da atividade do transporte de cargas mostra significativa transferência de modal, do setor rodoviário para os modais ferroviário e aquaviário. A participação destes últimos aumenta de 43% para 53% entre 2011 e 2021, o que significa uma

¹⁵ Por isso, o “consumo sem conservação” também é chamado “consumo com intensidade energética congelada”.

¹⁶ Cabe destacar que, ao se optar por uma abordagem de energia conservada por fonte e por modal, não se consegue mensurar todo o ganho sistêmico de eficiência energética (como ocorreria numa abordagem agregada para o total de energia do setor transporte). Todavia, para que as emissões de CO₂ evitadas fossem avaliadas, foi necessário desagregar para estimar a energia economizada por fonte.

redução do modal rodoviário com uma perda de cerca de 10% da preponderância histórica do transporte de cargas rodoviário (frete), divididos nos modais ferroviário e aquaviário, como mostra o Gráfico 14.

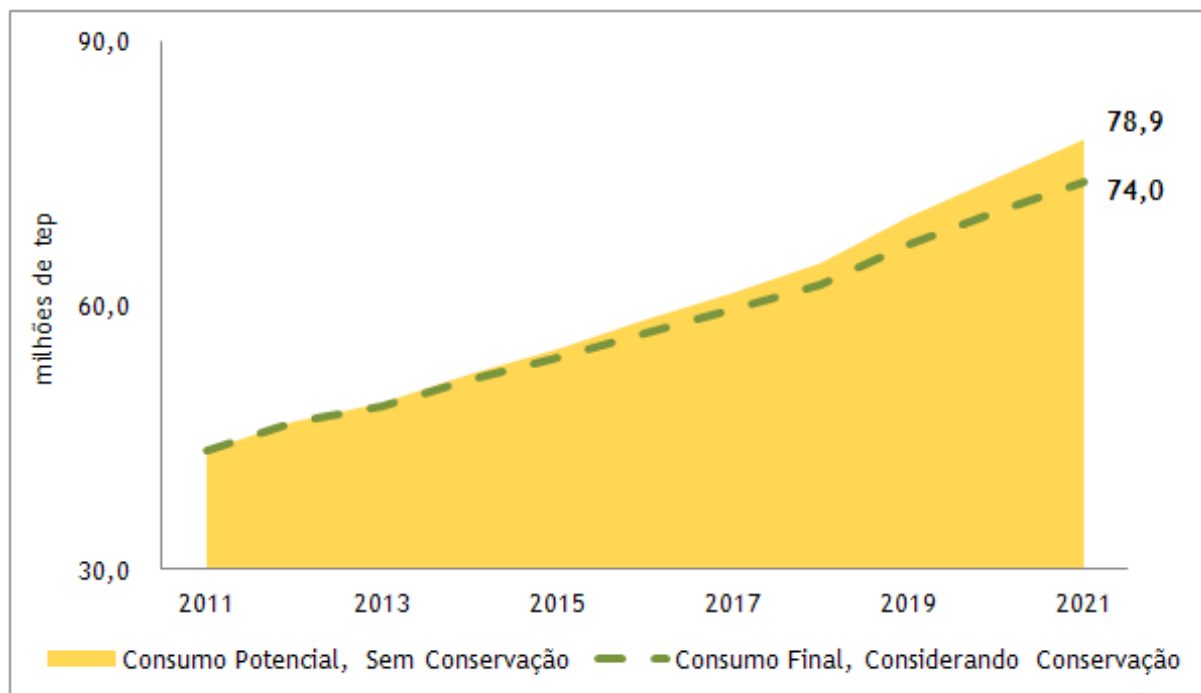
Gráfico 14 - Matriz de transportes: atual e projeção



Fonte: Elaboração EPE

Segundo as projeções para o setor de transportes, o segmento de passageiros, alcançará em 2021 uma redução de 6,2%, que representa 4,9 milhões de tep na demanda, como mostra o Gráfico 15.

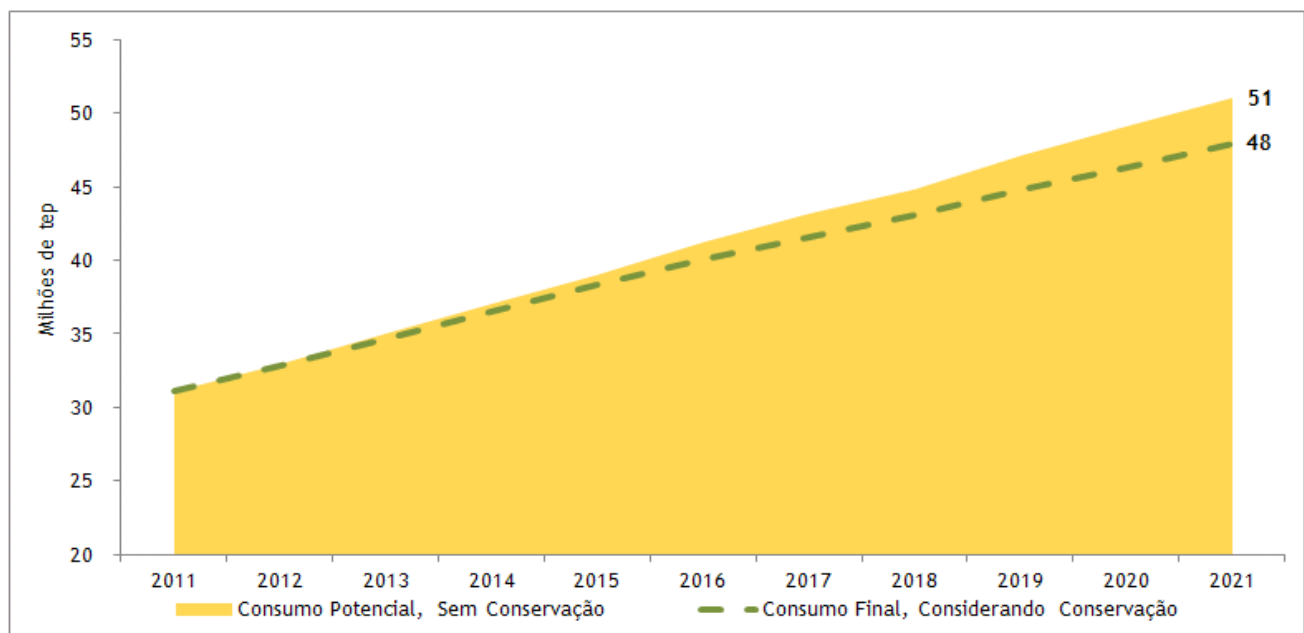
Gráfico 15 - Projeção para o setor de transporte, segmento de passageiro (milhões de tep)



Fonte: Elaboração EPE

Os ganhos de eficiência estimados para o transporte de cargas totalizaram 6,1% em 2021, que representa 3 milhões de tep, como mostra o Gráfico 16.

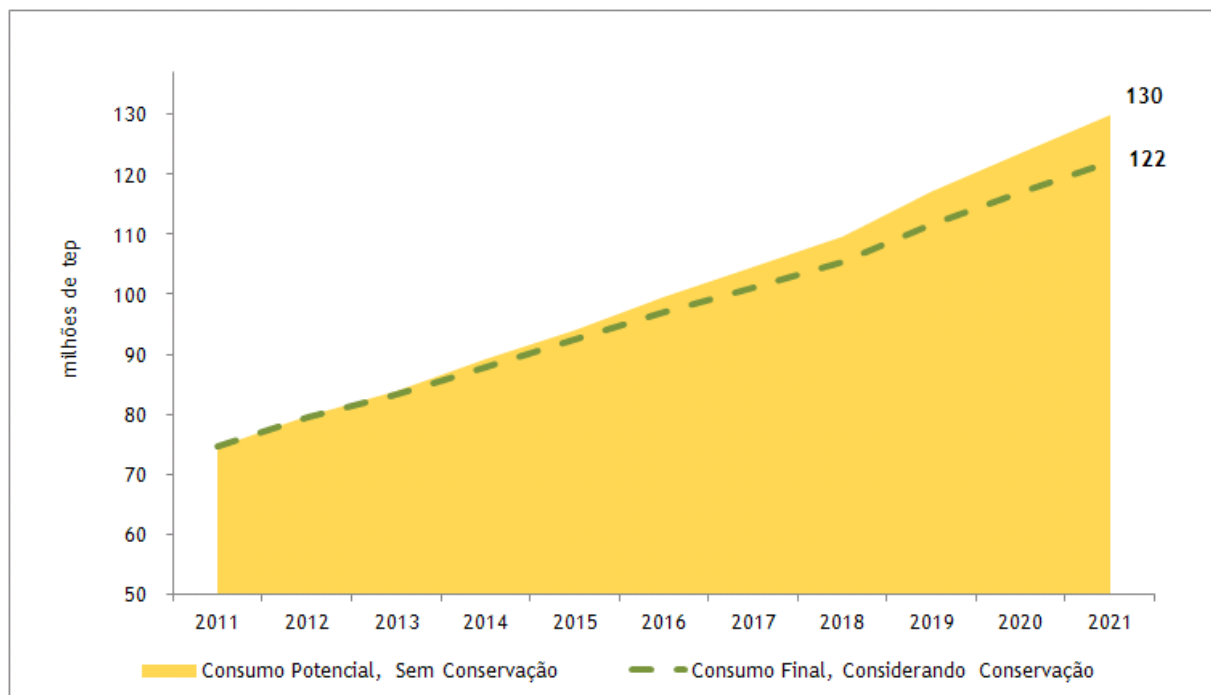
Gráfico 16 - Projeção para o setor de transporte, segmento de cargas (milhões de tep)



Fonte: Elaboração EPE

Com isto, o setor de transporte totaliza ganhos de eficiência da ordem de 6,2% em 2021, como mostrado no Gráfico 17, chegando a um total de 35 milhões de tep economizados no período 2011-2021, em comparação ao cenário que congela a estrutura de modais do ano base (2011).

Gráfico 17 - Projeção para o setor de transporte total - cargas e passageiro (milhões de tep)



Fonte: Elaboração EPE

7.2 Resultados globais de eficiência energética no setor de transportes

Os ganhos de eficiência assim calculados para o setor de transportes são apresentados na Tabela 26.

Projeta-se, para o setor de transportes uma conservação de 6,2% em relação à demanda de energia final prevista para 2021, equivalente a aproximadamente 8 milhões de tep, equivalente a aproximadamente 7,3% da produção média de petróleo no ano de 2011.

Tabela 26 - Setor de transportes: consumo de energia e eficiência energética (10^3 tep)

Consumo	2012	2016	2021
Consumo sem conservação	79.799	99.678	130.002
Energia conservada	298	2.762	8.036
Energia conservada, %	0,4	2,8	6,2
Consumo com conservação	79.501	96.915	121.966

Fonte: Elaboração EPE

8 DEMAIS SETORES DE CONSUMO FINAL

8.1 Considerações iniciais

Excluído o setor energético, pode-se afirmar que os setores residencial, industrial e transportes, analisados nas seções precedentes quanto à eficiência energética intrinsecamente considerada na projeção dos respectivos consumos de energia, representam 90% do consumo final energético¹⁷.

Os outros setores apresentam especificidades que tornam complexa, ou mesmo impraticável, uma avaliação mais pormenorizada da eficiência energética.

Para efeito do horizonte de análise, esta Nota Técnica não explicita o conteúdo de eficiência energética intrinsecamente considerado nas projeções de demanda de energia para os demais setores.

8.2 Setor agropecuário

O consumo de energia no setor agropecuário, correspondente a 4,3% do consumo final energético no país¹⁸, é basicamente concentrado em três fontes, a saber: óleo diesel (57,2%), lenha (24,7%) e eletricidade (17,6%). Dessas, o que vem apresentando maior crescimento é a eletricidade, ao ritmo médio de 3,3% ao ano nos últimos 10 anos.

No âmbito dessa Nota Técnica, os ganhos de eficiência energética na evolução da demanda desse setor indicam que os efeitos combinados dos progressos tendenciais e induzidos resultam, em 2021, em um abatimento da demanda setorial de energia em torno de 2,0% ou 276 mil tep, onde cerca de 80% dessa economia está concentrada no óleo diesel e lenha.

8.3 Setor comercial

De acordo com o BEN 2012 (EPE, 2012), o consumo de energia no setor comercial corresponde a 3,1% do consumo final energético do país, exclusive o setor energético. A fonte preponderante é a eletricidade, que concentra cerca de 90% da energia total consumida no setor. A expansão do setor se dá com sustentação desta proporção em todo o horizonte, visto que o consumo relacionado à iluminação, refrigeração e força motriz, usos mais relevantes neste setor, é praticamente exclusivo desta fonte.

¹⁷ De acordo com os dados do BEN (EPE, 2012), os setores residencial, industrial e transportes representaram 81,4% do consumo final energético no ano de 2011, sendo 10,3% referentes ao consumo das famílias, 38,7% ao consumo das indústrias e 32,5% ao consumo dos transportes.

¹⁸ Com base em dados do BEN 2012, exclusive setor energético.

Da mesma forma que no setor residencial, a avaliação da eficiência energética no setor comercial e de serviços requer ampla pesquisa sobre posse e uso de equipamentos. Neste caso é ainda limitado o conhecimento de sua estrutura, tendo em vista tratar-se de um setor bastante heterogêneo. Com efeito, incluem-se no setor comercial os *shopping centers*, estabelecimentos comerciais tradicionais do comércio varejista, inclusive bares e restaurantes, estabelecimentos do comércio atacadista, hotéis e instalações de lazer e turismo, estabelecimentos financeiros, escritórios e estabelecimentos de serviços médicos, estabelecimentos de ensino etc. Naturalmente, cada tipo de consumidor tem um perfil de consumo diferente, envolvendo usos e costumes diferentes, o que torna especialmente complexa a avaliação da eficiência energética nesse setor.

Ainda assim, no âmbito das projeções realizadas, foi possível estimar a eletricidade conservada no setor comercial partindo dos ganhos energéticos apurados nas duas últimas edições do BEU (anos bases: 1994 e 2004) e admitindo-se a manutenção da dinâmica histórica destes ganhos no horizonte deste trabalho (2011-2021). Segundo este procedimento de cálculo, estima-se em 4,3% a energia elétrica conservada neste setor no ano de 2021, o equivalente a uma redução de cerca de 5.800 GWh, e, para o montante da energia final conservada, que considera a parcela da eletricidade e combustível, estima-se uma redução de 4,4% no ano de 2021, que equivale a 561 mil tep.

O setor apresenta forte crescimento no período, devido, por um lado, ao aumento da renda da população e, conseqüentemente, ao maior acesso a bens de consumo, à educação, e a serviços de saúde e entretenimento. Por outro lado, a realização de grandes eventos esportivos no país proporciona melhorias significativas na infraestrutura para alojamento e turismo. O número de *shoppings centers* e supermercados aumentam, bem como do comércio varejista em geral.

9 RESULTADOS CONSOLIDADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Tabela 27 apresenta a consolidação dos resultados da contribuição da eficiência energética na redução da demanda de energia no PDE. De acordo com essas estimativas, as ações de eficiência energética contribuirão para reduzir a demanda de energia em aproximadamente 24 milhões de toneladas equivalente de petróleo em 2021. Os montantes de ganho de eficiência alcançados, por setor de consumo, são ilustrados no Gráfico 18.

Tabela 27. Brasil: Consumo de energia e eficiência energética (10^3 tep)

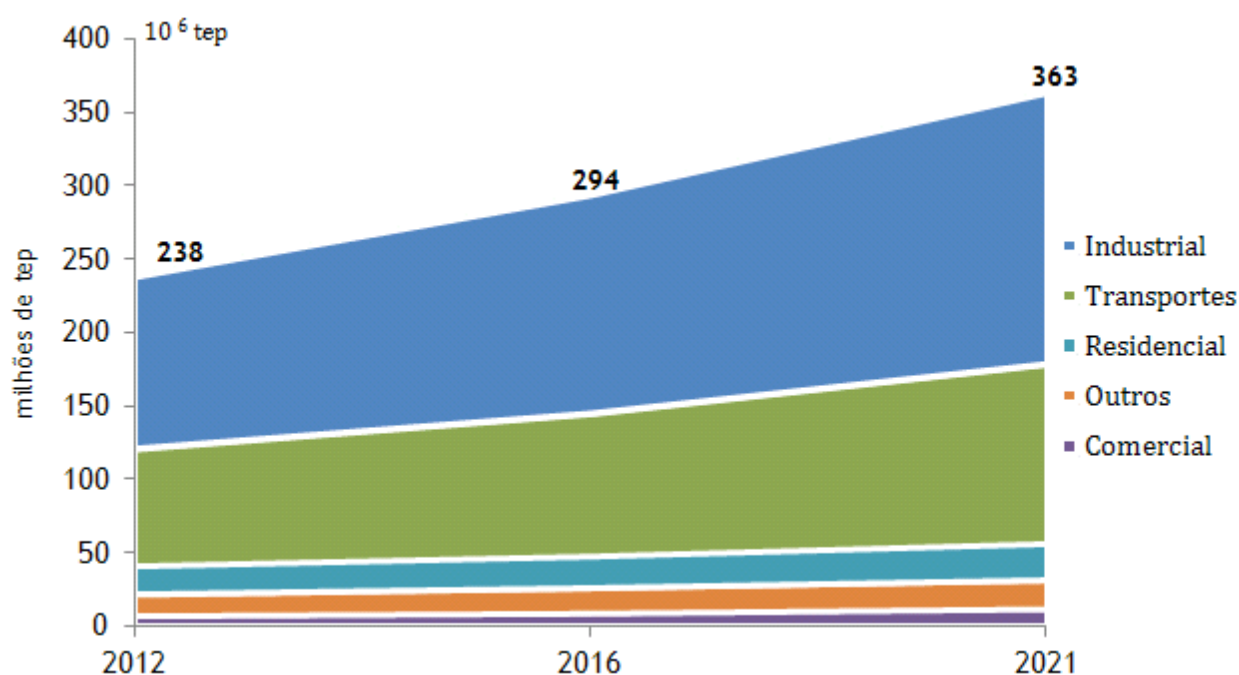
Consumo ¹	2011	2012	2016	2021
Consumo potencial sem conservação	228.928	239.406	302.830	388.490
Energia conservada		1.163	8.773	24.693
Energia conservada (%)		0,5	2,9	6,4
Consumo final, considerando conservação	228.928	238.242	294.057	363.798
Emissões Evitadas com a Eficiência MtCO ₂ ⁽²⁾		4,1	22,8	59,6

Nota: ⁽¹⁾ Corresponde ao consumo total de eletricidade em todos os setores somado ao consumo de combustíveis em todos os setores, exceto o residencial.

⁽²⁾ Corresponde a energia conservada total (eletricidade e combustíveis) em todos os setores. No cálculo das emissões evitadas para o Setor de Transportes, foi considerada a redução de emissões devido ao aumento de eficiência energética em veículos leves Ciclo Otto e transporte de cargas. Não foi contemplada a eficiência sistêmica (mudança de modal) nesse cálculo.

Fonte: Elaboração EPE

Gráfico 18 - Projeção do consumo energético por setor, considerando o consumo evitado pela conservação de energia (milhões de tep)



Fonte: Elaboração EPE

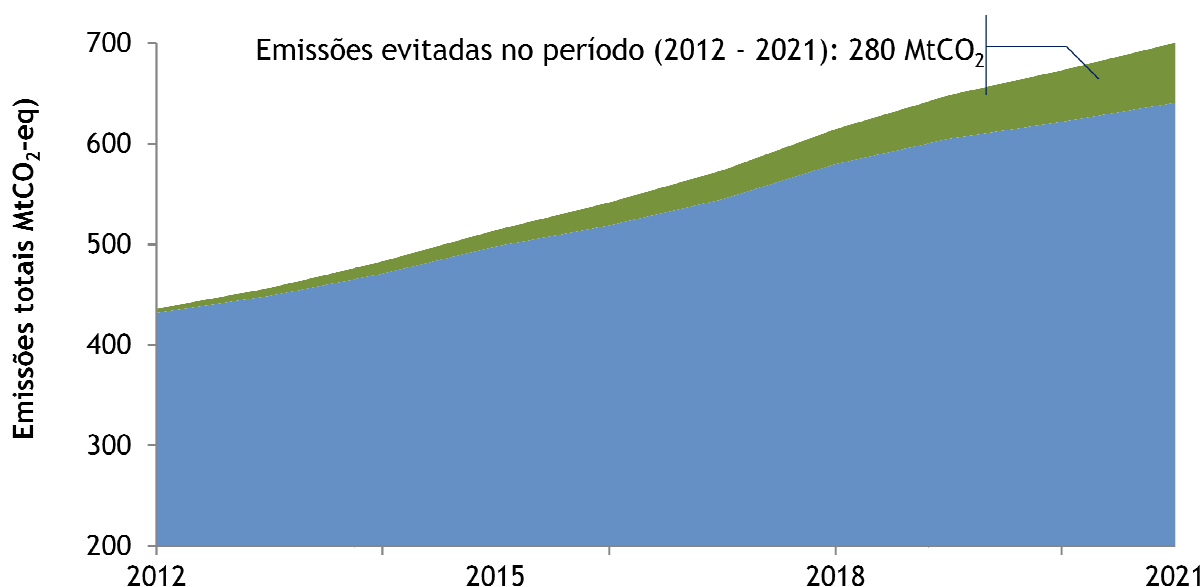
Adicionalmente, a este consumo evitado de energia corresponde o seguinte volume aproximado de emissões evitadas de gases de efeito estufa em 2021¹⁹:

- Devido à conservação de combustíveis fósseis: cerca de 38,1 MtCO₂;
- Devido à conservação de eletricidade: entre aproximadamente 2 MtCO₂ (considerando o fator de emissão médio do Sistema Interligado Nacional no período 2012-2021, equivalente a 0,04266 tCO₂/MWh) e 21,5 MtCO₂ (assumindo-se que o consumo evitado de eletricidade é gerada a partir de uma geração termelétrica a gás natural como usina marginal).

Ou seja, a eficiência energética tem uma importante contribuição nas emissões evitadas de CO₂-eq, podendo variar entre 40,1 e 59,6 MtCO₂. Isto equivale a evitar aproximadamente de 2 a 3 vezes a emissão de CO₂ devido à geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) no ano de 2011, que foi da ordem de 19 MtCO₂.

Conforme se pode observar no Gráfico 19, estima-se para o período de 2012-2021, que as iniciativas de eficiência energética contribuam para evitar 280 milhões de toneladas de CO₂ no país. As emissões evitadas com as ações de eficiência energética até 2021 equivalem às emissões emitidas pelo setor de transportes no ano de 2021.

Gráfico 19 - Emissões de CO₂-eq evitadas devido à eficiência energética (MtCO₂)



Fonte: Elaboração EPE

As projeções de demanda de energia para os próximos 10 anos, já embutem a parcela de consumo evitado devido à eficiência energética em todos os setores. Em dez anos, estima-se que

¹⁹ A estimativa das emissões de gases de efeito estufa foi realizada pelos técnicos da Superintendência de Meio Ambiente: Marcos Ribeiro Conde e Ana Dantas Mattos, coordenados pela superintendente, Edna Elias Xavier.

as ações de eficiência energética no consumo de combustíveis e eletricidade contribuam para reduzir a demanda em mais de 6% em 2021. São os setores industrial e de transportes aqueles com maior parcela de contribuição a estes ganhos, decorrentes de ações relacionadas, principalmente a: PBE veicular, detalhamento de novos índices de eficiência energética mínima (lei nº 12.195/2001), impactos do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) e reposição tendencial de equipamentos na indústria. Na conservação de eletricidade, destaca-se, em especial, a regulamentação específica sobre as lâmpadas incandescentes (portaria interministerial nº 1.007/2010), que contribuiriam com a redução de demanda de eletricidade em cerca de 7,5 TWh em 2021.

Destaca-se, ainda que, embora não seja exatamente uma ação de eficiência energética, mas sim redução da demanda de energia por substituição, o programa de energia solar no Programa Minha Casa Minha Vida, estima-se contribuir para redução de demanda de eletricidade da ordem de 5,4 TWh em 2021.

Dessa forma, estima-se que em 2021 a energia total conservada atingirá os potenciais abaixo:

- Total de conservação de eletricidade: 48 TWh, que equivale à geração de uma usina hidroelétrica com potência instalada de cerca de 10.000 MW, equivalente a três usinas de Xingó;

Total de conservação de combustíveis: 20.500 mil tep, se expresso em barris equivalentes de petróleo, é de cerca de 410 mil barris por dia, ou aproximadamente 20% do consumo de petróleo no país em 2011.

10 REFERÊNCIAS

ANTP . Relatório Geral de Mobilidade Urbana 2008. Associação Nacional de Transportes Públicos. Disponível em <http://portal1.antp.net/>, acesso em março de 2010.

BASTOS, F. Análise da política de banimento de lâmpada incandescentes do mercado brasileiro. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

CENTRAN . Plano Nacional de Logística e Transportes - PNLT 2008-2023: Relatório Executivo. Centro de Excelência em Engenharia de Transportes, Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Departamento de Engenharia e Construção (DEC), Revisão 00, ABRILCNI - Confederação Nacional da Indústria. Eficiência Energética na Indústria (Boletim). Brasília: CNI, 2007.

CONPET. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) & A Etiquetagem de Aparelhos Domésticos e a Gás Rio de Janeiro, Resultados dos Programas. Disponível no site: <http://www.conpet.gov.br>.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. Eficiência Energética na Indústria: O Que foi feito no Brasil, Oportunidades de Redução de Custos e Experiência Internacional. 2009.

DFT. Average Car Occupancy: 1995/97 to 2008. Department for Transport, United Kingdom.2010.

DUARTE, C. H., Goes, R. R. A., e Aguiar, J. C. Eficiência Energética e Consumo de Energia: Posse e Uso da Televisão no Brasil. II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética - IICBEE. Vitória/ES, Brasil.2007.

EIA - Energy Information Administration. Residential Energy Consumption Survey [RECS]. Residential Consumption of Electricity by End Use, 2001. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/emeu/recs/recs2001/enduse2001/enduse2001.html>>. Acesso em: 27. out. 2009.

ELETROBRAS - Centrais Elétricas S.A.. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (ano base 2005). Classe Residencial - Relatório Brasil. Rio de Janeiro, RJ: julho/2007.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

_____. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. Simulação de Potenciais de Eficiência Energética Para a classe residencial. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

_____. Nota Técnica EPE: projeções de Demanda de Energia Elétrica - 10 anos (2012-2021). Disponível em:

http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20120104_1.pdf. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

_____. Balanço Energético Nacional 2012, ano base 2011. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

EPRI - Electric Power Research Institute. Assessment of Achievable Potential from Energy Efficiency and Demand Response Programs in the U.S. (2010-2030) - Technical Report. Palo Alto, CA (Estados Unidos): EPRI, 2009.

HORDESKI, M. Dictionary of Energy Efficiency Technologies. Lilburn, GA (Estados Unidos): The Fairmont Press, 2005.

IAEA - International Atomic Energy Agency. Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodology. Vienna (Áustria): IAEA, 2005.

_____. Brazil: A Country Profile on Sustainable Energy Development. Viena: IAEA, 2006.

IEA - International Energy Agency. Mind the Gap: Quantifying Principal-Agent Problems in Energy Efficiency. Paris (França): IEA, 2007.

_____. Key World Energy Statistics 2012. Paris (França): IEA, 2012.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Eficiência Energética - Programa Brasileiro de Etiquetagem. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>> Acesso em 22 dezembro. 2011.

LEE, J., Lukachko S., Waitz, I. e Schafer, A. Historical and Future Trends in Aircraft Performance, Cost, and Emissions, Annual Review of Energy and the Environment, Volume 26.2001

LEONELLI, P. Cenários de Oferta e Preços de Energia: Papel da Eficiência Energética e da Cogeração de Energia - Visão Presente e Futura. In: 3º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética e Cogeração de Energia. São Paulo: MME, 2006.

MARQUES, M., HADDAD, J. e MARTINS, A. Conservação de Energia: Eficiência energética de equipamentos e instalações. Itajubá: FUPAI, 2006.

MME/FDTE- Ministério de Minas e Energia / Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia. Balanço de Energia Útil 2005. Brasília: MME, 2005.

MME - Ministério de Minas e Energia, 2010. Portaria Interministerial nº1.007, de 31 de Dezembro de 2010 - Regulamentação Específica que Define os Níveis Mínimos de Eficiência Energética de Lâmpadas Incandescentes. Diário Oficial da União nº4, 6 janeiro 2011, ISSN 1677-7042.2010.

MME/SPE - Ministério das Minas e Energia / Secretaria de Planejamento Energético. Grupo de estudos PROCEL/MME (Ceres/MME; Paulo Leonelli/MME; Sergio Bajay/UNICAMP; Jamil Haddad/UNIFEI; Luiz Horta/UNIFEI e PROCEL: George Soares; Eduardo Menandro; Marcos Cordeiro; Maria Cristina Paschoal; Clóvis José da Silva; Marcel Siqueira; Marco Aurélio Moreira; Fernando Perrone; Frederico Castro; Bráulio Motta). Em elaboração. Brasília-DF: MME, 2006.

MT - Ministério dos Transportes e MD - Ministério da Defesa. Plano Nacional de Logística e Transportes. Relatório Executivo. Abril de 2007. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/>>.

ODYSSEE. Energy Efficiency Indicators in Europe. Disponível em: <http://www.odyssee-indicators.org/>.2011.

PATTERSON, M. What is Energy Efficiency? - Concepts, Indicators and Methodological Issues. Energy Policy v. 24, n.5, p. 377-390, 1996.

SCHAEFFER *et al.* Estimativa do Potencial de Conservação de Energia Elétrica pelo Lado da Demanda no Brasil. Relatório Final. Projeto coordenado pelo Procel no âmbito do PNUD. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1998.

SCHIPPER, L. *et al.* Indicators of Energy Use and Carbon Emissions: Explaining the Energy Economic Link. Annual Review of Energy and the Environment n. 26, p. 49-81, 2001.

TOLMASQUIM, M. *et al.* Tendências da Eficiência Elétrica no Brasil: Indicadores de eficiência energética. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, ENERGE, 1998.

WWF - BRASIL. Agenda Elétrica Sustentável 2020: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo. Brasília - DF: WWF, 2006.