



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
COORDENADORIA DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENG. ELÉTRICA

PROJETO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

Título do Trabalho:
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SETOR RESIDENCIAL NO PLANEJAMENTO
ENERGÉTICO DO BRASIL

Trabalho Apresentado por:
Fabiano Antonio Gorski Xavier - 20721162

Orientador:
Benedito Antonio Luciano

Campina Grande – Paraíba
Setembro/2010

FABIANO ANTONIO GORSKI XAVIER

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SETOR RESIDENCIAL NO
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso, na área de Engenharia Elétrica, apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento parcial às exigências para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: **Benedito Antonio Luciano**

Campina Grande – Paraíba
Setembro/2010

FABIANO ANTONIO GORSKI XAVIER

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SETOR RESIDENCIAL NO
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado dia __ de setembro de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Professor Benedito Antonio Luciano

Orientador

Professor

Examinador

Sumário

Sumário.....	IV
Lista de Figuras	VI
Lista de Tabelas	VII
Lista de abreviações.....	VIII
Agradecimentos	X
Resumo	XI
1 Introdução.....	1
1.1 Objeto de Estudo.....	1
1.2 Eficiência Energética	1
1.3 Planejamento Energético	3
1.3.1 Ciclo de Planejamento Energético Integrado	3
1.3.2 Arranjos Institucionais.....	4
1.3.3 Componentes do Planejamento Energético	6
1.4 Estrutura do Trabalho	6
2 Definições, Conceitos e Metodologias.....	7
2.1 Eficiência Energética	7
2.2 Indicadores de Eficiência Energética.....	8
2.3 Energia Útil.....	10
2.4 Progressos Autônomo e Induzido	10
2.5 Aspectos Metodológicos.....	11
2.5.1 Contexto Econômico e Demográfico	11
2.5.2 Projeção da Demanda	12
3 Eficiência Energética no Balanço Energético Nacional – BEN.....	19
3.1 Introdução	19
3.2 Balanço Energético - BEN.....	19
3.3 Balanço de Energia Útil – BEU	19
3.4 O Setor Residencial	23
4 Eficiência Energética no Plano Decenal de Expansão da Energia - PDE 2019.....	24
4.1 Introdução	24
4.1.1 Premissas Básicas	24

4.1.2	Cenário de Referência	25
4.1.3	Contexto Econômico e Demográfico	26
4.1.4	Outras Considerações	27
4.2	Principais Resultados	27
4.2.1	Conservação Total	27
4.2.2	Setor Residencial	30
4.3	Potencial de Conservação de Energia no PDE	31
4.3.1	Geral	31
4.3.2	Energia Elétrica	32
4.3.3	Setor Residencial	34
5	Eficiência Energética no Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030	42
5.1	Preliminares	42
5.1.1	Apresentação	42
5.1.2	Estrutura	42
5.1.3	Aspectos Metodológicos	43
5.1.4	Cenários Macroeconômicos	45
5.2	Eficiência Energética	45
5.2.1	Projeções da Demanda.....	45
5.2.2	Eletricidade.....	51
6	Considerações finais.....	60
7	Bibliografia.....	62

Lista de Figuras

Figura 1: Cone de cenários - PNE 2030.	12
Figura 2: Representação do modelo do setor residencial.	14
Figura 3: Fluxograma básico do modelo de simulação paramétrico aplicado ao setor residencial - energia elétrica.	16
Figura 4: Variação da Energia Final, Útil e do Potencial de Economia de Energia - Evolução Brasil 1984 a 2004.	20
Figura 5: Projeção de evolução do percentual de domicílios com energia elétrica – Brasil.	35
Figura 6: Ganho de eficiência de equipamentos eletrodomésticos no horizonte 2019. .	39
Figura 7: PNE 2030 - Modelos de Cálculo Utilizados.	44
Figura 8: Evolução da participação das fontes no consumo final de energia(Cenário B1).	47
Figura 9: Evolução do consumo energético setorial (Cenário B1). Em milhares de tep.49	
Figura 10: Energia final conservada por cenário (% do consumo final).	51
Figura 11: Projeção do consumo final de eletricidade no Brasil (TWh).	52
Figura 12: Eficiência energética em 2030 – Progresso autônomo (TWh).	53
Figura 13: Consumo de Eletricidade e PIB.	54
Figura 14: Intensidade elétrica do PIB.	55
Figura 15: Consumo médio residencial (kWh/domicílio/mês).	56
Figura 16: Alternativas para atendimento à demanda de eletricidade.	57
Figura 17: Projeção do Consumo Final de Eletricidade (TWh).	59

Lista de Tabelas

Tabela 1: Indicadores energéticos selecionados.....	8
Tabela 2: Indicadores energéticos globais de países selecionados (2006).	9
Tabela 3: Evolução dos Rendimentos, Energéticos, Setores, e Usos Finais - Brasil em %.	21
Tabela 4: Evolução dos Rendimentos Energéticos, Setores e Usos Finais Brasil – em %.	21
Tabela 5: Variação dos Rendimentos Energéticos, Participação dos Efeitos da Tecnologia e da Sociedade – Brasil.....	22
Tabela 6: Participação Setorial Relativa.....	26
Tabela 7: Cenário socioeconômico referencial.	27
Tabela 8: Consumo de energia (total).....	28
Tabela 9: Consumo de eletricidade.	28
Tabela 10: Energia elétrica conservada (GWh).....	28
Tabela 11: Energia final total conservada (10^3 tep).....	29
Tabela 12: Indicadores associados ao consumo de eletricidade.....	29
Tabela 13: Setor residencial – Consumo de eletricidade.....	31
Tabela 14: Potencial de conservação de energia – BEU (10^3 tep/ano).....	31
Tabela 15: Potenciais de conservação de energia elétrica.	32
Tabela 16: Potencial de conservação em eletricidade em setores industriais selecionados.....	33
Tabela 17: Consumo final energético no setor residencial brasileiro em 2008.....	34
Tabela 18: Vida útil e posse média de equipamentos eletrodomésticos.	36
Tabela 19: Evolução do consumo unitário do estoque de equipamentos nos domicílios (em kWh/equipamento/ano).	38
Tabela 20: Eficiência energética no setor residencial. Energia elétrica.	41
Tabela 21: Projeções do consumo final de energia (milhares de tep).	46
Tabela 22: Projeções do Consumo Final de Energia – Setores (milhares de tep).....	48
Tabela 23: Eficiência energética por setor - Progresso autônomo (% do consumo final).	50
Tabela 24: Projeção do Consumo de Eletricidade por Setor (TWh).	56
Tabela 25: Potenciais de Eficiência Energética até 2030.	58

Lista de abreviações

Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA)
Balanço Energético Nacional (BEN)
Balanço de Energia Útil (BEU)
Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL)
Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás)
Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE)
Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)
Coordenação de Programas de Pós- Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE)
Consumo médio por consumidor residencial (CPC)
Confederação Nacional da Indústria (CNI)
Energia Útil (EU)
Energia Final (EF)
Energia Perdida (EP)
Energia não Recuperável (EÑR)
Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE)
Energy Services Company (ESCO)
Financiamento e apoio a projetos de eficiência energética (PROESCO)
Gás Carbônico (CO₂)
Gás de France (GDF Suez)
Gás liquefeito de petróleo (GLP)
Gerenciamento pelo lado da demanda (GLD)
Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS)
Global Environment Facility (GEF)
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)
International Energy Agency (IEA)
International Atomic Energy Agency (IAEA)
Medidas de eficiência energética (MEE)
Ministério de Minas e Energia (MME)
Modelo Integrado de Planejamento Energético (MIPE)
Modelo do Setor Residencial (MSR)
Modelo de Consistência Macroeconômica de Longo Prazo (MCMLP)
Modelo de Estimativa de Parâmetros Demográficos (MEDEM)
Modelo Integrado de Planejamento Energético (MIPE2)
Modelo de Estudo do Refino (M-Ref)
Modelo de Expansão de Longo Prazo (MELP)
Número de consumidores residenciais (NCR)
Oferta interna de energia (OIE)
Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
Óleos vegetais (H-Bio)
Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)
Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET)

Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras)
Plano Decenal de Expansão de Energia 2009 – 2019 (PDE 2019)
Plano Nacional de Energia 2005 – 2030 (PNE 2030)
Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)
Produto Interno Bruto (PIB)
População (POP)
Potencial de Economia de Energia (PEE)
Produtividade Total dos Fatores (PTF)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ)
Taxa de atendimento (TA)
Tonelada equivalente de petróleo (tep)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Universidade Federal do Campina Grande (UFCG)
Trabalho de conclusão do curso (TCC)
World Wildlife Fund (WWF)

Agradecimentos

Gostaria de agradecer especialmente ao Professor Doutor Benedito Antonio Luciano, pela dedicação e orientação ao longo do meu percurso na realização do trabalho de conclusão do curso de graduação em engenharia elétrica. Também sou grato pela oportunidade que me ofereceu no campo da pesquisa, que facilitou a minha inserção nos domínios do gerenciamento da demanda de eletricidade e da eficiência energética.

Agradeço também aos membros da coordenadoria do curso de graduação em engenharia elétrica, aos professores Mario Araujo Filho, Talvanes Meneses Oliveira, e a secretária Adail Silva Paz pelo importante papel que desempenharam ao longo de minha vida acadêmica.

Um agradecimento aos meus pais que sempre estiveram presentes em minha vida, me aconselhando e me ajudando a superar as dificuldades. À minha mãe Glacy Gonzales Gorski pela atenção, cuidados e carinho. E, em especial, ao meu pai Jurandir Antonio Xavier, pelo exemplo como profissional e como pessoa, sempre me ajudando a enfrentar os desafios nos domínios da ciência.

Resumo

No planejamento energético do Brasil, a eficiência energética é tratada no âmbito da conservação de energia, em suas duas vertentes: autônoma ou tendencial e induzida. Na vertente autônoma, ela é determinada implicitamente, isto é, produto autônomo do progresso técnico nas projeções da demanda. Na vertente induzida, ela é tratada como decorrente, sobretudo de programas governamentais, voltados ao fomento da economia ou conservação de energia. Produto final das estimativas é o potencial de eficiência, conservação ou economia de energia nos horizontes dos planos considerados. Tal potencial tem sido usado preponderantemente como instrumento de gerenciamento da oferta energética. Chama-se a atenção neste trabalho, no entanto, para a necessidade de que este potencial venha a ser ferramenta privilegiada de gerenciamento da própria demanda, convertendo-se em planos, programas e metas no planejamento energético.

1 Introdução

1.1 Objeto de Estudo

Objeto do presente trabalho é o estudo do tratamento dado ao tema da Eficiência Energética no Setor Residencial, no planejamento energético do Brasil. Esta investigação se dará mediante o exame e a apresentação do tratamento que a Eficiência Energética vem recebendo nos principais componentes do planejamento energético do país, nas últimas edições do Balanço Energético Nacional (BEN), publicação anual, cujo último número, ano 2010 (dados referentes ao ano 2009) só apareceu em seus resultados preliminares; do Plano Decenal de Expansão de Energia 2009 - 2019 (PDE 2019), cujo horizonte de análise é de dez anos; e do Plano Nacional de Energia 2005 - 2030 (PNE 2030), cujo horizonte de análise alcança 25 anos.

1.2 Eficiência Energética

O conceito de eficiência energética está intimamente ligado a dois aspectos fundamentais: A redução de perdas e a eliminação de desperdícios. A eficiência energética entrou na agenda mundial a partir dos choques no preço do petróleo dos anos 1973 e 1976. Desde então, tornou evidente o encarecimento do uso das reservas de recursos fósseis, tanto de seu aspecto econômico, quanto ambiental. Reconheceu-se, então, que os serviços poderiam ser realizados com menor gasto de energia, menores impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais. Equipamentos, bem como hábitos de consumo, passaram a ser analisados sob o foco da conservação da energia, apresentando-se muitas iniciativas que resultaram em maior eficiência energética, isto é, com custos de implantação menores que os custos de produção ou aquisição daquela energia cujo consumo é evitado.

Ultimamente, a busca pela eficiência energética passou a ter novas razões. À perspectiva de custos mais elevados da energia de origem fóssil, somou-se a preocupação com as mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global do planeta, atribuído, em grande medida, à produção e ao consumo da própria energia. Com isso, surgiram novas e definitivas razões que justificam destacar a eficiência energética tomando como base a oferta e o consumo de energia. Essa preocupação não deixa de ser importante no Brasil, em que o custo de produção de energia é competitivo, tendo uma matriz energética composta de quase metade de energias renováveis.

Diversas iniciativas na área da eficiência vêm sendo empreendidas há mais de 20 anos no país. Dentre estas iniciativas 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), sob a coordenação das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras); e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), sob a coordenação da empresa Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras). Também entrou na área mais recentemente, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), abrindo financiamentos específicos para a promoção de

eficiência energética (PROESCO). A experiência tem mostrado que, de fato, é possível economizar parcelas do consumo de energia por meio de iniciativas na área de eficiência energética.

Tais iniciativas, voltadas para o uso de equipamentos e hábitos que geram economia de energia na realização do mesmo serviço prestado, podem ser agrupadas como “medidas de eficiência energética - MEE”. Nos estudos de potencial de conservação de energia, costuma-se vislumbrar três cenários de introdução de tais medidas: o cenário técnico, o cenário econômico e o cenário de mercado.

Cenário Técnico: são estabelecidos parâmetros de penetração das medidas, dados pela substituição dos usos da energia por equivalentes, com tecnologias mais eficientes. Neste cenário, não estão considerados custos ou outros impedimentos de absorção da tecnologia, sendo, portanto, mais limites no balizamento de outros estudos.

Cenário Econômico: aqui se considera o subconjunto do cenário técnico cujas medidas são viáveis economicamente, o que depende da ótica de quem analisa. Neste cenário, compara-se as MEE com as alternativas de expansão do sistema elétrico, adotando-se variáveis que orientam essa expansão: taxa de desconto e o custo marginal de expansão. Contrapõem-se aí o investimento em evitar o uso da energia com a expansão do sistema.

Cenário de mercado: aqui são analisadas as medidas que se impõem “por si mesmas”, isto é, aquelas que trazem redução de custos ao usuário, sobretudo, taxa de desconto e tarifa elétrica. Na sua minimização, devem se voltar políticas públicas adequadas.

Quanto à relevância das medidas de eficiência energética no setor residencial, convém ter em conta que, de um lado, mais da metade do potencial de eficiência energética no Brasil, conforme estimativas realizadas a partir do BEU, encontra-se no consumo das famílias (setor residencial) e das indústrias. Ambos, em 2008, representaram quase 60% do consumo final energético do país. Esses setores são naturalmente os mais representativos para abordagens sobre eficiência energética, em particular aquela implícita na projeção da demanda de energia. Outra parcela importante do consumo final energético (33%) encontra-se no setor de transportes.

De outro lado, o consumo final energético no Brasil atingiu 211,7 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo) no ano de 2008. Com base no Balanço de Energia Útil (BEU), estima-se que, considerando as tecnologias disponíveis no mercado, há um potencial de eficiência energética que corresponde a 8,6%. Assim, nos estudos da demanda de energia, tanto nos de horizonte decenal quanto nos de mais longo prazo, torna-se inevitável que a questão da eficiência energética deva ser tratada com destaque. No entanto, tão grande quanto o potencial são também as carências do conhecimento e as limitações metodológicas e de dados primários que restringem uma abordagem mais abrangente e detalhada da questão da eficiência energética. É neste universo de questões que este trabalho está inserido.

1.3 Planejamento Energético

No decorrer da presente década, o Brasil tem experimentado um novo ordenamento no setor energético, provocando importantes alterações institucionais na direção de armar-se para enfrentar entraves e inadequações que colocavam em risco o suprimento de demandas e expansões no atendimento às projeções futuras. Tal ordenamento fez-se inadiável desde que o racionamento de energia elétrica ocorrido entre 2001 e 2002 mostrou a fragilidade dos modelos de auto – regulação dos mercados.

1.3.1 Ciclo de Planejamento Energético Integrado

Um ciclo de planejamento é um processo necessariamente recursivo, que se auto-alimenta. A partir das definições das políticas e das diretrizes, estudos e pesquisas serão elaborados na direção do desenvolvimento do campo planejado. Em particular, no campo energético, esse conjunto de estudos e pesquisas sistematizados e continuados constitui o ciclo de planejamento energético integrado.

O ciclo de planejamento no setor energético pode ser dividido em quatro etapas: diagnóstico, elaboração de diretrizes e políticas, implementação e monitoramento. Estas se sustentam em duas áreas de estudos e pesquisas. A primeira, análises de diagnóstico estratégico, enquanto a segunda compõem os planos de desenvolvimento energético.

Nas análises de diagnóstico, estão os estudos e levantamentos que identificam os potenciais energéticos, além de forma e custos de seu desenvolvimento. Nesse conjunto, considerando uma abordagem agregada, estão os estudos do Balanço Energético e da Matriz Energética. Os primeiros têm natureza estatística e retrospectiva. Já os segundos da Matriz, apresentam visão prospectiva. Mais pontual, estão os estudos e pesquisas específicos dos potenciais energéticos, incluindo-se aí levantamento e avaliação dos potenciais energéticos. Tem-se em conta aí o estado da arte, as perspectivas do desenvolvimento tecnológico e as condições de sustentabilidade sócio-ambiental.

Sem dúvida que o planejamento integrado exige coordenação também integrada. A lei tem atribuído esse papel ao Estado, não só pelo caráter estratégico que se reveste, mas também pelo potencial de impacto sócio-ambiental, interesses econômicos que envolvem e ainda pela própria competência constitucional da União de prover energia à sociedade. São exemplos, os estudos de inventário hidrelétrico de uma bacia hidrográfica que em geral são feitos por firmas especializadas. Porém, condução e coordenação devem garantir o conceito de aproveitamento ótimo do potencial, definido em lei.

Os resultados desses estudos e pesquisas são utilizados nas atividades de elaboração de planos de ação na viabilização da expansão da oferta de energia, conforme diretrizes definidas. Há, também, a atuação no âmbito do Congresso Nacional, a exemplo dos programas de incentivo ao desenvolvimento de fontes alternativas, de eficiência energética, da universalização dos serviços de energia elétrica e ainda da exploração de potenciais energéticos em terras indígenas. Há outros que, dada a relevância, a lei instituiu um conselho de assessoramento da Presidência da República, atribuindo-lhe competências específicas sobre determinadas matérias, como

o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE. Enfim, há a responsabilidade natural que, na organização administrativa do Executivo, está reservada ao Ministério de Minas e Energia.

Tanto análises, quanto planos carecem de estudos mais aprofundados no conhecimento da demanda de energia: suas características, perfil, distribuição espacial, potencial de evolução, entre outros. Tais estudos, por sua vez, estão no contexto mais amplo do próprio desenvolvimento econômico. Assim, os estudos e pesquisas associados às etapas de planejamento energético integrado desdobram-se em vários outros, tais como, a formulação de cenários macroeconômicos, projeções de mercado, formulação de alternativas para expansão da oferta, custos associados a essas alternativas, entre outros.

Além da interdependência, estes estudos tratam em comum de informações de caráter estratégico, dado o potencial de intersecção com o mercado e os interesses econômicos. Se a competição é a melhor forma de garantir o atendimento do interesse público no setor energético (subjacente à determinação constitucional de licitar as concessões do serviço público de energia elétrica, por exemplo), deve-se criar as condições para que essa competição ocorra. Nesse caso, tratar as informações estratégicas apresenta-se crucial.

Por fim, torna-se imperativo, nestes estudos de planejamento energético, a integração dos próprios recursos energéticos. Casos do gás natural, da cana-de-açúcar e dos óleos vegetais são ilustrativos. No primeiro, sua evolução afeta tanto as estratégias de expansão do refino do petróleo (concorrência com derivados), quanto as do setor elétrico. No lado da oferta, como alternativa de produção de eletricidade, enquanto no da demanda, deslocando a energia elétrica no uso final. Exemplo: aquecimento ambiente, da água e principalmente nos processos industriais.

Tem-se, também, o exemplo da cana. Além da concorrência entre o etanol e a gasolina, reavivada com os veículos “*flex fuel*”, vem a possibilidade de escolha de produção de etanol ou de eletricidade a partir de sua biomassa (bagaço e palha). No caso dos óleos vegetais, surgem novos elementos para a definição do refino do petróleo, dado o potencial de deslocamento da demanda de diesel pelo biodiesel.

1.3.2 Arranjos Institucionais

Sob a premissa de assumir a responsabilidade do Estado de assegurar as condições de infra-estrutura básica para a sustentação do desenvolvimento econômico e social, um novo modelo do setor elétrico resultou com a promulgação, em 15 de março de 2004, das Leis Números. 10.847 e 10.848, tratando, respectivamente, da criação da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) e de um novo marco das regras do comércio de energia elétrica. Esse novo arranjo institucional do setor tem como fundamentos básicos: a segurança do suprimento de energia elétrica, dando sustentação ao desenvolvimento do país; a modicidade tarifária, para favorecer a competitividade da economia e a inserção social de toda a população no atendimento desse serviço público; e a estabilidade do marco regulatório, com vistas a atrair investimentos para a expansão do setor.

O novo modelo promoveu uma reestruturação do planejamento da expansão dos sistemas elétricos, voltando-se para uma abordagem mais ampla e integrada estrategicamente, conciliando pesquisa, exploração, uso e desenvolvimento de insumos energéticos. Nesse sentido, ganhou destaque a criação da EPE que tem como competência legal elaborar estudos e análises que norteiam as escolhas do Estado. Nos termos da citada Lei nº 10.847, a nova Empresa ganhou os seguintes contornos legais:

“Art. 1º. Fica o Poder Executivo autorizado a criar empresa pública, na forma definida no inciso II do art. 5º do Decreto-Lei nº 200, de 25 de fevereiro de 1967, e no art. 5º do Decreto-Lei nº 900, de 29 de setembro de 1969, denominada Empresa de Pesquisa Energética - EPE, vinculada ao Ministério de Minas e Energia”.

“Art. 2º. A Empresa de Pesquisa Energética - 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”.

Quanto à delimitação das atribuições e finalidades da Empresa, o parágrafo único do art. 4º da citada Lei define que:

“os estudos e pesquisas desenvolvidos pela EPE subsidiarão a formulação, o planejamento e a implementação de ações do Ministério de Minas e Energia, no âmbito da política energética nacional”.

O principal instrumento do MME, até a criação da EPE, para a elaboração do planejamento do setor de energia elétrica era o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE). O CCPE estava estruturado em Comitês Técnicos, constituídos por representantes de entidades e coordenados por profissionais dessas entidades, num sistema de rodízio das empresas às quais eram vinculados. Nessa estrutura, o segmento estatal era fortemente preponderante, assumindo a coordenação dos comitês técnicos. Participavam diretamente dos trabalhos cerca de 150 profissionais das empresas no CCPE, em tempo integral, e cerca de 400 em tempo parcial.

Nos demais segmentos da área de energia (petróleo, gás, carvão, biocombustíveis, etc) não se dispunha de estruturas similares à do CCPE. Muitos estudos eram conduzidos por iniciativa de interessados. Na área de petróleo, o planejamento esteve sempre muito vinculado e dependente da Petrobras. Tal situação a flexibilização do monopólio da exploração e produção de petróleo veio alterar qualitativamente. Na verdade, tanto a área de energia elétrica quanto a de petróleo e gás careciam de uma visão sistêmica e agregada, essencial para a formulação de diretrizes e políticas setoriais e orientação da ação de governo na área energética. A criação da EPE teve por objetivo resolver essa questão. Seu funcionamento a partir de 2005, além de consolidar o projeto materializado nas leis promulgadas em março de 2004, permitiu ao MME integrar os estudos energéticos do país, melhorando sua capacidade de exercer o papel constitucional.

Em resumo, o aumento da participação do capital privado no setor elétrico, iniciado em 1995, e a necessidade de garantir o princípio da neutralidade na condução dos estudos de planejamento, bem como a preservação dos interesses maiores da

sociedade, contribuíram para a criação da EPE, agente governamental sem interesses comerciais, com a competência de realizar estudos de desenvolvimento do setor energético. Além destes, o planejamento elétrico envolve todo um processo, que inclui o levantamento do potencial energético, o inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas e os estudos de viabilidade técnico-econômica e ambiental. Incluem-se aí os estudos comparativos de fontes de geração de energia elétrica e as iniciativas para o gerenciamento da demanda, em particular os projetos e ações na área de eficiência energética.

1.3.3 Componentes do Planejamento Energético

O núcleo do planejamento energético do país, bem como das atividades da EPE, mais além de um variado elenco de publicações, é composto pela elaboração e publicação de três peças. A primeira trata-se do Balanço Energético Nacional (BEN), com periodicidade anual. Neste, encontra-se a cada edição anual, como anexo, a versão mais recente do Balanço de Energia Útil (BEU), no entanto, este, com periodicidade decenal. Por ora, o BEN 2010 (refere-se sempre ao balanço energético do ano anterior) só apareceu em sua versão preliminar. Nas suas versões anteriores, encontra-se em anexo o BEU 2004, última versão, das três até agora realizadas, deste Balanço.

A segunda peça do planejamento energético integrado trata-se do Plano Decenal de Expansão de Energia 2009 – 2019 (PDE 2019), cujo horizonte de análise é de dez anos. Ele é revisado anualmente e a versão deste ano presente, PDE – 2010, encontra-se disponível para consulta pública. E a terceira peça, trata-se do Plano Nacional de Energia 2005 – 2030 (PNE 2030), cujo horizonte de análise alcança 25 anos. Até hoje, a EPE editou sua primeira e ainda única versão, que é evidentemente a mais importante referência para o planejamento energético integrado do país.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho de conclusão de curso é composto de seis capítulos. No primeiro, é introduzido o objeto do trabalho, Eficiência Energética do Setor Residencial no Planejamento Energético, em seu contexto atual. No segundo, são apresentados definições, conceitos e metodologias relacionadas às temáticas aqui abordadas. No terceiro capítulo, é tratado como a eficiência energética é apresentada no BEN 2010 (BEU 2009). No quarto capítulo, trata-se da apresentação da eficiência energética no PDE 2009 - 2019. No capítulo cinco, trata-se da abordagem da eficiência energética no PNE 2030. E, no sexto e último capítulo, são apresentadas as considerações finais.

2 Definições, Conceitos e Metodologias

2.1 Eficiência Energética

Adota-se aqui a definição geral que também vem sendo usada nas peças do planejamento energético integrado sob o comando da EPE (BEN, BEU, PDE e PNE). Assim, se a relação Energia Final/ Energia Útil expressa uma dimensão de rendimento energético, este, por sua vez, expressa o indicador de Eficiência Energética. Dentro dessa conceituação, a eficiência está associada à quantidade efetiva de energia utilizada e não à quantidade mínima teoricamente necessária para realizar um serviço, conceito que se aproximaria do potencial de eficiência.

Não há ainda uniformidade na utilização dos conceitos na área da eficiência. Porém, a exemplo das peças do planejamento integrado, aqui serão utilizados os conceitos como “energia conservada” ou “conservação de energia”, como sinônimos de consumo evitado ou reduzido. Não se trata da conservação de energia no sentido físico, senão de economia, isto é, redução efetiva do consumo. Tais expressões como “conservação de energia” ou “energia conservada” indicam então o processo de economia, conservação ou redução no consumo final de energia.

Prevalece, contudo, o entendimento de “eficiência energética” como processo associado à economia de energia ou a um menor uso de energia por cada unidade de produção. Assim, torna-se objeto da área a determinação de indicadores que expressam a variação da eficiência energética, os quais encontram-se agrupados em quatro tipos:

- Termodinâmicos: baseados nas leis da termodinâmica, indicam a relação entre o processo real e o ideal, quanto à necessidade de uso de energia;
- Físicos- termodinâmicos: consideram a quantidade de energia requerida em unidades termodinâmicas, mas as saídas, produtos, são expressas em unidades físicas;
- Econômicos- termodinâmicos: têm como referência a energia requerida em unidades termodinâmicas, mas os produtos são expressos em unidades econômicas, monetárias;
- Econômicos: tanto a energia requerida, quanto os produtos são expressos em grandezas econômicas.

Portanto, nos trabalhos aqui analisados, a eficiência energética estará referida aos indicadores de consumo de energia por produto (termodinâmicos), bem como ao processo de redução deste consumo para uma mesma quantidade de produto (físico-termodinâmicos). Ademais, a eficiência energética também encontra expressão em indicadores sócio-econômicos, como o consumo por residência ou habitante.

Por fim, os valores de eficiência energética apresentados no BEN/BEU, na verdade, no horizonte decenal do PDE (2009-2019), bem como no horizonte do PNE 2030, indicam a diferença entre a projeção do consumo final de energia, que incorpora ganhos de eficiência do período, e a projeção desse consumo, caso os padrões tecnológicos e de uso da energia observados no ano base sejam conservados. Esta é uma

premissa relevante para a compreensão dos resultados apresentados nos cálculos de eficiência no planejamento energético. Isto significa que:

- A quantificação em tela considera um mesmo volume de saídas: produção física de bens industriais, prestação de serviços e bem-estar, sendo variável tão somente a quantidade de energia necessária à sua produção ou realização;
- Não são consideradas mudanças de hábitos ou de operação de equipamentos, mas apenas ganhos associados ao consumo de cada equipamento ou processo avaliado.

2.2 Indicadores de Eficiência Energética

Na tabela 1, é apresentada uma lista de indicadores de eficiência energética mais significativos.

Tabela 1: Indicadores energéticos selecionados.

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 por setor
	Intensidade energética – setor agropecuário	Uso de energia no setor agropecuário Valor adicionado para o setor
	Intensidade energética – setor serviços	Uso de energia no setor de serviços Valor adicionado para o setor
	Intensidade energética – setor residencial	Uso de energia no setor residencial e para os principais usos finais Número de domicílios, área construída, habitantes por domicílio, posse de eletrodomésticos
	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).

Na Tabela 2 são apresentados os indicadores globais divulgados pela IEA (2008) e relacionados ao uso de energia no ano de 2006. Observa-se que, no grupo de países e regiões selecionados, a relação entre oferta interna de energia (OIE) e Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil é das mais baixas. Neste ano, o consumo de eletricidade per capita brasileiro foi igual ao da China, ligeiramente superior ao do México e inferior aos de Argentina (-27%) e os Chile (-55%).

Tabela 2: Indicadores energéticos globais de países selecionados (2006).

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)
OECD	1.178	31.158	5.537	9.872	0,18	8.381
Ásia	2.120	7.661	1.330	1.414	0,17	667
América Latina	455	3.425	531	808	0,15	1.777
África	937	2.207	614	522	0,28	557
África do Sul	47	489	129	227	0,26	4.810
Argentina	39	534	69	102	0,13	2.620
Chile	16	180	29	52	0,17	3.207
China	1.319	8.916	1.897	2.716	0,21	2.060
Estados Unidos	299	11.265	2.320	4.052	0,21	13.515
Índia	1.109	3.671	565	557	0,15	503
México	104	1.030	1.030	208	0,17	1.993
Rússia	142	1.473	676	872	0,46	6.122
Brasil	189	1.476	224	389	0,15	2.060
Mundo	6.536	57.564	11.740	17.377	0,2	2.659

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

(2) OIE: Oferta Interna de Energia.

Fonte: IEA (2008).

Destaca-se, por fim, os critérios possíveis, isto é, a terminologia para os indicadores (definição e respectivas unidades) utilizados na análise e elaboração dos planos considerados os quais expressam a eficiência energética associada aos setores ou atividades econômicas:

- Consumo final per capita: consumo final de eletricidade por habitante; kWh/hab;
- Consumo final por consumidor: consumo final de eletricidade por consumidor; kWh/cons
- Intensidade energética: consumo final de energia por unidade de valor adicionado; MWh/R\$ - tep/R\$
- Consumo específico: consumo final de energia por unidade física de produto; MWh/ton - tep/ton.

2.3 Energia Útil

Outro conceito utilizado nas análises e projeções de demanda no planejamento energético é o de energia útil, cuja estimativa é apresentada no Balanço de Energia Útil – BEU, publicado em intervalos de 10 anos, e cuja edição mais recente tem como ano base 2004. Nele, a energia útil é concebida como a parcela da energia final efetivamente utilizada em um dado uso, ou seja, a energia final menos as perdas. Expressa de outra forma, ela corresponderia ao produto da energia final por um rendimento energético.

Com relação ao conceito de rendimento energético, o adotado na formulação do BEU refere-se apenas à primeira transformação de energia do processo produtivo. Trata-se, portanto, de uma simplificação e reduzindo o potencial de economia calculado por não considerar perdas (e conseqüentes oportunidades de aumento da eficiência) para todo o sistema energético: as perdas reais serão sempre maiores do que as estimadas neste caso. O BEU apresenta, para efeitos de análise do potencial de economia de energia, dois valores para os rendimentos energéticos:

- Rendimento associado às instalações em atividade, considerado “rendimento real”;
- Rendimento de referência, correspondendo ao valor máximo disponível no mercado para determinada tecnologia.

Nesse caso, os rendimentos de referência não são tomados como disponíveis na literatura técnica, senão nos equipamentos comercializados.

2.4 Progressos Autônomo e Induzido

Na avaliação da eficiência no planejamento energético, consideram-se, na verdade, a existência de dois componentes. Um, denominado tendencial ou autônomo, responde pelo aumento da eficiência do tipo “*business as usual*” e inclui a reposição tecnológica no término da vida útil de equipamentos e os efeitos de programas e atividades de conservação já em prática. Outro progresso induzido refere-se à instituição de novos programas e ações orientados a setores, refletindo políticas públicas.

No Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) o componente tendencial é designado progresso autônomo. Já na elaboração do PDE 2009-2019 decidiu-se por não adotar essa nomenclatura, embora mantenha o mesmo conceito. Em ambos, os montantes de conservação são decorrentes dos efeitos combinados dos progressos tendencial e induzido. Sem dúvida, no PDE 2009 predomina o progresso tendencial: reduzido alcance de novos programas e políticas introduzidos no horizonte de análise (2010-2019).

2.5 Aspectos Metodológicos

2.5.1 Contexto Econômico e Demográfico

O tratamento da eficiência energética no planejamento, em seus planos com diferentes horizontes, insere-se em um conjunto de estudos da demanda de energia, fundados sobre cenários referenciais, condicionados por fatores externos e internos às economias brasileira e mundial. Assim o ponto de partida dos estudos sobre a eficiência energética no planejamento energético é a determinação do comportamento dos mercados energéticos nos intervalos de tempo considerados: evolução da demanda, sua previsão, bem como sua correspondência com a oferta de energia.

Enquanto o Plano Nacional de Energia, em sua única versão (PNE 2030), é a principal publicação existente no país relativa ao planejamento energético de longo prazo, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) possui um horizonte mais curto, trabalhando com um cenário considerado mais provável e é revisado com maior frequência. Já o PNE trabalha com diferentes cenários econômicos e energéticos, adaptando e alternando as trajetórias de crescimento econômico e o comportamento dos mercados energéticos aos condicionantes conjunturais de curto prazo.

Os diferentes cenários econômicos do PNE desenvolvem-se ao longo de um cone de possibilidades apresentado na Figura 1. Destas, o PNE destacou seis cenários, trabalhando ao longo do plano, no entanto, apenas com quatro cenários os quais correspondem evidentemente a diferentes formas possíveis de evolução da economia nacional e mundial, qualitativa e quantitativamente distintas, isto é, constituem-se em histórias prospectivas diferentes entre si, relativas ao futuro do Brasil e do mundo.

O ambiente no qual se desenvolve o PDE é apresentado no cenário “Surfando a Marola” (B1) do PNE 2030. Como a trajetória de expansão da economia no período decenal inicialmente considerado sofreu ajustes, em função de mudanças conjunturais, nomeadamente a redução antecipada do crescimento econômico mundial em relação ao previsto no PNE 2030, o PDE vem experimentando revisões anuais desde então.

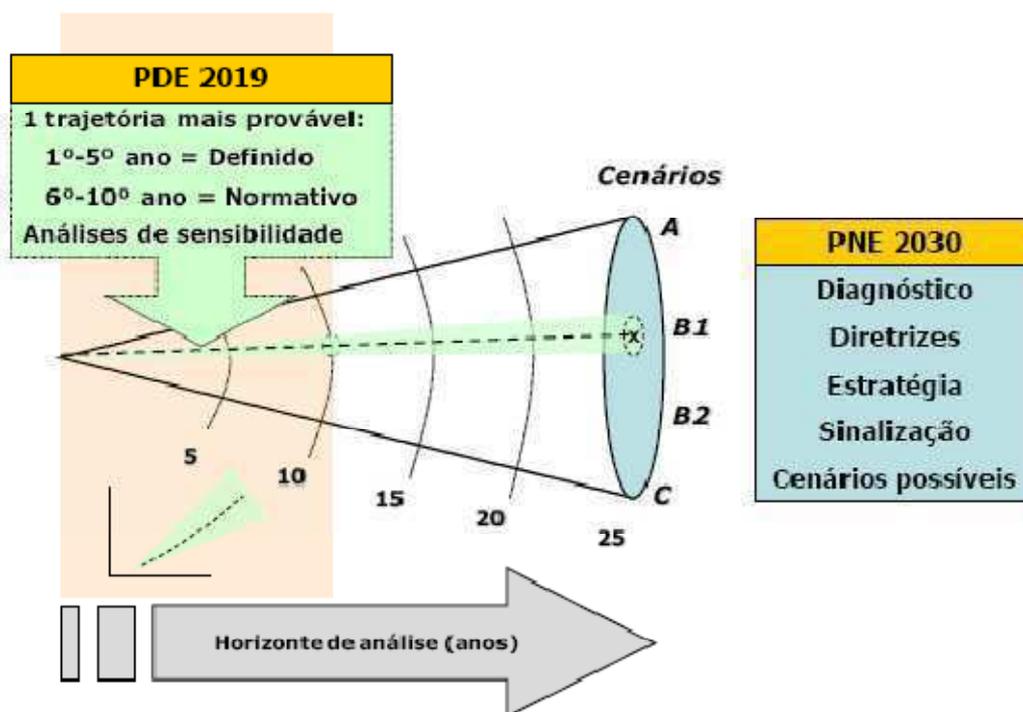


Figura 1: Cone de cenários - PNE 2030.
 Fonte: EPE (PNE, 2007).

2.5.2 Projeção da Demanda

2.5.2.1 Setor Residencial

No setor residencial, variáveis como número de domicílios e perfil de posse de equipamentos são decisivas na determinação do consumo de energia. O consumo de eletricidade é significativo para o uso de eletrodomésticos e outros equipamentos, como chuveiros elétricos e lâmpadas, enquanto o consumo da lenha e do GLP tem uma aplicação importante no atendimento da demanda por cocção e aquecimento de água.

No caso da energia elétrica, possibilitando o ajuste dos modelos de cálculo utilizados, são utilizadas duas abordagens metodológicas na projeção da demanda. Uma do tipo “*top-down*”, que se utiliza de cenários da evolução de dois indicadores básicos: relação do número de consumidores residenciais pela população, que permite obter a projeção do número de consumidores, partindo da projeção da população; e consumo médio por consumidor residencial. A outra metodologia é do tipo “*bottom-up*”, por uso final. Aí é considerado o número de domicílios, a posse média de equipamentos e seu consumo específico, variável que encerra os possíveis ganhos de eficiência.

Uma vez ajustados modelos e parâmetros básicos de projeção, aplica-se a metodologia “*bottom-up*” em uma situação que considera e outra que desconsidera

modificações no rendimento energético dos principais equipamentos. A energia conservada é então calculada como a diferença entre as duas projeções. Desta forma:

- O cálculo da energia conservada tem por referência uma mesma base de domicílios e atendimento pela rede elétrica;
- No cálculo, não são consideradas diferenças de posse e uso de equipamentos;
- A energia conservada refere-se só ao aumento da eficiência de novos equipamentos.

Portanto, a metodologia permite que seja considerada eventual substituição entre fontes. Por exemplo, a substituição da eletricidade por gás ou por aquecimento solar direto de água. Porém, por tal abordagem, esta redução não seria contabilizada como energia conservada. E essa é uma limitação considerável de tal metodologia.

Assim, no setor residencial são utilizadas duas metodologias que se complementam na projeção da demanda de energia elétrica. Uma, numa forma agregada, o curso do consumo residencial de energia elétrica baseia-se em dois indicadores: a relação entre o número de consumidores residenciais (NCR) e a população (POP), que permite obter a projeção do número de consumidores a partir da projeção da população; e o consumo médio por consumidor residencial (CPC). A segunda baseia-se numa desagregação da demanda por uso final, tomando o número de domicílios, a posse média e o consumo específico dos equipamentos, variável que contém possíveis ganhos de eficiência.

As duas metodologias são exploradas em paralelo. Seus resultados convergem através da interação, ajuste de parâmetros e calibragem de indicadores, de forma consistente com o cenário referencial e com as premissas adotadas. Na metodologia de análise desagregada, a energia conservada é a diferença entre o consumo previsto, tendo por base as premissas da projeção da demanda, e uma estimativa do consumo, desconsiderando alteração no rendimento energético dos equipamentos. Desta forma:

- O cálculo da energia conservada tem uma mesma base de domicílios e atendimento pela rede elétrica;
- Não são consideradas diferenças de posse e uso para o cálculo;
- A energia conservada deve-se só ao aumento da eficiência dos novos equipamentos.

Considera-se, mas não se contabiliza a redução do consumo elétrico decorrente da substituição da eletricidade por outras fontes, como nos casos da penetração, por exemplo, de aquecedores a gás e solares deslocando chuveiros elétricos. Progressivamente os novos equipamentos adquiridos pelas famílias são mais eficientes. No PDE, por exemplo, admitiu-se uma redução de 10% no consumo do equipamento na substituição do antigo pelo novo no primeiro ano. Depois, um decréscimo de 0,5% ao ano. No caso do chuveiro elétrico, admitiu-se que as famílias tendem a ter equipamentos com maior potência elétrica, demandando, em consequência, mais energia elétrica (EPE, PDE 2009, NT DEA 15/09).

2.5.2.2 Energia Elétrica

A previsão da demanda de eletricidade (Figura 2) recorre ao uso de metodologias, modelos complementares e estudos setoriais. O comportamento histórico do mercado de energia elétrica, a evolução da economia, as variáveis demográficas e a dinâmica dos diferentes setores econômicos são elementos importantes na formulação das previsões. O cenário macroeconômico, o cenário demográfico e os resultados dos estudos prospectivos setoriais constituem premissas básicas para o desenvolvimento das análises que apoiam a elaboração das projeções de demanda.

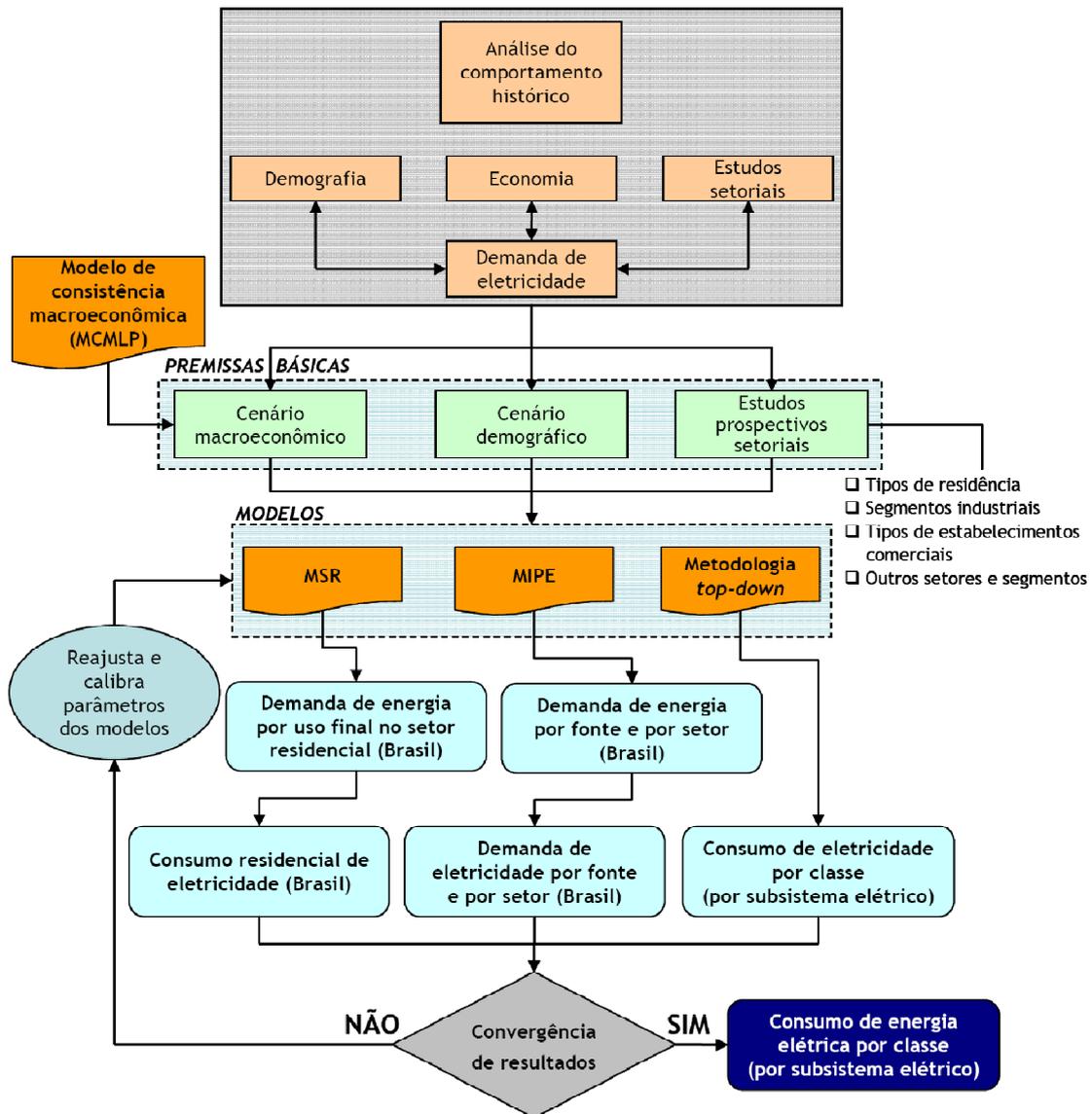


Figura 2: Representação do modelo do setor residencial.

Fonte: Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília : MME : EPE, 2007.

Três abordagens paralelas são utilizadas para realizar as previsões gerais. Uma metodologia é do tipo “*top-down*” e correlaciona o consumo de energia elétrica, por classe de consumo e região, com variáveis de cenário, como o PIB e a população, e com variáveis setoriais. As outras duas, são abordagens do tipo “*bottom-up*”, baseados nos usos finais da eletricidade em cada setor e nos serviços que os solicitam: na energia útil e nos equipamentos de transformação da energia final em energia útil. Uma delas utiliza o Modelo Integrado de Planejamento Energético (MIPE) desenvolvido no Programa de Planejamento Energético da COPPE, em 1997. Trata-se de um modelo técnico-econômico de projeção de demanda e de oferta de energia e de emissões de CO₂.

No setor residencial, os estudos de projeção da demanda se apóiam sobretudo no Modelo do Setor Residencial (MSR) (ACHÃO, 2003). Trata-se de um modelo técnico-econômico de simulação paramétrica específico para a análise e a projeção da demanda de energia no setor residencial. É a metodologia mais apropriada à análise da eficiência energética nas residências, já que ela incorpora expressamente a substituição de equipamentos, assim como substituições energéticas em determinados usos finais (EPE, PDE 2009, NT DEA 15/09).

2.5.2.2.1 Modelos “Bottom Up”

A lógica implícita no MSR de previsão da demanda elétrica, isto é, a metodologia “*bottom-up*” de projeção da demanda de energia no setor residencial contempla a análise dos usos finais da eletricidade nos equipamentos eletrodomésticos. Na verdade, “esta elaboração da estrutura de consumo de energia no setor residencial por usos finais é um exercício laborioso e complexo, devido à presença de uma enorme variedade de equipamentos, cuja difusão e tipologia variam no tempo e no espaço, e à dinâmica e aleatoriedade de fatores que condicionam a posse e o uso dos equipamentos. Uma análise detalhada de tais aspectos e, de modo particular, do potencial de eficiência energética existente nos domicílios, requer um enorme conjunto de dados e técnicas relativamente sofisticadas de análise. Assim, quanto maior a disponibilidade de informações confiáveis e mais eficazes as técnicas empregadas no tratamento dos dados, maior a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos.” (ACHÃO, 2003).

Nesta direção, a estimativa da demanda de energia elétrica no setor residencial sob a metodologia “*bottom-up*” é realizada com base no percentual de domicílios ligados à rede elétrica, bem como no consumo de energia elétrica por domicílio ligado à rede. Com relação ao consumo de eletricidade por domicílio, a evolução da posse de equipamentos é decisiva do ritmo de crescimento desta demanda. Portanto, na metodologia “*bottom-up*” de projeção da demanda residencial de energia elétrica, a evolução da posse média resulta da evolução do estoque dos principais eletrodomésticos nos domicílios.

A projeção do estoque, por sua vez, é realizada a partir da diferença entre a estimativa de evolução de vendas e o sucateamento de equipamentos considerados, sob a hipótese de que ao final da vida útil eles são substituídos por outros mais eficientes. Assim o estoque se expande e se torna mais eficiente. Além da renovação da parcela do estoque que é sucateada, o ritmo de crescimento das vendas também decorre do

incremento de novas ligações à rede e do aumento da renda e sua melhor repartição entre as famílias, que propicia a aquisição de novos e mais eficientes equipamentos (EPE, PDE 2009, NT DEA 15/09).

Na Figura 3 é representado modelo de simulação paramétrico utilizado para as projeções de consumo de energia elétrica no setor residencial. O consumo residencial de energia elétrica foi, então, projetado para os seguintes equipamentos:

- o lâmpadas;
- o geladeira e freezer;
- o chuveiro elétrico;
- o ar condicionado;
- o televisão
- o máquina de lavar roupa.

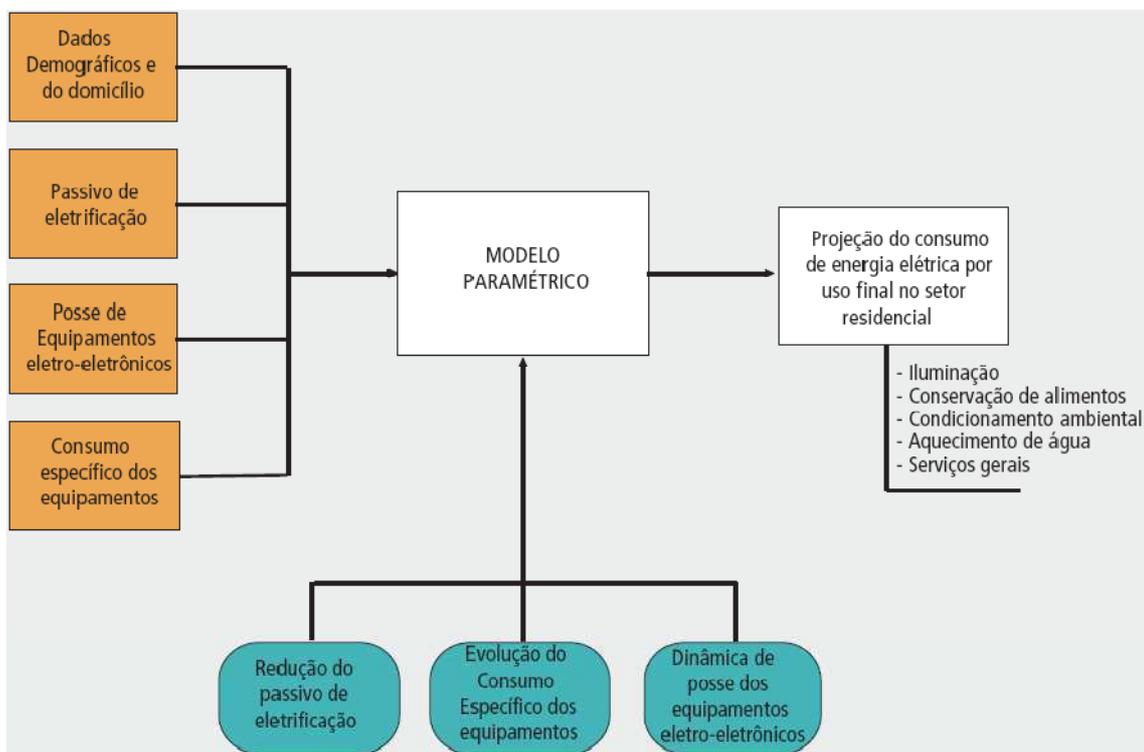


Figura 3: Fluxograma básico do modelo de simulação paramétrico aplicado ao setor residencial - energia elétrica.

Fonte: Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007.

2.5.2.2 Modelos “Top Down”

Na abordagem “top-down”, a projeção do mercado de energia elétrica é elaborada a partir de subsistemas elétricos e por classes de consumo: residencial, industrial, comercial e outras. “Outras classes” inclui o segmento rural, poderes

públicos, serviço público, iluminação pública e consumo próprio das concessionárias. A projeção por classe de consumo baseia-se na evolução de parâmetros característicos do segmento do mercado, bem como na evolução do PIB e da população.

O comportamento do consumo residencial de energia elétrica baseia-se em dois indicadores: a relação de consumidores residenciais (NCR) e a população (POP), NCR/POP, que permite obter a projeção do número de consumidores a partir da projeção da população e o consumo médio por consumidor residencial (CPC). O indicador NCR/POP incorpora o efeito combinado de dois outros parâmetros:

- Taxa de atendimento: define extensão do serviço elétrico e relaciona o número de consumidores residenciais e o número de domicílios (DOM), ou seja, $TA = NCR/DOM$;
- A relação número de habitantes por domicílio, expressa por POP/DOM.

Como a taxa de atendimento tende à saturação superior e a relação POP/DOM ao limite inferior, o parâmetro NCR/POP tende ao limite de saturação superior. Assim, ajusta-se uma curva logística aos valores históricos, com nível de saturação pré-fixado. Com esta curva, projeta-se os valores futuros de NCR/POP. A partir das projeções de NCR/POP e da população, obtém-se a projeção do número de consumidores residenciais.

Utilizando como dados históricos os valores do número de consumidores residenciais e da população, ajusta-se uma curva logística do tipo:

$$U(t) = \frac{K}{1+C \cdot e^{(t-t_0)}}, \text{ onde:}$$

$U(t) = NCR/POP$, no instante $t = 0$

$t_0 = 1985$

K, C, r são constantes ($r < 0$)

O ajustamento da logística envolve a estimativa de três parâmetros (K, C, r) e a utilização de métodos de estimação não lineares. No entanto, é freqüente proceder-se a uma simplificação que consiste em definir, de forma exógena, a constante K , que representa o limite de saturação de $U(t)$ quando $t \rightarrow \infty$, restando, então, dois parâmetros a estimar (C, r). Nesta hipótese, a curva logística é linearizável, através de uma mudança de variáveis.

De fato, a equação da logística pode reescrever-se na seguinte forma:

$$\frac{K}{U(t)} - 1 = C \cdot e^{r(t-t_0)} \text{ ou,}$$

$$\ln \left(\frac{K}{U(t)} - 1 \right) = \ln(C) + r(t - t_0)$$

Através da mudança de variáveis:

$$T = t - t_0$$

$$U^* = \ln \left(\frac{K}{U(t)} - 1 \right)$$

$$B_0 = \ln(C)$$

$$B_1 = r$$

A equação da logística é transformada na seguinte equação de uma reta:

$$U = B_0 + B_1 \cdot T$$

Após esta mudança de variáveis, o problema do ajustamento da curva logística reduz-se ao ajustamento da reta aos valores históricos considerados.

Este tratamento simplificado do problema obriga à definição prévia e exógena do limite de saturação da variável $U(t) = \text{NCR/POP}$, isto é, do parâmetro K , que pode ser baseada na comparação com países ou regiões em estágios de desenvolvimento mais avançados.

Assim, pode-se ajustar uma curva logística, representativa da evolução do parâmetro $U(t) = \text{NCR/POP}$, para cada região ou subsistema elétrico.

Uma vez que, na estimação da curva logística, os parâmetros B_0 e B_1 são variáveis aleatórias, cuja média e desvio padrão são estimados a partir da amostra constituída pelos valores históricos, fixando-se um determinado nível de confiança, obtém-se intervalos de confiança para os parâmetros B_0 e B_1 e, conseqüentemente, intervalos de variação para o indicador $U(t) = \text{NCR/POP}$. Mais detalhes ver (EPE, PDE 2009, NT DEA 15/09).

3 Eficiência Energética no Balanço Energético Nacional – BEN

3.1 Introdução

A Eficiência Energética não encontra um tratamento específico no BEN, senão numa forma indireta. Ou seja, ela aparece apenas implícita nas estimativas de Energia Útil no BEU, que por sua vez, encontra-se nos capítulos anexos do BEN.

No BEN 2010, não se apresenta, se não a eficiência, nem mesmo o Anexo sobre o BEU/ Energia Útil, por se tratar ainda dos resultados preliminares. Portanto, passa-se a considerar a versão mais recente do BEU (2004), que se encontra no BEN 2009.

3.2 Balanço Energético - BEN

O Ministério de Minas e Energia, por intermédio da Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE elabora e publica o Balanço Energético Nacional (BEN) desde 2006, conforme estabelecido na lei que criou a instituição. O BEN apresenta a contabilidade relativa à oferta e ao consumo de todas as formas de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, a importação e a exportação, a distribuição e o uso final da energia.

Assim, o BEN constitui uma ampla e sistematizada base de dados energéticos, atualizada anualmente. Não somente, fundamental para os estudos do planejamento energético nacional, o BEN tem-se mostrado, também, ferramenta de especial interesse para os setores de estudos, pesquisas e atividades produtivas do país.

A versão BEN 2010 ainda não foi divulgada como relatório final, senão apresentando os resultados preliminares. Trata-se de uma versão bastante reduzida, não contendo qualquer referência à Eficiência Energética, nem mesmo sobre Energia Útil, como todas as demais versões anteriores. Portanto, tomou-se em consideração para a presente análise a versão do BEN 2009, em cujo Anexo IV encontra-se o Balanço de Energia Útil – BEU, em sua última versão.

3.3 Balanço de Energia Útil – BEU

O MME publicou, até hoje, apenas três edições do BEU. A primeira referiu-se ao BEN 1985 (ano base 1984), a segunda ao BEN 1995 (ano base 1985) e a última ao BEN 2005 (ano base 2004), este já editado pela EPE como anexo nos relatórios dos BENs. No Balanço de Energia Útil (BEU), encontra-se processado setorialmente o consumo de energia do Balanço Energético Nacional (BEN), obtendo-se daí as estimativas da energia final destinada aos usos finais: força motriz, calor de processo, aquecimento direto, refrigeração, iluminação, eletroquímica e outros usos. Com base nos rendimentos do primeiro processo de transformação energética, estima-se a Energia Útil (EU).

Na figura 4 são apresentados, de forma resumida, os resultados do BEU dos anos de 1984, 1994 e 2004. Na conceituação do BEU, a Energia Final (EF) é composta pela soma de duas parcelas: a Energia Útil e a Energia Perdida (EP), a qual, por sua vez é composta pela soma do Potencial de Economia de Energia (PEE) com a Energia não Recuperável (EÑR).

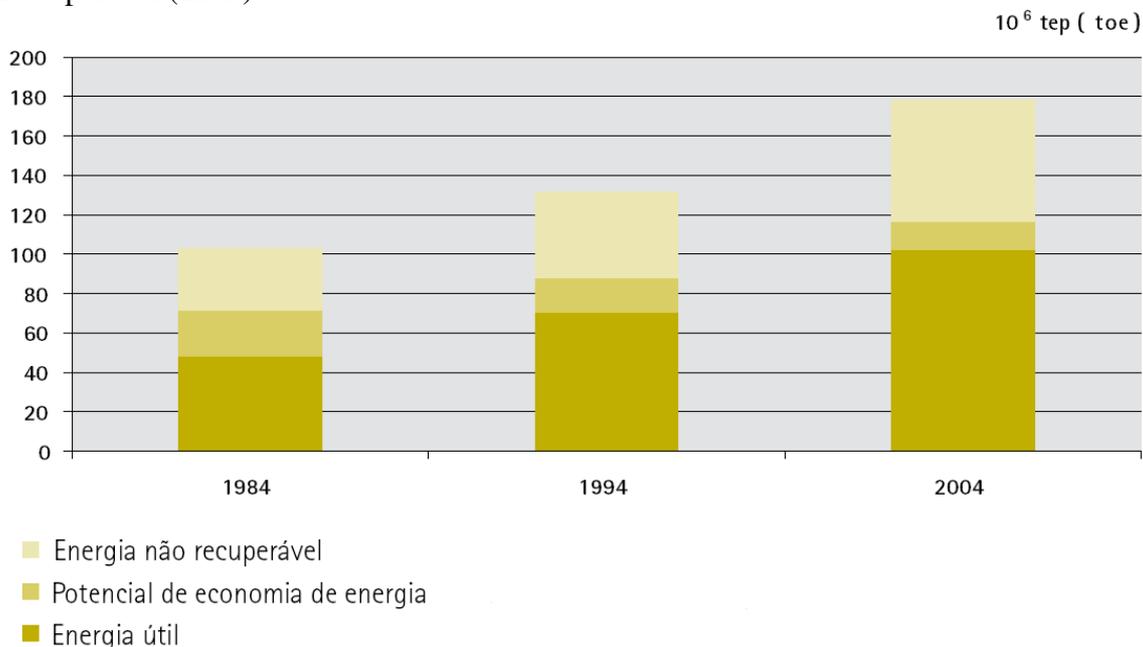


Figura 4: Variação da Energia Final, Útil e do Potencial de Economia de Energia - Evolução Brasil 1984 a 2004.

Fonte: Balanço energético nacional (BEN) 2009 ano base 2008. Anexo IV. Balanço de Energia Útil (BEU).

A Energia Útil é estimada baseando-se nas eficiências médias das instalações de cada setor, no ano do estudo. O PEE é estimado baseando-se nas eficiências das instalações mais modernas de cada setor, também no ano do estudo. A EÑR resulta da diferença. Ainda, de acordo com o gráfico apresentado na Figura 4, verifica-se que a Energia Final e a Energia Útil cresceram ao longo das duas décadas. Ao contrário, o Potencial de Economia de Energia diminuiu, à medida que os rendimentos dos processos se aproximam de seus paradigmas.

A relação Energia Final/ Energia Útil expressa uma dimensão de rendimento energético, o qual, por sua vez, no BEU é tomado como indicador de Eficiência Energética. Assim, o BEU permite avaliar o rendimento energético global e os rendimentos específicos dos setores de atividade, das diferentes fontes de energia e dos usos finais.

Na Tabela 3 encontram-se as evoluções dos rendimentos energéticos globais, dos principais setores de atividades, dos principais energéticos e dos principais usos finais. Já na Tabela 4, encontra-se ilustrado o aumento dos rendimentos energéticos ao longo dessas décadas. Esse aumento se deveu, de um lado, à evolução tecnológica dos equipamentos e, de outro, à mudança da matriz energética, com a substituição dos energéticos menos eficientes para os de uso mais eficientes.

Tabela 3: Evolução dos Rendimentos, Energéticos, Setores, e Usos Finais - Brasil em %.

Segmento/Anos	1984	1994	2004
Principais Energéticos			
Óleo Diesel	35,6	40,5	43,4
Eletricidade	58,1	64,3	68,8
Produtos da Cana	65,0	71,6	76,7
Principais Setores de Atividade			
Energético	65,8	73,5	75,2
Residencial	33,5	43,4	47,4
Transportes	31,4	35,4	37,5
Industrial	62,2	67,9	72,0
Principais Usos Finais			
Força Motriz	39,2	44,0	47,1
Calor de Processo	70,2	76,0	78,9
Aquecimento Direto	43,0	52,2	56,5
Global	46,9	53,9	57,5

Fonte: Balanço energético nacional (BEN) 2009 ano base 2008. Anexo IV. Balanço de Energia Útil (BEU).

Tabela 4: Evolução dos Rendimentos Energéticos, Setores e Usos Finais Brasil – em %.

Segmento/Anos	Rendimento de Referência	Efeitos da Sociedade		Efeitos da Tecnologia	
		1984	1994	1994	1984
Principais Energéticos					
Óleo Diesel	43,4	43,5	43,5	40,4	35,5
Eletricidade	68,8	70,0	69,0	64,3	57,0
Produtos da Cana	76,7	76,7	76,7	71,6	65,0
Principais Setores de Atividade					
Energético	75,2	72,5	73,4	76,5	68,5
Residencial	47,4	39,8	46,7	44,0	41,2
Transportes	37,5	38,2	37,6	35,1	30,9
Industrial	72,0	70,9	71,9	67,4	62,9
Principais Usos Finais					
Força Motriz	47,1	47,3	46,8	44,4	39,8
Calor de Processo	78,9	78,6	79,2	76,1	70,5
Aquecimento Direto	56,5	49,9	55,5	53,6	49,9
Global	57,5	55,2	56,9	54,3	48,8

Fonte: Balanço energético nacional (BEN) 2009 ano base 2008. Anexo IV. Balanço de Energia Útil (BEU).

No BEU, é ilustrado como avaliar os efeitos da evolução da tecnologia e da sociedade no consumo energético. Nos efeitos da evolução da sociedade, foram considerados os dados de entrada (dados de Energia Final - que caracterizam o contexto da sociedade) dos anos de 1984, 1994 e 2004, porém, com os rendimentos, que caracterizam o contexto da tecnologia, referentes ao ano de 2004. Para avaliar apenas os efeitos da tecnologia foram considerados os dados de entrada de 2004, porém com os rendimentos de 1984, 1994 e 2004. Os resultados obtidos, rendimentos médios, estão na Tabela 4.

Na Tabela 5, verifica-se que o efeito da tecnologia é, em geral, maior que o da sociedade. Para apurar quantitativamente a participação desses efeitos na variação do rendimento é necessário um processamento, aqui ilustrado através da variação do rendimento Global no período de 1994 a 2004:

Varição Total do Rendimento = 57,5 (Tab 4) - 53,9 (Tab 3) = 3,6

Varição devida ao Efeito Tecnológico = 57,5 (Tab 4) - 54,3 (Tab 3) = 3,2

Varição devida ao Efeito Sociedade = 57,5 (Tab 4) - 56,9 (Tab 4) = 0,6

Verificação: 3,2 + 0,6 = 3,8 ~ Varição Total do Rendimento

Tabela 5: Variação dos Rendimentos Energéticos, Participação dos Efeitos da Tecnologia e da Sociedade – Brasil.

	Varição Total	Efeitos da Tecnologia	Efeitos da Sociedade	Verificado	Varição Total	Efeitos da Tecnologia	Efeitos da Sociedade	Verificado
Segmento/Anos	2004	1984	1994	1994	1984	1994	1984	1994
Principais Energéticos								
Óleo Díesel	2,9	3	-0,1	2,9	7,8	7,9	-0,1	7,8
Eletricidade	4,4	4,5	-0,2	4,3	10,7	11,8	-1,2	10,6
Produtos da Cana	5	5,1	-0,1	5	11,7	11,7	-0,1	11,6
Principais Setores de Atividade								
Energético	1,6	-1,4	1,7	0,3	9,4	6,7	2,6	9,3
Residencial	4,1	3,4	0,7	4,1	13,9	6,3	7,6	13,9
Transportes	2,1	2,3	-0,1	2,2	6,1	6,5	-0,7	5,8
Industrial	4,1	4,6	0,1	4,7	9,8	9,2	1,1	10,2
Principais Usos Finais								
Força Motriz	3,7	2,7	0,4	3,1	7,9	7,3	-0,2	7,1
Calor de Processo	2,9	2,8	-0,3	2,5	8,7	8,5	0,4	8,8
Aquecimento Direto	4,3	2,9	1	3,9	13,5	6,6	6,6	13,2
Global	3,6	3,2	0,6	3,8	10,6	8,8	2,4	11,1

Fonte: Balanço energético nacional (BEN) 2009 ano base 2008. Anexo IV. Balanço de Energia Útil (BEU).

3.4 O Setor Residencial

A eficiência energética global, medida por meio dos indicadores dos rendimentos energéticos, no setor residencial, evoluiu de 33,5% em 1984 para 43,4% em 1994 e 47,4% em 2004. Portanto, no período de 2004 – 1984, tal indicador global teve um fator de variação de (13,9%). Foi o setor que mais evoluiu em termos de rendimentos energéticos, seguido pelo setor industrial, com (9,8%) e o setor energético, com (9,4%). Já entre 2004 – 1994, tal indicador teve uma variação global de (4,1%). Mesmo assim, apesar de redução das diferenças de variações, este indicador do setor residencial de eficiência energética, dividiu com o setor industrial o mais alto valor, que também experimentou uma variação de (4,1%).

No BEU, estes ganhos de eficiência energética no setor residencial podem ser desmembrados em seus dois componentes principais: aqueles provenientes dos efeitos da sociedade e os da tecnologia. Assim, tomando-se como referência o valor do rendimento global alcançado em 2004, (47,4%), verifica-se a que evolução dos ganhos devidos ao fator sociedade partiu de (39,8%) em 1984 e passou por (46,7%) em 1994, enquanto a evolução do indicador do efeito tecnologia partiu de (41,4%) em 1984 e passou por (44%) em 1994.

Observando-se as diferenças dos ganhos de eficiência nos períodos de 2004 – 1994 e 2004 – 1984, verifica-se que, na variação dos rendimentos energéticos globais do setor residencial: (4,1%) e (13,9%) respectivamente, a variação dos ganhos devidos ao efeito sociedade nestes períodos foi respectivamente: (0,7%) e (7,6%), enquanto a do efeito tecnologia alcançou as marcas de: (3,4%) e (6,3%).

Verifica-se, também, que os melhores ganhos de eficiência energética no setor residencial, medidos através dos indicadores dos rendimentos energéticos do último (BEU) 2004, foi a década dos 1984 a 1994, decorrentes sobretudo dos ganhos oriundos do efeito sociedade, embora aí também tenha sido a época mais relevante de ganhos devidos ao efeito tecnologia. Como também esta foi a década na qual os rendimentos energéticos na geração do aquecimento direto mais sobressaíram, esta variação deve-se atribuir ao grande “boom” do processo de substituição dos fogões a lenha no setor residencial que ocorreu ao longo desta década (EPE, BEN, 2009).

4 Eficiência Energética no Plano Decenal de Expansão da Energia - PDE 2019

4.1 Introdução

O Ministério de Minas e Energia – MME, responsável pela implementação das políticas e coordenação do planejamento energético nacional, apresentou recentemente, em abril de 2010, a mais recente versão do Plano Decenal de Expansão da Energia – PDE 2019. Publicação que é a revisão do plano decenal do ano anterior, representando a peça fundamental do processo de planejamento energético do país, no curto e médio prazos.

Segundo a EPE, responsável por suas edições, o “PDE incorpora uma visão integrada da expansão da demanda e da oferta de recursos energéticos no período decenal, definindo um cenário de referência, que sinaliza e orienta as decisões dos agentes no mercado de energia, visando assegurar a expansão equilibrada da oferta energética, com sustentabilidade técnica, econômica e ambiental. O planejamento decenal constitui uma base sólida para apoiar o crescimento econômico, dado que a expansão do investimento produtivo requer a oferta de energia com qualidade e confiabilidade”.

Ademais, o planejamento decenal serve para orientar e subsidiar a realização dos leilões de compra de energia de novos empreendimentos de geração e transmissão. Subsidiaria também a definição dos estudos de expansão da transmissão que devem ser priorizados, bem como os estudos de viabilidade técnico-econômica e socioambiental de novas usinas geradoras e ainda os estudos de inventários que deverão ser feitos ou atualizados.

Os editores também destacam que, de novidade do PDE 2009, relativamente ao ano anterior, encontra-se a indicação da retomada da participação das fontes renováveis na matriz elétrica a partir do ano de 2014, em detrimento das fontes baseadas em combustíveis fósseis, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das fontes de geração. Como nos demais, também neste ano, tratamento privilegiado é dispensado, sobretudo à geração energética e suas respectivas fontes.

4.1.1 Premissas Básicas

A eficiência energética é considerada pela EPE em suas projeções de demanda de energia como parte da metodologia de projeção por setor de consumo. Para tanto, premissas básicas consideradas nos estudos deste plano abrangem as projeções do consumo energético no período, em seus respectivos cenários macroeconômicos de referência, bem como as perspectivas de preços do petróleo, as premissas demográficas e as premissas setoriais. Outras premissas, de caráter mais específico dos diversos temas abordados, são citadas separadamente nos respectivos capítulos.

Na determinação da dinâmica do consumo de energia, as premissas demográficas, macroeconômicas e setoriais, assim como aquelas relativas à eficiência

energética e à autoprodução, têm papel fundamental, com implicação direta no comportamento de vários indicadores setoriais. Ilustrativo desta relação é o consumo de energia no setor residencial que depende de variáveis demográficas, como a população, o número de domicílios e o número de habitantes por domicílio, de um lado; de outro, de variáveis relativas à expansão da renda e do PIB. Contudo, essas mesmas variáveis influenciam, também, outros setores de consumo, como é o caso de comércio e serviços.

Já o setor industrial mantém uma relação não só com a economia nacional, mas também com a economia mundial, devido sobretudo aos segmentos exportadores. Os estudos prospectivos setoriais, em especial nos segmentos intensivos em energia, relativamente às alternativas de expansão, rotas tecnológicas e características de consumo energético, são essenciais para a projeção do consumo dessa parcela do mercado. Ademais, é na indústria que a autoprodução de energia ganha relevância, por deslocar parcela do consumo final, não comprometendo investimentos na expansão do parque de geração.

Destaca-se como de relevante interesse no PDE 2009, o desdobramento dos efeitos da crise financeira internacional, agravada especialmente a partir de setembro de 2008, sobre as perspectivas econômicas dos próximos 10 anos. Destaca-se aí a reestruturação da indústria automobilística mundial, em particular a americana. A intervenção governamental pode gerar a oportunidade para a introdução de tecnologias mais eficientes do ponto de vista ambiental e de consumo energético no mercado americano.

Nos países emergentes com significativo mercado interno, como China, Índia e Brasil, pode haver uma expansão mais forte do setor automobilístico baseado em menores custos de produção (mão-de-obra) e em inovações (carros mais compactos e de menor preço, uso de combustíveis menos poluentes, etc.). A forma que tomará essa reestruturação poderá moldar de forma significativa a demanda de energia no futuro.

4.1.2 Cenário de Referência

Há uma percepção geral entre os analistas de que se consolida um novo ciclo de crescimento sustentado da economia brasileira, o qual continua superando a média mundial, mesmo num contexto internacional de expansão mais moderada. Assim, a rota de crescimento nacional no horizonte decenal está calcada na expectativa de que os países emergentes (particularmente a China) vão retomar o crescimento mais rápido que os países desenvolvidos, favorecendo setores que o país possui vantagens comparativas.

Ademais, a expansão do investimento em infraestrutura e no setor habitacional nos próximos anos contribuirá para um desempenho melhor da construção civil. Este padrão de crescimento está marcado por avanços importantes na remoção de gargalos na infra-estrutura, mesmo não sendo superados por completo no horizonte decenal, e pelo aumento da Produtividade Total dos Fatores (PTF), concentrado nos segmentos mais dinâmicos da economia. Na questão energética, o esforço de aumento da produção de petróleo e gás elimina gradualmente os riscos de segurança de abastecimento, embora questões ambientais possam ganhar maior peso no aproveitamento ótimo dos recursos.

A evolução setorial do PIB também reflete os impactos da crise. A indústria tem sido o setor mais afetado, esperando-se uma trajetória de recuperação mais lenta no primeiro quinquênio e mais intensa no segundo. Nesse sentido, os segmentos de siderurgia, celulose, extrativa mineral e a agroindústria – que apresentam vantagens comparativas e são puxados pelas demandas dos países emergentes mais dinâmicos – continuam a se beneficiar da recuperação econômica. Nos segmentos mais ligados à dinâmica interna, o crescimento se concentra naqueles que estão relacionados à infraestrutura e à construção civil, refletindo a melhoria nas condições de crédito de longo prazo e em programas governamentais de incentivo a esses segmentos, ao longo do tempo.

As projeções decenais das participações relativas setoriais na economia e na indústria são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Participação Setorial Relativa.

Participação Relativa	Histórico		Projeção	
	1999-2003	2004-2008	2010-2014	2015-2019
% PIB nacional				
Agropecuária	6,2	6,2	5,9	6,0
Indústria	27,1	28,8	26,6	27,3
Serviços	66,7	65,0	67,6	66,7
% PIB Indústria				
Extrativa	5,4	9,0	13,3	14,4
Transformação	63,0	60,9	56,4	54,7
Construção Civil	19,5	17,2	18,8	19,4
Prod. e Dist. de energia elétrica, água e gás	12,1	12,9	11,5	11,5

Fonte: IBGE (dados históricos) e EPE (projeções).

4.1.3 Contexto Econômico e Demográfico

A avaliação da eficiência energética no planejamento dos próximos dez anos está nos estudos da demanda de energia, tendo como base um cenário referencial condicionado por fatores externos e internos à economia brasileira. A discussão e a descrição desse cenário fogem aos propósitos deste trabalho. Aqui, é suficiente caracterizar tal cenário em termos quantitativos, isto é, o crescimento demográfico, o número de domicílios e o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), desagregado pelos grandes setores da economia. O cenário referencial em que se circunscreve a avaliação da eficiência energética no PDE 2009 é caracterizado, em termos quantitativos, na Tabela 7.

Tabela 7: Cenário socioeconômico referencial.

Indicador	2010	2014	2019
Demografia			
População total [10 ³ hab]	194.090	200.186	206.556
Nº de domicílios [x1000]	60.844	66.662	73.992
Economia [R\$ milhões, valores constantes de 2008]			
PIB total	3.201.100	3.890.957	4.965.956
Indústria	546.812	683.366	882.320
Agricultura	158.741	196.652	257.016
Serviços	1.851.246	2.219.903	2.799.895
Setor energético	163.223	206.282	280.415

Fonte: Nota Técnica DEA 14/10 - Avaliação da eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019). Série ESTUDOS DA DEMANDA - Rio de Janeiro - Julho de 2010. Ministério de Minas e Energia - MME. Empresa de Pesquisa Energética - EPE.

4.1.4 Outras Considerações

Por fim, não se considerou no PDE 2009, o estabelecimento prévio de metas para redução de emissões de gases de efeito estufa, o que implicaria definir limites para o consumo de energia. Nessas condições, subjaz no plano o entendimento de que, no horizonte do estudo (2010-2019), o incremento na eficiência energética decorre de duas razões básicas. Sendo uma a da motivação própria dos consumidores preocupada com a redução de custos e a atualização tecnológica. E a outra, a do incentivo oferecido por programas e iniciativas coordenados por agentes governamentais.

4.2 Principais Resultados

No PDE, a eficiência energética é tratada em um capítulo específico, no qual são destacadas as premissas de avaliação da eficiência energética utilizadas nas projeções da demanda de energia e os respectivos montantes conservados. Desde logo, se é alertado que para os setores industrial e transportes, encontra-se analisado o consumo e o potencial de conservação referentes à energia total (inclusive eletricidade), enquanto para os demais setores – agropecuário, comercial/ público, residencial e energético – apenas a eletricidade foi objeto de considerações e análises.

4.2.1 Conservação Total

Na Tabela 8 é apresentada a evolução total do consumo de energia (eletricidade e combustíveis) para anos selecionados do período de projeção.

Tabela 8: Consumo de energia (total).

Consumo¹	2010	2014	2019
Consumo - sem conservação [10 ³ tep]	184.110	235.628	309.229
Energia conservada [10 ³ tep]	1.467	5.481	13.325
Energia conservada [%]	0,8	2,3	4,3
Consumo - com conservação [10 ³ tep]	182.644	230.148	295.904

(¹) Corresponde ao consumo total de eletricidade em todos os setores somado ao consumo de combustíveis somente nos setores industrial e de transportes. Não inclui, portanto, o consumo de combustíveis dos demais setores: agropecuário, residencial, comercial/público e energético.

Fonte: EPE.

Na Tabela 9 são apresentados dados relativos ao consumo de eletricidade considerando todos os setores consumidores, incluindo parcelas relativas à autoprodução.

Tabela 9: Consumo de eletricidade.

Consumo¹	2010	2014	2019
Consumo - sem conservação [GWh]	457.860	572.278	735.299
Energia conservada [GWh]	2.671	10.508	23.324
Energia conservada [%]	0,6	1,8	3,2
Consumo - com conservação [GWh]	455.189	561.770	711.975

(¹) Inclui autoprodução.

Fonte: EPE.

A energia elétrica conservada estimada para 2019 corresponde à postergação da construção de uma usina hidrelétrica de cerca de 4.800 MW, ou aproximadamente 3.800 MW em usinas termelétricas. Considerando a desagregação pelos setores de consumo, as estimativas de conservação, para a energia elétrica, são resumidas na Tabela 10.

Tabela 10: Energia elétrica conservada (GWh).

Setores	2010	2014	2019	2019
				% do Consumo Total
Setor industrial	1.654	4.563	9.243	2,5
Setor comercial	424	2.273	5.052	4,1
Setor residencial	316	2.232	5.985	3,7
Outros setores	276	1.439	3.045	3,5
Total	2.671	10.508	23.324	3,2

Fonte: EPE.

Similarmente, os montantes de energia final total conservada pelos diversos setores de consumo são resumidos na Tabela 11.

Tabela 11: Energia final total conservada (10³ tep).

Setores	2010	2014	2019	2019
				% do Consumo Total
Setor industrial	760	3.033	6.643	4,2
Setor transporte	620	1.936	5.471	4,6
Setor comercial	36	195	434	4,1
Setor residencial	27	192	515	3,7
Outros setores	24	124	262	3,5
Total	1.467	5.481	13.325	4,3

Nota: Energia Final Total – inclui outras fontes (tais como óleo diesel, GLP, óleo combustível, gás natural e bagaço de cana). É considerada conservação em outras fontes energéticas, além da eletricidade, apenas para os setores industrial e de transportes.

Fonte: EPE.

Os principais indicadores associados ao consumo total de energia elétrica no país, ao longo do período de análise, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Indicadores associados ao consumo de eletricidade.

Indicador	2010	2014	2019
Intensidade elétrica [kWh/10³R\$ 2008]			
Sem conservação	143,0	147	148
Com conservação	142,2	144,4	143,4
Consumo per capita [kWh/habitante]			
Sem conservação	2.359	2.859	3.560
Com conservação	2.345	2.806	3.447
Consumo residencial mensal [kWh/mês/consumidor]			
Sem conservação	153,9	168,9	189,9
Com conservação	153,4	165,9	182,9

Fonte: EPE.

4.2.2 Setor Residencial

4.2.2.1 Preliminares

Duas metodologias complementares são usadas para projeção da demanda de energia elétrica (e a conservação implícita) neste setor. Numa modelagem agregada, o consumo residencial de energia elétrica baseia-se em dois indicadores: a relação do número de consumidores residenciais (NCR) e a população (POP), que permite obter a projeção do número de consumidores a partir da projeção da população; e o consumo médio por consumidor residencial (CPC). Na segunda, a metodologia baseia-se na desagregação da demanda por uso final, tomando-se o número de domicílios, a posse média e o consumo específico dos equipamentos (no qual se internalizam possíveis ganhos de eficiência).

Como já tratado, as duas metodologias são exploradas em paralelo e atinge-se uma convergência de resultados mediante ajustes de parâmetros e calibragem de indicadores consistentes com cenário e premissas. Na metodologia de análise desagregada, a energia conservada é calculada como diferença do consumo previsto, baseado nas premissas da projeção da demanda, com a estimativa do consumo, se não houvesse alteração no rendimento energético dos equipamentos. Assim, o cálculo da energia conservada tem uma mesma base de domicílios e atendimento pela rede elétrica. Não são consideradas diferenças de posse e uso para o cálculo. E ainda, a energia conservada deve-se ao exclusivo aumento da eficiência dos novos equipamentos consumidores.

É considerada, mas não contabilizada, a redução do consumo de eletricidade decorrente da substituição da eletricidade por outras fontes, por exemplo, aquecedores a gás e solares deslocando chuveiros elétricos. Como novos equipamentos são mais eficientes, admitiu-se uma redução de 10% no consumo específico do equipamento na substituição do antigo pelo novo no primeiro ano e um decréscimo de 0,5% nos anos seguintes. No caso do chuveiro elétrico, admitiu-se que as famílias tendem a adquirir equipamentos com maior potência elétrica, demandando então mais energia elétrica.

4.2.2.2 Resultados

Para o cálculo do consumo específico por equipamento existente no ano de 2005, tomou-se como referência inicial os valores determinados a partir de informações contidas na Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso (Eletrobras/Procel, 2007), nas tabelas de eficiência do Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO (INMETRO, 2009), além de dados de potência e tempo de uso, disponibilizados pelas concessionárias de energia elétrica. Na Tabela 13 são apresentados os resultados para o setor residencial.

Tabela 13: Setor residencial – Consumo de eletricidade.

Consumo	2010	2014	2019
Consumo - sem conservação [GWh]	105.854	129.019	162.531
Energia conservada [GWh]	316	2.232	5.985
Energia conservada [%]	0,3	1,7	3,7
Consumo - com conservação [GWh]	105.538	126.787	156.546

Fonte: EPE.

4.3 Potencial de Conservação de Energia no PDE

4.3.1 Geral

No PDE aqui considerado, as estimativas do potencial de conservação de energia foram feitas a partir dos coeficientes técnicos de rendimento energético contidos no Balanço de Energia Útil (BEU). Para tanto, processou-se a comparação da eficiência verificada nos processos energéticos com os valores referenciados às melhores tecnologias disponíveis comercialmente. Por conseguinte, utilizando-se os valores apurados no Balanço Energético Nacional (BEN 2008) e os parâmetros técnicos do BEU 2004, conseguiu-se calcular o potencial de conservação para todas as formas de energia. Os valores assim obtidos estão indicados na Tabela 14.

Tabela 14: Potencial de conservação de energia – BEU (10³ tep/ano)
Uso final.

Uso Final	Setor					TOTAL
	Residencial	Transporte	Industrial	Energético	Outros¹	
Força motriz	22,6	4817,0	591,6	641,3	289,2	6361,7
Calor de processo	49,2	0,0	1962,6	1347,7	87,4	3446,9
Aquec. Direto	1819,2	0,0	3085,7	50,6	177,6	5133,2
Refrigeração	357,3	0,0	111,5	0,0	194,5	663,3
Iluminação	894,3	0,0	76,6	36,8	567,7	1575,4
Eletroquímica	0,0	0,0	150,5	0,0	0,0	150,5
TOTAL	3142,6	4817,0	5978,6	2076,4	1316,4	17330,9

(¹) Inclui os setores comercial, público e agropecuário.

Fonte: EPE (2009).

Verifica-se então que, em termos de quantidade de energia conservada, como é de se esperar, o maior potencial encontra-se no setor industrial. Merecem destaque também os setores de transporte e residencial. Contudo, relativamente, o setor residencial é o que apresenta maior potencial de conservação, já que o montante de 3,1 milhões de tep representou 13,8% do total da energia consumida nesse setor em 2008. Nesses termos, as residências são seguidas pelo setor energético (8,5%) e de transporte (7,7%). Em média, o potencial de conservação seria de 8,6% do consumo final energético.

É ilustrativa a comparação: o potencial de conservação no setor residencial, onde predomina a energia elétrica, equivaleria a uma usina hidrelétrica com 7.500 MW de potência instalada. No setor de transportes, em que os principais energéticos consumidos são óleo diesel, gasolina e etanol, o potencial de conservação equivaleria a 92,6 mil barris por dia, ou seja, cerca de 5% da produção nacional em 2008 (EPE, PDE, 2009).

4.3.2 Energia Elétrica

No PDE 2009 – 2019 encontra-se um resumo de trabalhos empreendidos na avaliação do potencial de conservação de energia elétrica. Na Tabela 15, são apresentadas as estimativas de potencial de conservação de energia elétrica, elaborada com base na revisão bibliográfica realizada para o PNE 2030 (EPE, 2007). Note-se que o potencial de mercado engloba os resultados de medidas introduzidas “por si mesmas”, aquelas que trariam redução de custos ao usuário; o potencial econômico, compreendendo as medidas que têm viabilidade econômica, porém exigem pré-condições que induzam à sua implantação; o potencial técnico, estabelecendo um limite teórico para penetração das medidas de eficiência energética, dado pela substituição de todos os usos da energia por equivalentes com a tecnologia mais eficiente disponível.

Tabela 15: Potenciais de conservação de energia elétrica.

Autor	Setor / Segmento	Potencial (%)	Observações
Schaeffer et al (1998) ³	Residencial	28	Potencial técnico
		14	Potencial econômico
		12	Potencial de mercado
	Hotéis (4-5 estrelas)	26	Potencial técnico
		25	Potencial econômico
		18	Potencial de mercado
	Shopping Center	58	Potencial técnico
		57	Potencial econômico
		37	Potencial de mercado
Industrial - Cimento	38	Potencial técnico/econômico	
	21	Potencial de mercado	
Industrial - Ferro Gusa e Aço	51	Potencial técnico	
	36	Potencial de mercado	
Leonelli (2006)	Iluminação Pública	14	-
	Saneamento	20	-
	Brasil	7	-
IAEA (2006)	Brasil	20 - 30	-
WWF (2006)	Brasil	25	-
MME/SPE (2006)	Edificações	10	-
	Iluminação Pública	51	-
	Saneamento	9	-

(³) Os potenciais apresentados de conservação de energia elétrica são para o ano de 2020. Fonte: EPE (2009).

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

Também a Confederação Nacional da Indústria (CNI), resultado de convênio com o PROCEL, realizou avaliação de 13 setores industriais com expressivo consumo de energia (CNI, 2009). Os resultados agregados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Potencial de conservação em eletricidade em setores industriais selecionados.

Uso da energia	Potencial (por ano)		Subsetores com maior potencial de conservação
	10 ³ tep	GWh	
Força motriz	2.032,40	23.640	Siderurgia Extrativa mineral Alimentos e bebidas
Refrigeração	46,6	540	Alimentos e bebidas Química Têxtil
Fornos elétricos	370,9	4.310	Siderurgia Minerais não ferrosos Ferroligas
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	2.703,90	31.450	

Fonte: CNI (2009).

É ilustrativa a comparação apresentada no PDE: “o potencial de conservação de energia elétrica na indústria avaliado pela CNI equivale a uma usina hidrelétrica com 6.500 MW de potência instalada. Isto é equivalente a todo o consumo de energia elétrica dos grandes consumidores industriais da rede interligada do subsistema Sudeste/Centro-Oeste previsto para o ano de 2009. Como grandes consumidores industriais relacionam-se os seguintes subsectores: bauxita, alumina, alumínio, siderurgia, ferroligas, pelletização, cobre, soda-cloro, petroquímica, celulose, papel e pasta mecânica e cimento. A previsão do consumo para 2009 é feita regularmente no âmbito da EPE.

Para efeito dessa comparação, a previsão do consumo exclui a autoprodução” (EPE, PDE, 2009).

4.3.3 Setor Residencial

4.3.3.1 Considerações Iniciais

Destacam-se no setor residencial brasileiro o consumo de eletricidade, lenha e gás liquefeito de petróleo - GLP (ver Tabela 17).

Tabela 17: Consumo final energético no setor residencial brasileiro em 2008.

Fonte	Consumo (10 ³ tep)	%
Eletricidade	8.220	36,2
Lenha	7.706	33,9
GLP	6.043	26,6
Carvão vegetal	531	2,3
Gás natural	229	1,0
Querosene	9	0,0
Total	22.738	100,0

Fonte: EPE (2009).

Variáveis como o número de domicílios e o perfil de posse de equipamentos são decisivas na determinação do consumo de energia neste setor. Enquanto a eletricidade é significativa para os eletrodomésticos e outros equipamentos de uso em residências, como chuveiros elétricos e lâmpadas, a lenha e o GLP têm aplicações importantes no atendimento da demanda por cocção e aquecimento de água.

No caso da energia elétrica, foram operadas duas metodologias na projeção da demanda. Sendo uma do tipo “*top-down*”, baseou-se na cenarização da evolução de dois indicadores básicos: relação de consumidores residenciais pela população, da qual se obtém a projeção do número de consumidores a partir da projeção da população; e o consumo médio por consumidor residencial. A outra, tipo “*bottom-up*”, por uso final, em que se considera o número de domicílios, a posse média de equipamentos e seu consumo específico (na qual estão subjacentes possíveis ganhos de eficiência).

Usou-se a metodologia “*bottom-up*” considerando, depois, desconsiderando mudanças 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. Também, para efeito de cálculo, não foram consideradas diferenças de posse e uso de equipamentos. E ainda, a energia conservada assim calculada referiu-se exclusivamente ao aumento da eficiência dos novos equipamentos.

Como já destacado anteriormente, a metodologia permite que seja considerada, mas não contabilizada, como energia conservada, a redução originada da substituição

entre fontes. Por exemplo, a substituição da eletricidade por gás ou por aquecimento solar direto no caso do aquecimento de água (EPE, PDE, 2009).

4.3.3.2 Taxa de Atendimento

Na determinação desta taxa, admitiu-se que a meta inicial do programa Luz para Todos, inclusão de 10 milhões de pessoas ou 2 milhões de famílias, seria atingida em 2010 e que as novas demandas posteriores seriam atendidas na sequência. A evolução da taxa de atendimento (percentual de domicílios com energia elétrica) está ilustrada na figura 5. Com isto, o número de domicílios particulares permanentes com energia elétrica cresce de 57 milhões em 2008 para cerca de 74 milhões de unidades em 2019 (EPE, PDE, 2009).

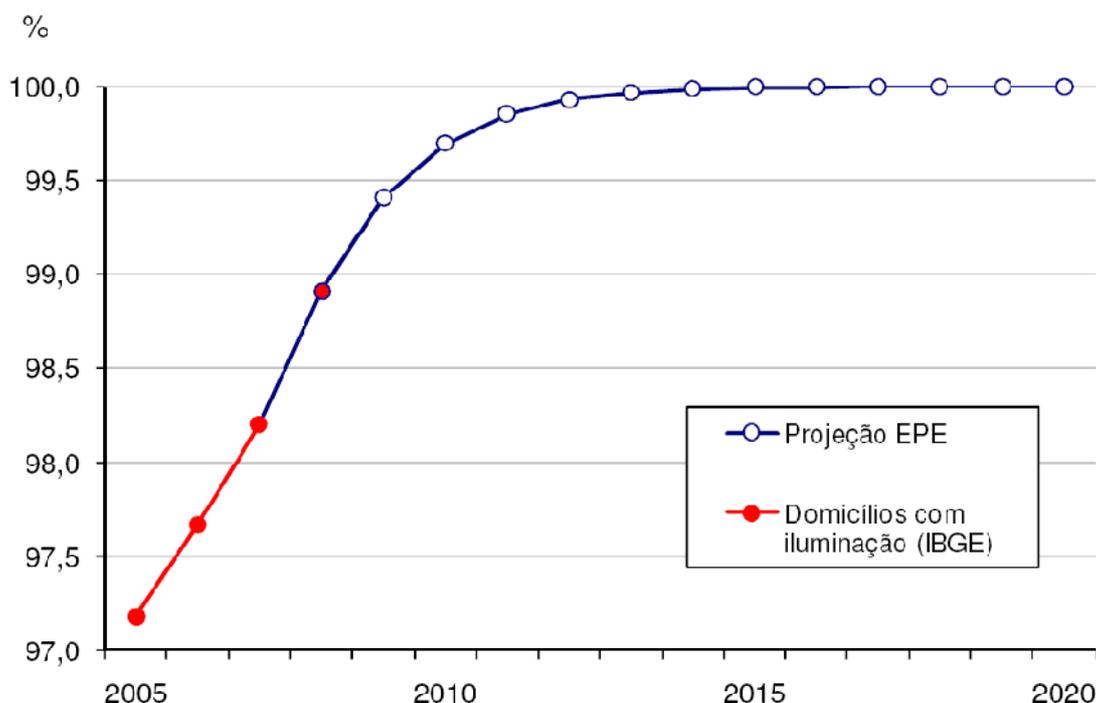


Figura 5: Projeção de evolução do percentual de domicílios com energia elétrica – Brasil.

Nota: Domicílios particulares permanentes.

4.3.3.3 Posse de Equipamentos

A evolução da posse de equipamentos por domicílio é determinante do crescimento da demanda de eletricidade. Na metodologia empregada, a evolução da posse média resulta da estimativa da evolução do estoque dos principais eletrodomésticos 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.

Nos cálculos, baseou-se no perfil de idade dos equipamentos levantado na “Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – ano base 2005” realizada pelo PROCEL (Eletrobrás, 2007). Ademais, admitiu-se que os equipamentos são substituídos por novos mais eficientes no final da vida útil. Além da renovação da parcela do estoque 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.

Na Tabela 18 são apresentados os dados básicos da vida útil dos equipamentos domésticos e a posse média destes pelas famílias no horizonte de (2010-2019).

Tabela 18: Vida útil e posse média de equipamentos eletrodomésticos.

Equipamento	Vida útil Anos	Posse média por 100 domicílios		
		2010	2014	2019
Ar condicionado	15,0	20,0	23,0	24,0
Refrigerador	15,0	96,0	100,0	100,0
Congelador	15,0	19,0	17,0	16,0
Chuveiro elétrico	15,0	84,0	85,0	86,0
Máquina de lavar roupas	15,0	63,0	67,0	72,0
Televisão	14,0	138,0	155,0	177,0
Lâmpadas (*)	1,5	7,55	7,59	7,63

(*) número médio de lâmpadas por domicílio.

Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - ano base 2005 - PROCEL (Eletrobrás, 2007).

Convém notar que o congelador (“freezer”) é um eletrodoméstico que experimenta decréscimo na posse média no período. Trabalha-se a hipótese que, num cenário em que a inflação dos preços de alimentação e bebidas está sob controle, reduz-se a necessidade de estoque doméstico. No cenário referencial essa condição não se altera, trabalhando-se então a premissa de não- expansão do estoque de 12 milhões de equipamentos (EPE, PDE, 2009).

4.3.3.4 Consumo de Eletrodomésticos

Premissa geral é que a oferta de equipamentos evolui na direção de disponibilizá-los sempre mais modernos e eficientes. Assim, por hipótese, a eficiência média do estoque de equipamentos aumenta progressivamente devido à sua reposição ao final da vida útil e à expansão do estoque associado ao reequipamento dos novos domicílios. Supôs-se que a eficiência dos novos equipamentos adquiridos pelas famílias cresce a uma taxa média de 0,5% ao ano até o horizonte de 2019.

Admitiu-se também que o equipamento de referência seria o mesmo no horizonte do plano. Por exemplo, o condicionador de ar de referência foi sempre 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, demandando conseqüentemente mais energia elétrica.

No cálculo do consumo específico por equipamento existente no ano de 2005, tomou-se como referência os valores determinados a partir de informações contidas na “Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso” do PROCEL (Eletrobrás, 2007), nas tabelas de eficiência do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO (INMETRO, 2009), além de dados de potência e tempo de uso, disponibilizados pelas concessionárias de energia elétrica.

Considerou-se também que no período 2010-2019 ocorrerá uma redução de 5% no consumo dos novos equipamentos no final do período em relação aos novos equipamentos considerados na atualidade. Principais hipóteses utilizadas na estimativa do consumo específico destes equipamentos no ano base, consideradas constantes ao longo do horizonte de análise:

- Refrigerador: funcionando 10 horas ao dia, 365 dias ao ano, constante no horizonte (incluindo o período do compressor desligado) no cálculo da média de consumo.
- Congelador: semelhante ao da geladeira, uso de 9 horas por dia e 365 dias ao ano, constante no horizonte de análise (descontado o tempo do compressor desligado).
- Ar condicionado: tempo médio de uso de 8 horas por dia, durante quatro meses/ ano.
- Chuveiro elétrico: tempo médio de banho de 10 minutos/ habitante na posição “inverno” durante quatro meses e na posição “verão” durante o resto do ano.
- Máquina de lavar roupas: funcionamento médio de 12 horas/mês (3 horas/ semana).
- Televisão: tempo médio de utilização de 4 horas/ dia e 365 dias/ ano, ponderado pela posse média de aparelhos de 14, 20, 21 e 29 polegadas nos domicílios no ano de 2005.
- Lâmpadas: média de utilização de lâmpadas de uso habitual, 5 horas/ dia, e de uso eventual (1 hora/ dia), ponderada pela posse média de cada um dos dois tipos.

Na Tabela 19 encontra-se o consumo médio do estoque de equipamentos nas residências estimado. Os ganhos de eficiência são apresentados na figura 6.

Tabela 19: Evolução do consumo unitário do estoque de equipamentos nos domicílios (em kWh/equipamento/ano).

Equipamento	2010	2014	2019
Ar condicionado	456	441	419
Refrigerador	349	338	320
Congelador	519	499	458
Lâmpadas	39	38	37
Chuveiro elétrico	483	498	511
Máquina de lavar roupas	68	66	63
Televisão	149	147	145

Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - ano base 2005 - PROCEL (Eletrobrás, 2007).

Cabe destacar que se restringiu a esse grupo de equipamentos em razão deles representarem 85% do consumo de uma residência brasileira média. Porém, a crescente importância de outros eletrodomésticos nas residências leva a supor que a proporção de “outros usos” (em 2005, 15%) tenda a aumentar. Chama-se ainda a atenção que não estão aí contabilizados o consumo de energia elétrica decorrente do aumento da posse e uso de outros equipamentos aí não relacionados. De acordo com o PROCEL (Eletrobrás, 2007) em cada 100 domicílios, não haveria 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-game (EPE, PDE, 2009).

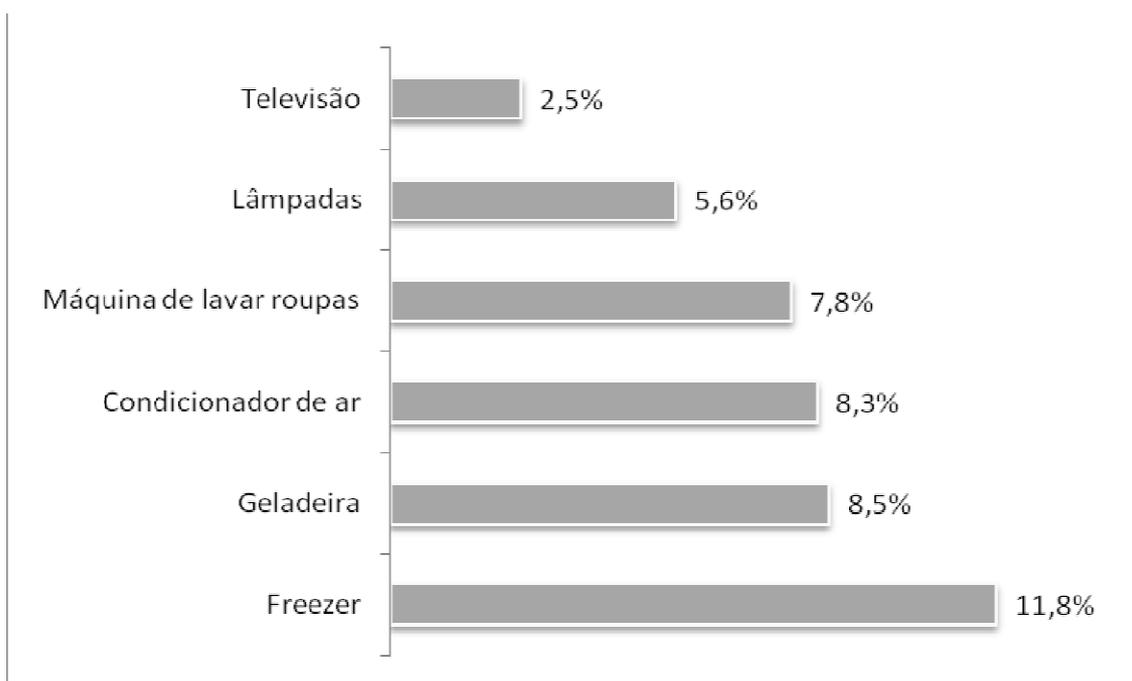


Figura 6: Ganho de eficiência de equipamentos eletrodomésticos no horizonte 2019.

Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - ano base 2005 - PROCEL (Eletrobrás, 2007).

Para futuros estudos, pesquisas e trabalhos nesta área, vale aqui considerar que já no ano 2001, a categoria “outros usos” representava 45% do consumo de energia elétrica dos lares norte-americanos (EIA, 2009). Aqui se trabalha sob a premissa de atingir em 2019 o percentual de 29%. Essa observação é relevante porque, em razão da metodologia usada (avaliação da eficiência feita pela diferença entre a projeção da demanda de energia considerada e não pela evolução do consumo específico de equipamentos), a mudança da estrutura de consumo nas residências, como, por exemplo, ganho de participação de outros equipamentos, pode mascarar os ganhos de eficiência obtidos.

4.3.3.5 Calor de Processo

Na já referida pesquisa do PROCEL, a energia elétrica é a forma preferencial de energia para o aquecimento de água para banho na maioria (73,5%) dos domicílios. O uso de outros energéticos para este fim é residual. Expressiva (17,5%) ainda é a parcela de domicílios que não possui equipamento para aquecer a água. Há então um grande potencial para substituir a energia elétrica por gás ou aquecimento solar direto. Entre os domicílios que já usam o gás para o aquecimento de água no banho, quase 60% o efetua por meio de gás canalizado (o restante utiliza o GLP).

Ainda no caso do chuveiro elétrico, o parâmetro considerado é o número de domicílios com este equipamento. Essa estimativa resulta da diferença entre domicílios que aquecem água para banho e os que utilizam algum outro energético que não a eletricidade. Para tanto, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- O percentual de domicílios em que se aquece água para banho evoluiria de 81% em 2005 (Eletrobrás, 2007) para 86% em 2019. Nessa projeção admitiu-se que todos os domicílios do país seriam capazes de aquecer água para banho em 2035, com exceção da região Norte, justificada por costumes regionais associados às condições climáticas.
- O percentual de domicílios que utilizam gás natural no banho evoluiria de 1,7% (Eletrobrás, 2007) para 4,4% em 2019. Admitiu-se consumo de 17 m³/domicílio/mês e que 80% dos domicílios conectados à rede de gás possuiriam aquecedores a gás.
- O percentual de domicílios dotados de aquecimento solar direto evoluiria de 0,4% em 2005 (Eletrobrás, 2007) para 0,63% em 2019. Admitiu-se vendas de coletores solares no horizonte de análise no mesmo ritmo verificado entre 1983 e 2000, 10% ao ano. Referenciou-se num sistema de aquecimento solar composto de coletor, reservatório e chuveiro que na maior parte do tempo não usaria energia elétrica (Fraidenraich, 2008).
- O percentual de domicílios que aquece água para banho utilizando outro energético que não os citados nem a energia elétrica manter-se-ia no patamar de 5% no período.

Por fim, o percentual de domicílios com pelo menos um chuveiro elétrico vai de 73,4% em 2005 (Eletrobrás, 2007) para 75,8% em 2019, taxa média de 0,2% ao ano (EPE, PDE, 2009).

4.3.3.6 Aquecimento Direto

De acordo com o BEU (EPE, BEN, 2009), o aquecimento direto (energia térmica) é o mais importante uso final da energia nas residências. Finalidade principal deste é a cocção de alimentos, sendo complementares usos como secagem de alimentos e roupas, ferros de passar roupa e aquecimento ambiental (estufas e lareiras). Aparelho típico do aquecimento direto residencial é o fogão e principais energéticos são lenha e GLP.

No longo prazo, num cenário de crescimento da renda, ocorrendo desenvolvimento tecnológico e expansão do emprego, a tendência será a substituição continuada da lenha pelo GLP. Substituição energética vantajosa, contudo, como antes já destacado, não contabilizada nos trabalhos atuais, como ganho de eficiência energética.

Fogões estão entre os produtos abrangidos pelo PBE, coordenado pelo INMETRO. Que estabeleceu critérios e normas de desempenho, o que resultou em estímulo ao aumento da eficiência energética. Segundo a Nota Técnica, “atualmente, 626 modelos de fogões e fornos comercializados no país são alcançados pelo PBE (modelos etiquetados). Hoje, cerca de 61% dos fogões (mesa de cocção) fabricados no país apresentam rendimento igual ou superior a 62% (INMETRO, 2009), evidenciando o potencial de melhoria do índice de rendimento médio do estoque de fogões nas residências, parâmetro básico para avaliação dos ganhos de eficiência energética neste uso. Importa salientar em complemento que esses ganhos podem ser eventualmente mascarados em face do aumento do tamanho (número de bocas) dos fogões nas residências” (EPE, PDE, 2009).

4.3.3.7 Eficiência Energética

Finalmente, na Tabela 20 encontram-se as estimativas de ganho de eficiência energética no uso da energia elétrica nas residências no horizonte decenal (2010-2019). Está aí também explicitada a influência do efeito renda, visualizado no aumento da posse de equipamentos. Convém ter em conta que o cálculo estará restrito aos equipamentos relacionados anteriormente. Por exemplo, na parcela do consumo atribuída a “outros usos” não se explicita a conservação que está embutida no uso dos equipamentos, a despeito da evolução importante do seu consumo agregado. Todo aumento de consumo associado a esses equipamentos estará associado ao aumento da posse e da renda.

Observa-se que não está contabilizado como ganho de eficiência o deslocamento do aquecimento elétrico (chuveiro e boilers) por outros energéticos (gás, aquecimento solar direto etc.), ainda que esse cálculo possa ser explicitado. Com relação a chuveiros elétricos deve-se ressaltar ainda que, por hipótese, supôs-se aumento da potência dos

chuveiros elétricos ao longo do horizonte. Isso significa que essa estimativa da conservação de energia contida intrinsecamente na projeção da demanda pode estar subavaliada. Nessas condições, na Tabela 20 é apresentada a decomposição do aumento do consumo de energia elétrica no setor residencial no período de 2010 e 2019.

Tabela 20: Eficiência energética no setor residencial. Energia elétrica.

Equipamento	Aumento do consumo em GWh devido		Aumento do Consumo	
	Aumento posse equipamento (A)	Aumento potência equipamento (B)	Conservação (C)	A + B - C
Ar condicionado	2.971		735	2.236
Geladeira	6.100		2.370	3.730
Freezer	0		725	-725
Lâmpadas	4.661		1.303	3.358
Máquina de lavar roupas	1.105		317	787
Televisão	7.581		535	7.046
Subtotal	22.418		5.985	16.432
Chuveiro elétrico	6.724	1.916		8.640
Outros usos	33.177			33.177
TOTAL	62.319	1.916	5.985	58.249

Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - ano base 2005 - PROCEL (Eletrobrás, 2007).

Nota-se que a energia conservada de 5.985 GWh, corresponde a 11,7% do acréscimo do consumo residencial no horizonte de estudo (2010-2019) e 3,7% do consumo residencial de energia elétrica projetado para 2019, de acordo com estudos da EPE. Além desse montante, deve-se considerar a energia elétrica deslocada pela penetração do gás e do aquecimento solar no banho. Calcula-se em 4.490 GWh o montante de energia elétrica deslocada em 2019, por outras fontes para aquecimento de água.

Por fim, a (EPE, PDE, 2010, NT DEA 14/10) destaca que a energia elétrica conservada equivale à geração de uma usina hidrelétrica com 1.200 MW de capacidade instalada, comparável à potência da usina de Machadinho, no rio Pelotas, Santa Catarina, ou da usina Emborcação, no rio Paranaíba, Minas Gerais. A energia elétrica deslocada no aquecimento de água para banho equivale à e uma hidrelétrica com 900 MW de capacidade instalada, comparável à potência a ser instalada em Campos Novos, no rio Canoas, em Santa Catarina.

Em seu conjunto, a energia elétrica evitada equivale à geração do porte de Itumbiara (2.124 MW), no rio Paranaíba, Goiás, sexta maior hidrelétrica brasileira em operação (EPE, PDE, 2009).

5 Eficiência Energética no Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030

5.1 Preliminares

5.1.1 Apresentação

O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), que se passa a considerar, é um primeiro e decisivo passo na direção de enfrentar um dos grandes desafios que se colocam para o país: o planejamento integrado dos recursos energéticos. Tal planejamento integrado dos recursos energéticos não tem uma longa história no Brasil.

Os estudos associados ao PNE 2030, segundo os editores, compõem um vasto conjunto de notas técnicas (quase uma centena) que fundamentam análises e pesquisas que subsidiaram a formulação de estratégias de expansão da oferta de energia sob diferentes cenários de evolução da demanda. Tais estudos, conduzidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), fundamentaram, de um lado, a determinação de recursos e reservas dos diversos energéticos e sua caracterização técnico-econômica como fonte de energia, em especial, na geração de energia elétrica, bem como dos aspectos sócio-ambientais envolvidos em sua utilização e potencial visando o atendimento da demanda. Do lado da demanda construiu-se cenários de longo prazo para a evolução da economia mundial e nacional, nos quais se quantificaram projeções demográficas e a evolução do chamado progresso autônomo da eficiência energética, refletindo avanços tecnológicos e a adequação aos hábitos no uso da energia. Neste quadro, projetou-se a demanda de energia no uso final.

Destaca-se, por fim, o pioneirismo do PNE 2030. Pela primeira vez no país, na esfera governamental, desenvolveu-se um estudo de planejamento de longo prazo de caráter energético, tratando não somente a questão da energia elétrica, como também dos demais energéticos, como petróleo, gás natural e biomassa. As referências anteriores no âmbito de governo eram os estudos da Petrobras, em petróleo e gás, e da Eletrobrás, coordenadora do extinto Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS), na área de eletricidade. O PNE 2030 surge então como um novo marco.

5.1.2 Estrutura

No PNE 2030, parte-se da análise das perspectivas da economia mundial e brasileira no horizonte do ano 2030 e suas conseqüências para o sistema energético nacional: disponibilidade, perspectivas de uso e competitividade dos recursos energéticos; segurança do suprimento, aspectos sócio-ambientais inerentes à expansão da oferta; capacitação industrial, desenvolvimento tecnológico e eficiência energética.

As alternativas de suprimento de energia iniciam-se com as avaliações quantitativas da demanda de energia, dos recursos energéticos e das restrições e incentivos ao seu desenvolvimento. Descreve-se as hipóteses macroeconômicas, as visões de mundo e país e de crescimento demográfico. Então são apresentados os

resultados das projeções da demanda de energia no longo prazo nos cenários econômicos. Neste quadro, trata-se o consumo de energia por setor e por fonte, emergindo a eficiência energética nessas projeções como variável de melhor utilização da energia, sinalizada indicadores como a elasticidade-renda da demanda e a intensidade energética.

Após apresentação de recursos e reservas, bem como dos aspectos tecnológicos, das projeções da demanda e dos principais elementos que caracterizam a expansão da oferta, são apresentados os resultados consolidados dos estudos, destacando-se a evolução da estrutura da oferta interna de energia e sintetizando os aspectos básicos das principais fontes energéticas. Por fim, apresenta-se ainda a avaliação das emissões de CO₂ e da demanda de investimentos geradas pela expansão da oferta de energia.

5.1.3 Aspectos Metodológicos

Os estudos do PNE 2030 foram estruturados em quatro grandes grupos, resultando:

- Módulo macroeconômico: cenários de longo prazo das economias mundial e nacional;
- Módulo de demanda: projeções do consumo final de energia;
- Módulo de oferta: alternativas de expansão da oferta frente a evolução da demanda;
- Estudos finais: projeções finais de consumo e de oferta interna de energia.

À cada um destes módulos corresponderam modelos de quantificação e consistência. Nos cenários macroeconômicos nacionais, foi aplicado o Modelo de Consistência Macroeconômica de Longo Prazo (MCMLP), adaptado na EPE a partir de modelagem proposta pelo Banco Mundial. No cenário demográfico, aplicou-se o Modelo de Estimativa de Parâmetros Demográficos (MEDEM), desenvolvido na EPE a partir de modelagem proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Na projeção do consumo final utilizou-se um modelo do tipo “*bottom-up*”, Modelo Integrado de Planejamento Energético (MIPE2), criado na COPPE: Coordenação de Programas de Pós- Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

No setor residencial, especificamente para o consumo de energia elétrica, aplicou-se o Modelo de Projeção da Demanda Residencial de Energia (MSR), desenvolvido na EPE. Trata-se também de modelo do tipo “*bottom-up*” em que a demanda de um consumidor residencial é obtida a partir da posse e do uso de equipamentos eletrodomésticos. A calibração do modelo foi feita com base em pesquisas de posse e uso disponibilizadas pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), coordenado pela Eletrobrás. A aplicação do modelo permitiu a incorporação de premissas relativas à eficiência energética neste segmento do consumo.

No lado da oferta, dois modelos específicos foram aplicados para avaliar a transformação da energia primária: o Modelo de Estudo do Refino (M-Ref), desenvolvido na EPE a partir de modelagem proposta pela COPPE, aplicado no dimensionamento da expansão do parque de refino de petróleo adequado à demanda projetada de derivados, e o Modelo de Expansão de Longo Prazo (MELP), desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL). Os resultados obtidos nos estudos da oferta e da demanda foram consistidos e integrados no modelo *MESSAGE*, da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Resultado final visualiza-se na evolução da composição da oferta interna de energia, permitindo formular hipóteses de projeção da Matriz Energética Brasileira nos próximos 25 anos. A Figura 7 permite a visualização da abordagem descrita (EPE, PNE, 2007).

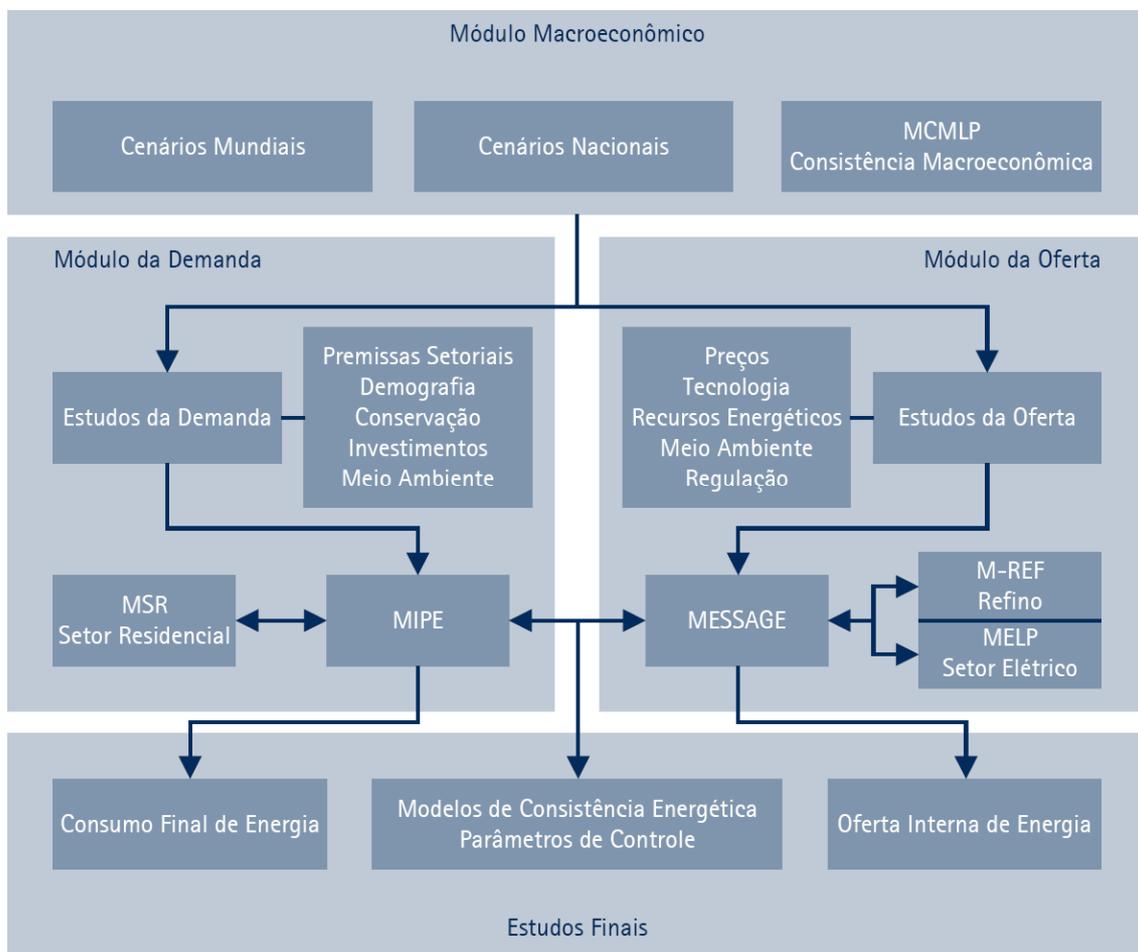


Figura 7: PNE 2030 - Modelos de Cálculo Utilizados.

Fonte: EPE.

5.1.4 Cenários Macroeconômicos

O PNE 2030 trabalha com quatro cenários. Numa visão geral, o Cenário A: “Na crista da onda”, está associado à visão global denominada “Mundo Uno”, como aquele em que o país potencializa suas forças e remove os principais obstáculos ao crescimento, aproveitando o contexto externo extremamente favorável. Os Cenários B1: “Surfando a marola” e B2: “Pedalinho” estão referenciados à visão global chamada “Arquipélago”. Ponderam que um cenário externo relativamente favorável não é garantia para sustentar um crescimento doméstico. A diferença básica nas visões deve-se à eficácia do país na administração das forças e na capacidade de superar os obstáculos. Por fim, no Cenário C: “Náufrago”, o país se ressentir de um cenário mundial conturbado, onde os fluxos de capitais são virtualmente interrompidos e o comércio internacional se expande a taxas modestas ou mesmo se retrai em alguns períodos (EPE, PNE, 2007).

5.2 Eficiência Energética

No PNE 2030, a eficiência energética é tratada inicialmente no âmbito das projeções da demanda energética. Acento maior aí é dado à demanda por energia elétrica nos principais setores econômicos, em seus respectivos cenários. Em seguida ela é abordada no capítulo referente à própria eletricidade, já que, de um lado, o PNE 2030 é estruturado em torno das principais fontes energéticas (demandas de consumidores finais e respectivas coberturas: gerenciamento de demanda e oferta), mas também, de outro, porque o próprio conceito de eficiência tem sido aplicado concentradamente nesta fonte energética. Um terceiro tratamento, a eficiência energética recebe no capítulo da apresentação dos resultados consolidados, resultando em indicações de uma eficiência energética global no horizonte temporal do PNE 2030.

5.2.1 Projeções da Demanda

5.2.1.1 Consumo Final por Fonte

Na Tabela 21, são apresentadas, de forma resumida, resume as projeções do consumo final de energia por fonte nos cenários considerados e na Figura 8 é apresentada a repartição do consumo final de energia por fonte no Cenário B1. Verifica-se que em 2030 os derivados do petróleo devem continuar liderando a matriz do consumo final de energia, embora sua participação caia para algo entre 35% e 37%, dependendo do cenário. Parcela do diesel será oriunda do uso de óleos vegetais (H-Bio).

A eletricidade consolida-se como segunda forma de energia, indo para a faixa de 22% a 24%. Produtos da cana também elevam sua participação, com o crescimento do etanol (para 14%). O gás natural tende a responder por cerca de 8% do consumo final de energia. O biodiesel, dependendo do cenário, surge com participação de 1% a 2,5% (EPE, PNE, 2007).

Tabela 21: Projeções do consumo final de energia (milhares de tep).

	2005	2010	2020	2030	$\Delta\%$ AO ANO 2005 - 2030
CENÁRIO A	165.044	207.334	309.268	474.014	4,3
Derivados de petróleo	66.875	81.055	113.667	166.318	3,7
Eletricidade	31.103	40.840	64.11	106.947	5,1
Produtos da cana	20.046	26.190	41.872	69.105	5,1
Gás natural	9.411	14.256	24.319	40.069	6,0
Carvão mineral	9.938	14.680	25.756	35.297	5,2
Lenha e carvão vegetal	22.367	20.743	23.669	27.094	0,8
Biodiesel ¹	-	2.144	4.155	10.765	8,4
Outros	5.304	7.425	11.720	18.420	5,1
CENÁRIO B₁	165.044	206.149	288.663	402.821	3,6
Derivados de petróleo	66.875	81.784	109.593	150.613	3,3
Eletricidade	31.103	40.346	58.618	85.325	4,1
Produtos da cana	20.046	25.087	39.240	60.289	4,5
Gás natural	9.411	13.756	22.259	32.645	5,1
Carvão mineral	9.938	14.338	22.850	26.349	4,0
Lenha e carvão vegetal	22.367	22.792	22.811	25.174	0,5
Biodiesel ¹	-	2.115	4.019	9.715	7,9
Outros	5.304	5.932	9.274	12.711	3,6
CENÁRIO B₂	165.044	206.328	267.925	356.285	3,1
Derivados de petróleo	66.875	81.521	100.032	128.914	2,7
Eletricidade	31.103	39.804	55.644	80.927	3,9
Produtos da cana	20.046	25.231	35.701	52.619	3,9
Gás natural	9.411	13.458	19.707	27.994	4,5
Carvão mineral	9.938	14.883	21.933	25.532	3,8
Lenha e carvão vegetal	22.367	22.942	23.965	25.861	0,6
Biodiesel ¹	-	1.371	2.633	3.299	4,5
Outros	5.304	7.117	8.311	11.139	3,0
CENÁRIO C	165.044	200.013	243.649	309.283	2,5
Derivados de petróleo	66.875	77.400	89.547	113.131	2,1
Eletricidade	31.103	38.858	51.420	72.832	3,5
Produtos da cana	20.046	25.274	31.267	38.509	2,6
Gás natural	9.411	13.007	17.867	24.352	3,9
Carvão mineral	9.938	14.354	20.602	23.695	3,5
Lenha e carvão vegetal	22.367	22.890	22.983	24.380	0,3
Biodiesel ¹	-	1.280	2.364	2.993	4,3
Outros	5.304	6.951	7.599	9.391	2,3

(¹) Taxa de crescimento com base no período 2010-2030.

Fonte: EPE.

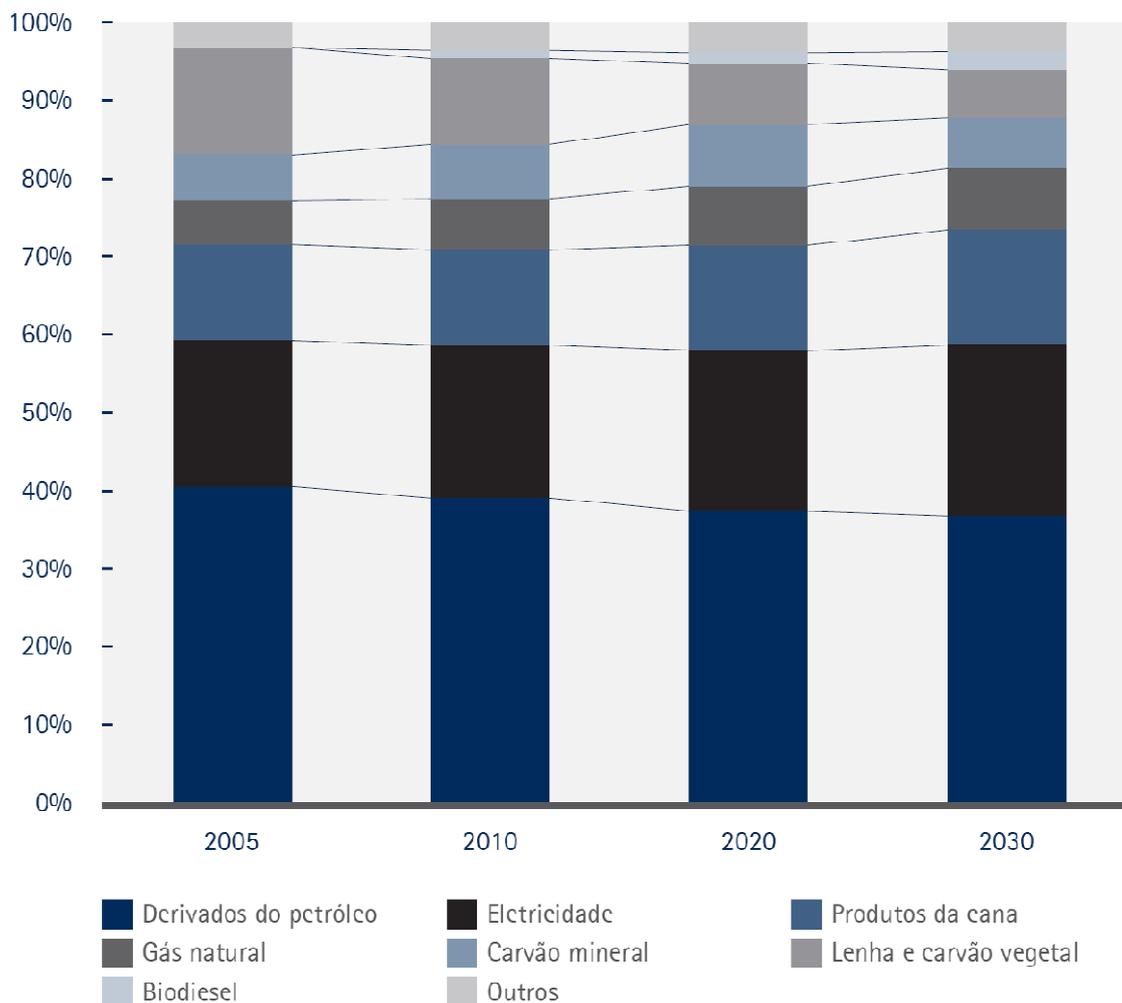


Figura 8: Evolução da participação das fontes no consumo final de energia(Cenário B1).
Fonte: EPE.

5.2.1.2 Consumo Final por Setor

Os dados agregados encontram-se na Tabela 22 para cada um dos cenários e na Figura 9 é apresentada a evolução do consumo final. Observa-se que a demanda de energia final varia entre 309 milhões de tep no Cenário “C” e 474 milhões de tep, no Cenário “A”. Evolução que reflete a trajetória de crescimento econômico associada ao respectivo cenário, com distintas estruturas de participação relativa de cada um dos setores.

Tabela 22: Projeções do Consumo Final de Energia – Setores (milhares de tep).

	2005	2010	2020	2030	$\Delta\%$ AO ANO 2005 - 2030
CENÁRIO A	165.044	207.334	309.268	474.014	4,3
Agropecuário	8.358	10.985	17.443	28.602	4,6
Comercial/Público	8.904	11.338	18.406	34.046	5,5
Transportes	52.459	65.783	95.794	151.856	4,3
Industrial	73.496	96.787	147.349	217.186	4,4
Residencial	21.827	22.442	30.278	42.327	2,7
CENÁRIO B₁	165.044	206.149	288.663	402.821	3,6
Agropecuário	8.358	10.456	14.997	21.339	3,8
Comercial/Público	8.904	11.165	16.430	26.955	4,5
Transportes	52.459	65.898	92.655	139.119	4
Industrial	73.496	94.791	135.357	174.948	3,5
Residencial	21.827	23.839	29.223	40.461	2,5
CENÁRIO B₂	165.044	206.328	267.925	356.285	3,1
Agropecuário	8.358	10.455	13.298	17.751	3,1
Comercial/Público	8.904	11.178	15.113	23.089	3,9
Transportes	52.459	66.172	84.589	115.863	3,2
Industrial	73.496	94.690	123.481	156.412	3,2
Residencial	21.827	23.834	31.446	43.172	2,8
CENÁRIO C	165.044	200.013	243.649	309.283	2,5
Agropecuário	8.358	9.609	12.095	15.796	2,6
Comercial/Público	8.904	10.745	14.023	20.024	3,3
Transportes	52.459	63.900	74.845	95.315	2,4
Industrial	73.496	92.513	113.426	138.669	2,6
Residencial	21.827	23.247	29.260	39.480	2,4

Fonte: EPE.

O consumo do setor residencial apresenta taxas de crescimento inferiores à média nacional em todos os cenários, embora haja expansão da renda per capita. Tal evolução pode ser atribuída ao aumento da eficiência, em especial ao maior uso de equipamentos elétricos e à substituição de insumos menos eficientes como lenha no setor, compensando a ampliação do número de equipamentos consumidores nas residências (EPE, PNE, 2007).

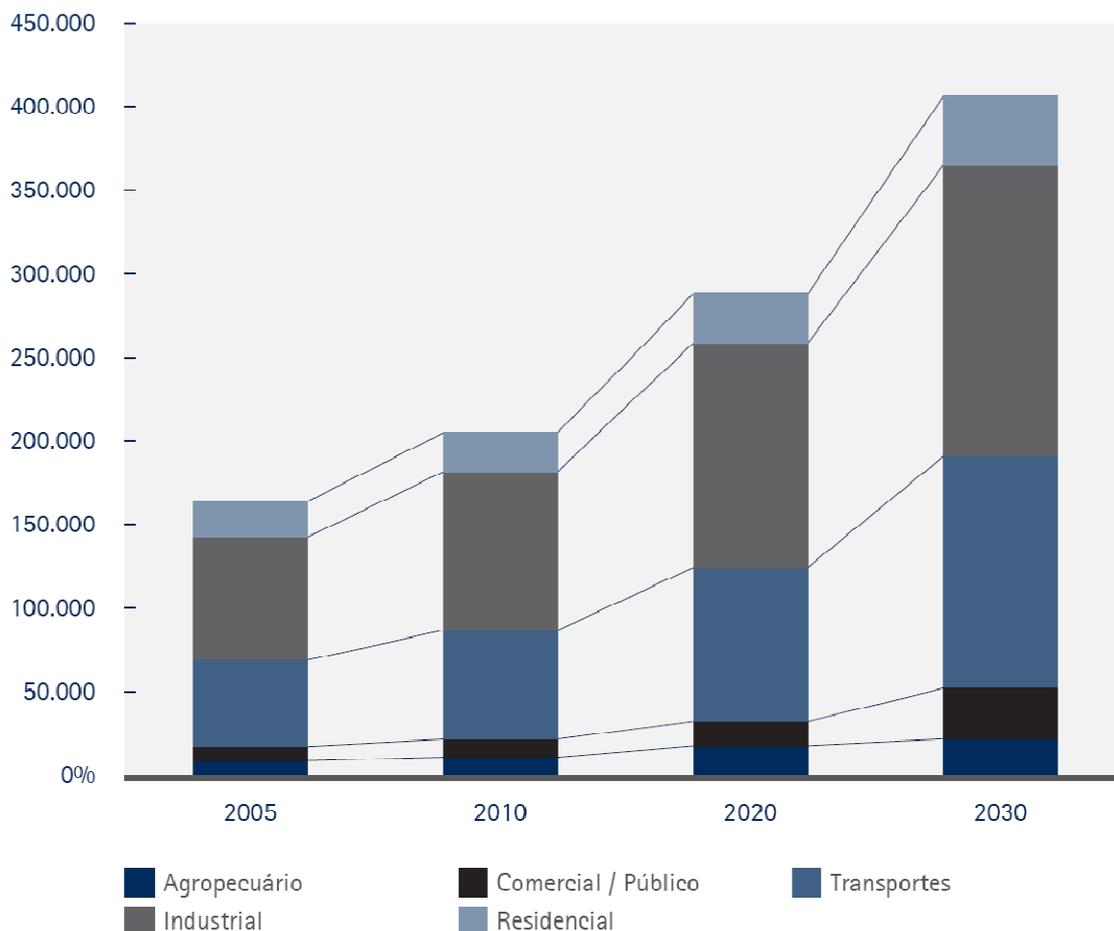


Figura 9: Evolução do consumo energético setorial (Cenário B1). Em milhares de tep.
Fonte: EPE.

5.2.1.3 Projeções da Eficiência

Na Tabela 23, encontra-se projetada a eficiência energética intrínseca em cada cenário e a Figura 10 permite comparar as hipóteses de conservação (progresso autônomo). Convém ter em conta que tais valores referem-se à dinâmica natural de aumento da eficiência, movimento aqui denominado de progresso autônomo. Os indutores dessa eficiência incluem tanto ações intrínsecas a cada setor (como a reposição tecnológica natural pelo término da vida útil ou por pressões de mercado ou ambientais) quanto motivadas por programas e ações de conservação já em uso no país.

Para efeito da projeção da conservação de energia sob a ótica do progresso autônomo tomou-se por base a evolução da energia útil e da energia final em cada setor, por tipo de uso (força motriz, aquecimento e refrigeração, calor de processo e iluminação), sendo referência para essas estimativas o Balanço de Energia Útil (BEU) e o Balanço Energético Nacional (BEN). No caso do setor residencial, a referência para

os estudos de eficiência acaba sendo o consumo residencial específico de eletricidade por uso final (EPE, PNE, 2007).

Tabela 23: Eficiência energética por setor - Progresso autônomo (% do consumo final).

	2010	2020	2030
CENÁRIO A	3,4%	7,3%	10,9%
Agropecuário	1,5%	5,8%	10,1%
Comercial/Público	0,8%	8,0%	8,0%
Transportes	5,7%	7,1%	13,1%
Industrial	2,4%	7,9%	10,7%
Residencial	2,5%	6,7%	8,0%
CENÁRIO B₁	2,5%	5,7%	8,7%
Agropecuário	0,8%	3,3%	6,0%
Comercial/Público	0,6%	5,1%	5,8%
Transportes	4,2%	6,9%	12,1%
Industrial	2,1%	5,8%	7,9%
Residencial	1,2%	3,4%	4,1%
CENÁRIO B₂	2,3%	4,5%	7,7%
Agropecuário	0,6%	2,6%	4,6%
Comercial/Público	0,4%	4,3%	4,7%
Transportes	4,2%	6,6%	12,0%
Industrial	1,5%	3,8%	6,0%
Residencial	1,2%	3,3%	3,9%
CENÁRIO C	1,2%	2,9%	4,4%
Agropecuário	0,3%	1,2%	2,0%
Comercial/Público	0,2%	2,9%	3,3%
Transportes	1,3%	3,5%	5,9%
Industrial	1,4%	3,0%	4,2%
Residencial	0,9%	2,5%	3,4%

Fonte: EPE.

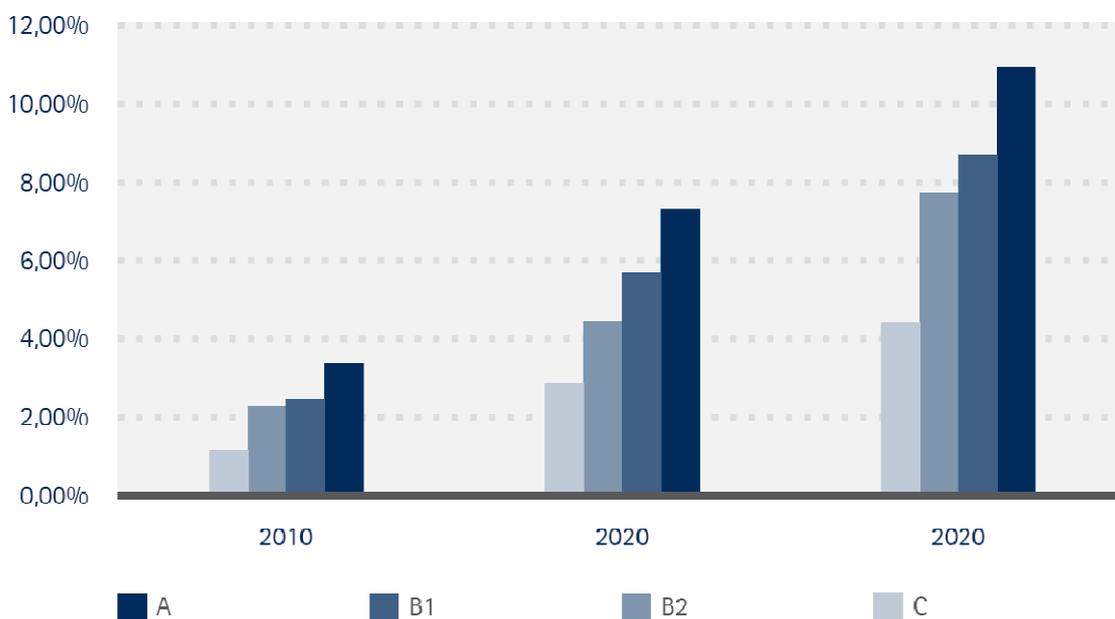


Figura 10: Energia final conservada por cenário (% do consumo final).

Fonte: EPE.

5.2.2 Eletricidade

5.2.2.1 Consumo Total

Na Figura 11 encontra-se a evolução do consumo de energia elétrica no Brasil, que vai de aproximadamente 375 TWh, em 2005, para valores entre 850 e 1.250 TWh, em 2030, dependendo do cenário. No Cenário B1, o consumo, com crescimento médio anual de 4,3%, quase triplicaria no período. Cabe observar que o consumo de energia elétrica tem crescido persistentemente (exceção foi o ano do último racionamento: 2001) em ritmo superior ao da economia, o que se associa ao baixo estágio de desenvolvimento e respectivo baixo nível de consumo *per capita* de eletricidade (EPE, PNE, 2007).

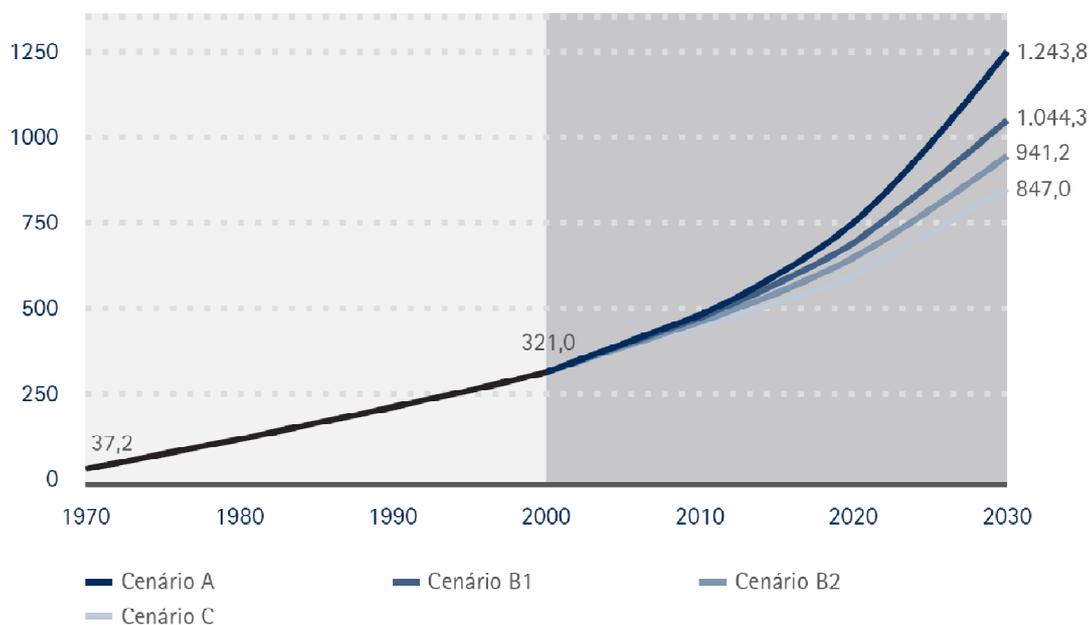


Figura 11: Projeção do consumo final de eletricidade no Brasil (TWh).

Obs.: Inclui auto-produção e conservação (progresso autônomo) e exclui consumo do setor energético.

Fonte: EPE.

5.2.2.2 Conservação: Progresso Autônomo

Na Figura 12 encontra-se o progresso autônomo da eficiência energética em cada cenário. Estão aí implícitos volumes de energia conservada, associados à melhoria da eficiência decorrente de melhores práticas no uso e progressiva substituição do estoque de equipamentos elétricos por outros mais eficientes, que incorporam avanços tecnológicos disponíveis no mercado. Movimento que reflete a tendência histórica.

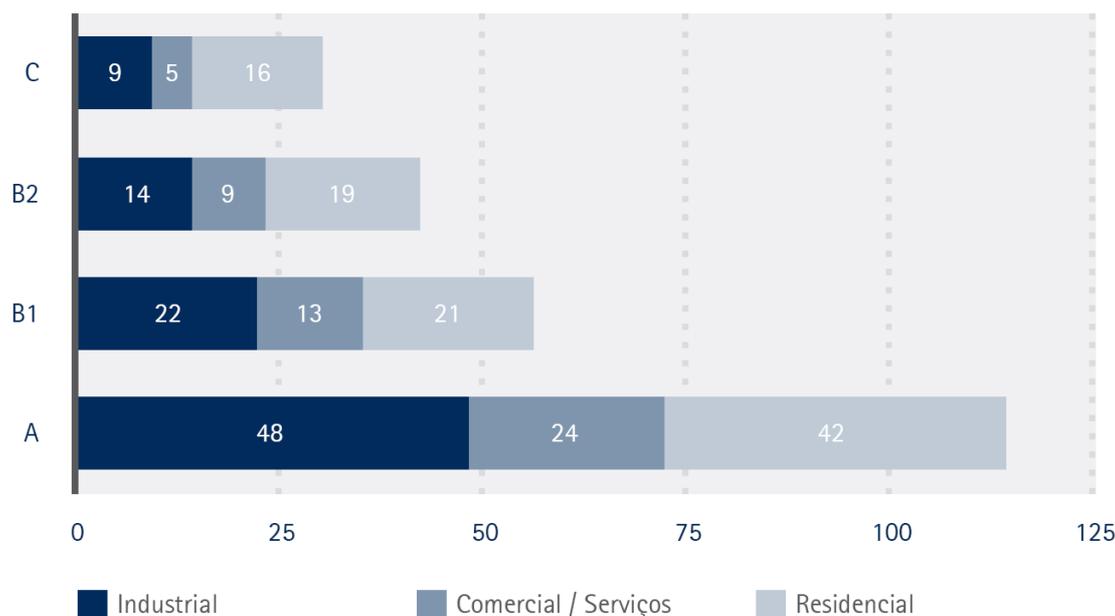


Figura 12: Eficiência energética em 2030 – Progresso autônomo (TWh).

Obs.: Os valores da eficiência energética no setor agropecuário são muito pequenos.

Fonte: EPE.

O ritmo de penetração da eficiência nos cenários está associado às suas linhas gerais. Nos Cenários A e B1 (gestão interna eficaz no país), são menores as restrições de infra-estrutura e de oferta de financiamento e as alternativas eficientes no uso da eletricidade apresentam uma dinâmica mais acelerada que nos demais (B2 e C). No Cenário B1, estima-se que a conservação possa atingir, em 2030, cerca de 53 TWh, o que equivale a mais de 5% do consumo nacional projetado para esse ano, ou ao consumo atual das regiões Sul ou Nordeste do país, ou, ainda, de um país como a Grécia. É também ilustrativo que esse volume de energia conservada entre 2010 e 2030 lograria evitar investimentos no setor elétrico, apenas no segmento de geração, correspondentes a cerca de US\$ 15 e US\$ 18 bilhões, se tomados como base de cálculo a potência hidrelétrica equivalente de 11.600 MW ou a nuclear de 8.000 MW.

Não obstante, o progresso autônomo não esgota o potencial de conservação, tendo em conta as limitações das estimativas, bem como a ausência de políticas públicas voltadas à promoção de práticas eficientes de uso da energia. Do lado da metodologia, uma das limitações mais evidentes está no grau de desagregação do Balanço de Energia Útil (BEU), pois considerações do uso da energia por tipo de equipamento, permitindo estimativas mais precisas dos potenciais de conservação, não são apreendidas.

Na verdade, faz falta no país toda uma cultura técnica de gerenciamento da demanda energética, mais além das limitações das bases de informações na determinação dos potenciais de conservação de energia no país (técnico, econômico e de mercado). Contudo, é relevante destacar iniciativas em curso na direção da melhoria da qualidade dos dados, tais como o projeto de avaliação do mercado de eficiência energética, liderado pelo PROCEL com recursos do GEF – *Global Environment Facility* e envolvendo o consórcio PUC-RJ, Ecoluz e COPPE/UFRJ, que conta com pesquisas de campo nos setores residencial, comercial e industrial (EPE, PNE, 2007).

5.2.2.3 Elasticidade e Intensidade Elétrica

Na Figura 13, é apresentada a comparação entre a posição relativa atual (2004) de diversos países e a situação do Brasil em 2030, em relação à renda per capita e ao consumo de energia elétrica per capita, enquanto na Figura 14 vê-se a comparação desse indicador de diversos países, apresentando uma trajetória possível para o Brasil.

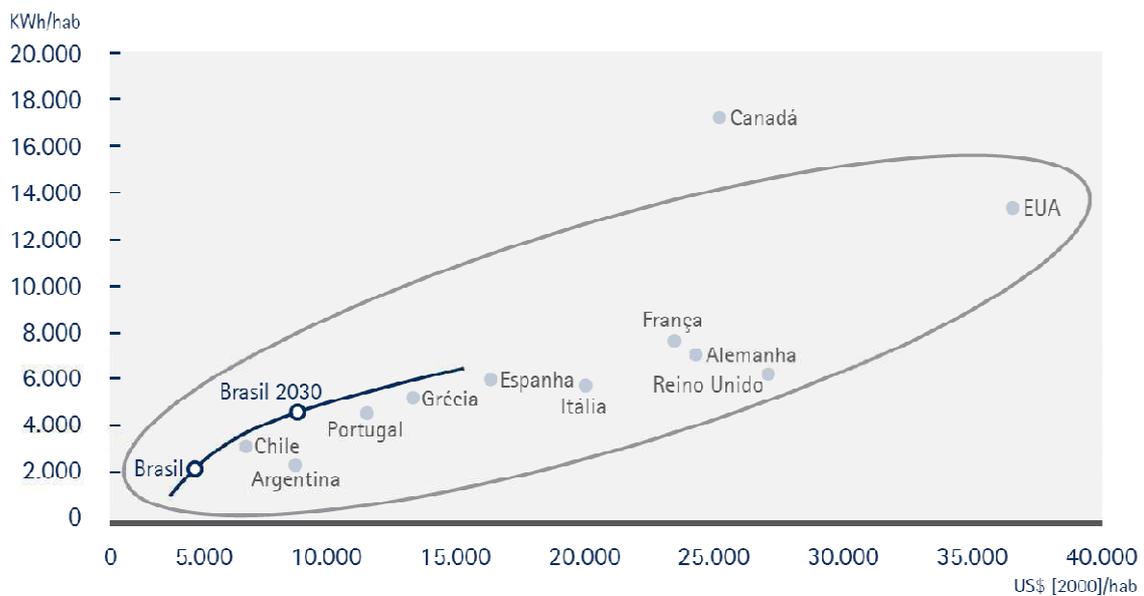


Figura 13: Consumo de Eletricidade e PIB.
Fonte: EPE, com base em dados do FMI e da IEA.

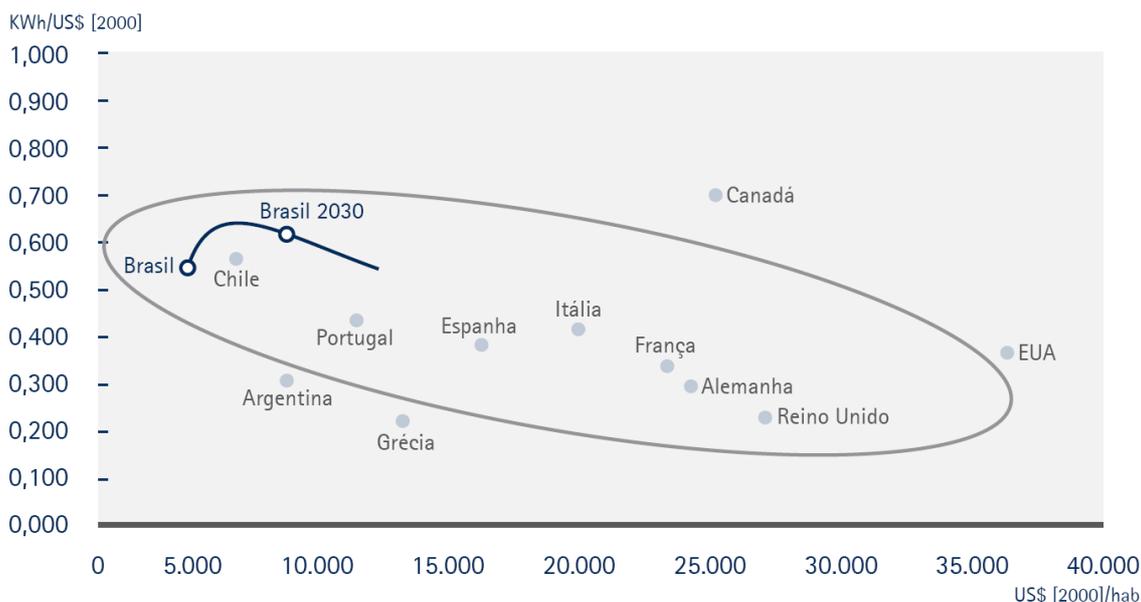


Figura 14: Intensidade elétrica do PIB.

Fonte: EPE, com base em dados do FMI e da IEA.

Percebe-se que o consumo de energia elétrica no Brasil ainda é muito baixo. Com uma população quase chegando a 200 milhões de pessoas e, em 2020, ultrapassando 210 milhões, em 2004, o consumo de eletricidade per capita não ultrapassou 1.820 kWh. No entanto, França, Alemanha e Reino Unido têm hoje em conjunto um contingente semelhante (cerca de 200 milhões de habitantes) e consomem (2003): 6.940 kWh/hab. No Cenário B1, em 2020, percebe-se que o consumo per capita no Brasil será de 3.270 kWh. Ao final de 15 anos, tal consumo ainda será inferior à metade do consumo atual desses países. E em 2030, o consumo médio do brasileiro estará ainda inferior ao consumo médio atual dos gregos ou espanhóis.

Já a elasticidade-renda do consumo de eletricidade ao longo do horizonte é inferior aos valores médios históricos, o que se deve a avanços tecnológicos, ao amadurecimento do mercado (uso mais eficiente da energia) e à sustentabilidade do crescimento econômico intrínseca no cenário, que tende a reduzir a expansão do consumo de energia. Este indicador apresenta uma tendência declinante, situando-se abaixo da unidade no final do horizonte. No gráfico, essa tendência é sugerida pela linha de evolução representando uma trajetória possível do consumo de energia no país (EPE, PNE, 2007).

5.2.2.4 Consumo por Setor

Na Tabela 24 encontram-se as projeções de consumo setorial no Cenário B1. Percebe-se que o setor residencial é o que apresenta maior crescimento no período. Justifica-se pelas hipóteses do cenário macroeconômico, as quais consideram aumento real e maior distribuição de renda, impactando a renda das famílias sobretudo de baixa renda; expansão do crédito ao consumidor; crescimento da posse de eletrodomésticos; crescimento do número de domicílios em ritmo maior que o da população.

Tabela 24: Projeção do Consumo de Eletricidade por Setor (TWh).

	2005	2010	2020	2030	$\Delta\%$ AO ANO 2005 - 2030
Residencial	83,2	105,2	169,1	283,3	5,0
Industrial	145,1	197,1	272,6	357,7	3,7
comercial e público	86,2	107,3	159,6	367,3	4,6
Outros ¹	16,9	19,0	26,1	38,3	3,3
Subtotal	331,4	428,6	627,4	946,6	4,3
Setor energético	13,5	20,2	28,3	41,6	4,6
TOTAL	344,9	448,8	655,7	988,2	4,3

(¹)Outros inclui: rural (agropecuária) e iluminação pública.Obs.:exclusive autoprodução
Fonte: EPE.

Na Figura 15 encontra-se a evolução do consumo médio residencial, consumo médio de eletricidade por domicílio, em cada cenário. Nota-se que os valores projetados do consumo médio residencial ainda são muito baixos, se comparados aos padrões internacionais. Ademais, o consumo médio residencial, após atingir um máximo histórico em torno de 179 kWh/ domicílio/ mês em 1998, sofreu forte retração por conta do racionamento, situando-se ainda hoje em patamar muito baixo. O valor deste indicador, partindo de 138 kWh/ domicílio/ mês, em 2005, atinge valores que oscilam entre 245 e 308 kWh/ domicílio/ mês, no final do horizonte (EPE, PNE, 2007).

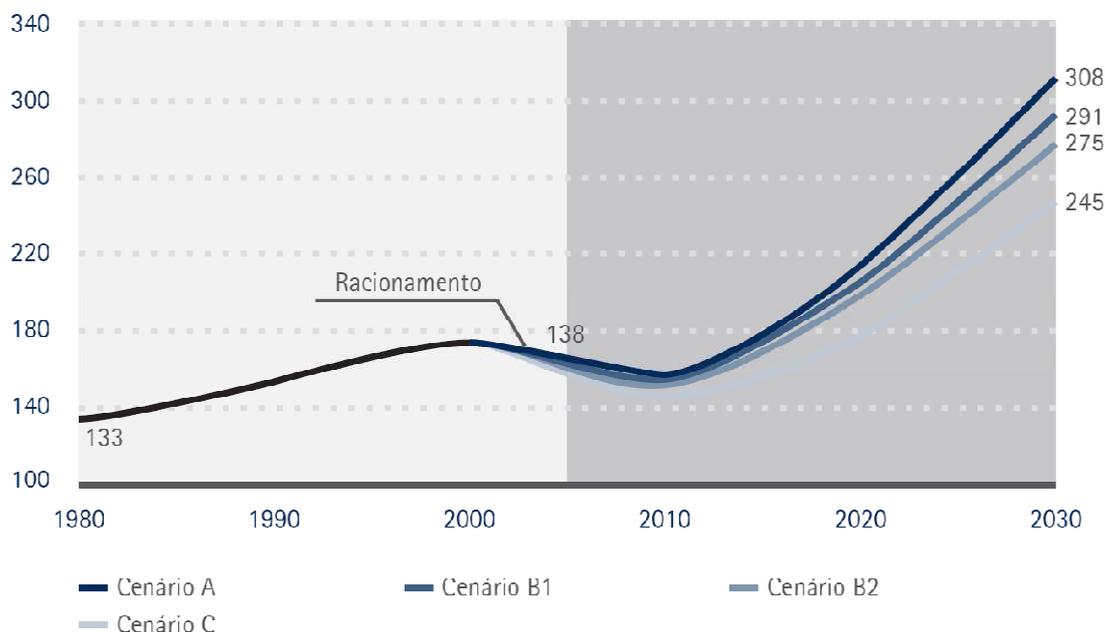


Figura 15: Consumo médio residencial (kWh/domicílio/mês).

Fonte: EPE.

5.2.2.5 Gerenciamento da Demanda

5.2.2.5.1 Alternativas para Atendimento da Demanda

Duas são as vias básicas no atendimento ao consumo total de eletricidade. A primeira trata do gerenciamento da demanda e, numa perspectiva de longo prazo, compreende ações na direção do uso mais eficiente da energia. A segunda trata do aumento da oferta. Estas alternativas de atendimento da demanda são apresentadas na Figura 16.

No gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), parcela da eficiência energética está intrinsecamente considerada nas projeções do consumo: trata-se do progresso autônomo. Um esforço adicional na direção do uso mais eficiente da energia será necessário e demandará ações de política pública, por meio da institucionalização de programas e medidas específicos. Trata-se, então, da promoção da eficiência via progresso induzido (EPE, PNE, 2007).

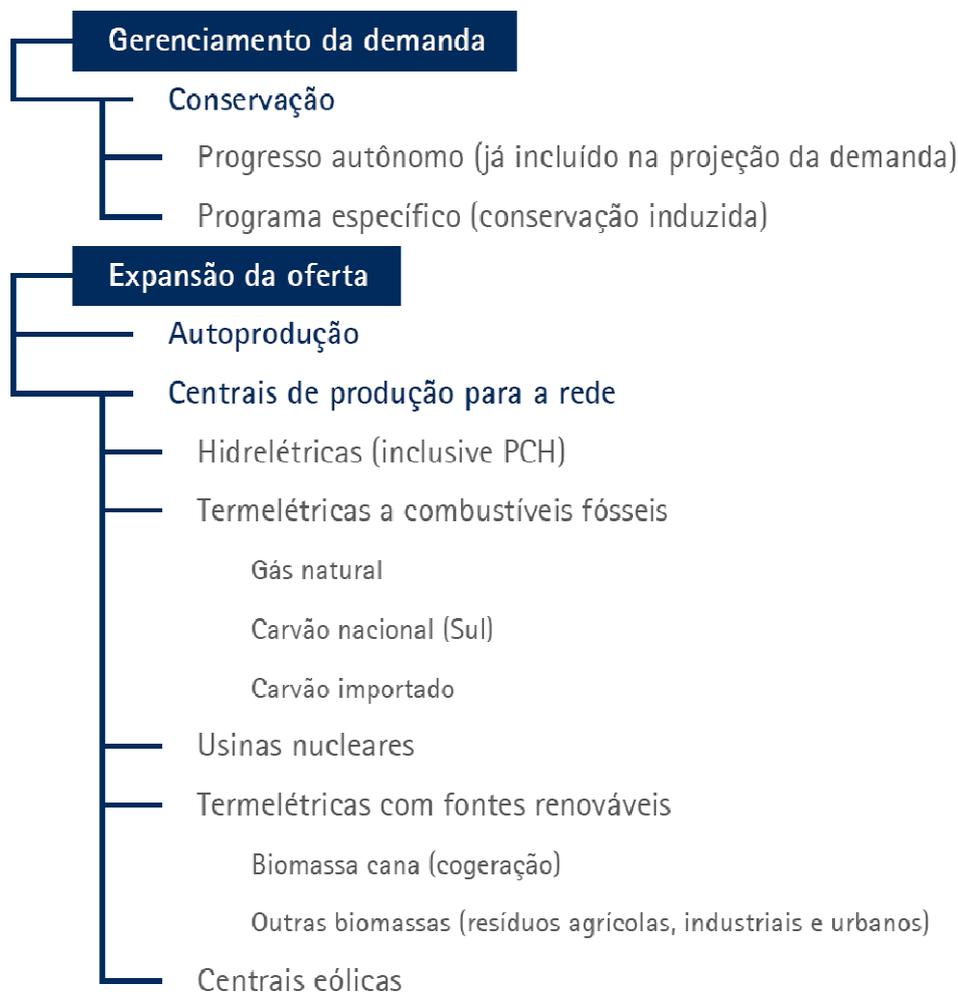


Figura 16: Alternativas para atendimento à demanda de eletricidade.
Fonte: EPE.

5.2.2.5.2 Programas de Eficiência Energética: Progresso Induzido

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) avalia em 14.859 GWh o montante de energia elétrica conservada no período 1996-2003, estimativa comparável com as feitas pela EPE nos estudos do PNE 2030. Convém ter em conta que somente a partir de 1998 o PROCEL dispõe de uma metodologia para avaliação de seus resultados, a qual é baseada nos trabalhos de GELLER *et al* (1998). Considerado apenas o período 1996-2003, as avaliações da EPE indicam, para a energia elétrica conservada, um montante de 16.100 GWh.

Partindo destas avaliações, pode-se afirmar que houve um aumento de eficiência no uso da energia elétrica equivalente a 4.600 MW médios nos últimos 20 anos. Note-se que esse “ganho” está calculado tomando por base o consumo final. Para avaliar seu efeito na geração, devem-se ainda considerar as perdas globais no sistema elétrico. De acordo com os estudos da EPE para o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica, essas perdas são estimadas, em média, em cerca de 16% dos requisitos. Assim, os ganhos com eficiência energética são equivalentes a uma usina hidrelétrica de cerca de 10 mil MW (cerca de 80% da potência instalada de Itaipu).

Esses resultados evidenciam que é possível “retirar” parcela considerável do consumo por meio de iniciativas na área de eficiência energética. Por se tratar de continuidade de ações que já vêm sendo tomadas há muitos anos, essa possibilidade já está considerada nas projeções, como progresso autônomo. Ocorre que o potencial de eficiência energética é bem maior e que a expansão do consumo, refletindo o estágio de desenvolvimento do país, é muito grande. Ações complementares, no sentido de ampliar esse esforço de eficiência energética são, portanto, desejáveis e necessárias.

Na Tabela 25 encontram-se as avaliações da EPE para o PNE 2030, considerando o estágio tecnológico atual, indicando os valores de potencial de conservação de energia elétrica apresentados, como percentual do consumo. Via progresso induzido, supõe-se atingir em 2030 um montante de energia conservada aproximadamente equivalente ao potencial de mercado, desenvolvendo mecanismos que possam induzir o aumento da eficiência no uso da energia, a exemplo de leilões de eficiência energética, experiência já realizada com sucesso em alguns estados norte-americanos. Estima-se que cerca de 5% da projeção total do consumo (cerca de 53 TWh, em 2030) poderia ser “retirada” do mercado como resultado de medidas indutoras de eficiência energética (EPE, PNE, 2007).

Tabela 25: Potenciais de Eficiência Energética até 2030.

SETOR	TÉCNICO	ECONÔMICO	MERCADO
Industrial	20%	10%	6%
Comercial e Público	13%	6%	4%
Residencial	7%	3%	1%
TOTAL	40%	20%	10%

Fonte: EPE.

Na Figura 17 encontra-se o efeito da inclusão da eficiência energética nas projeções do consumo final de eletricidade.

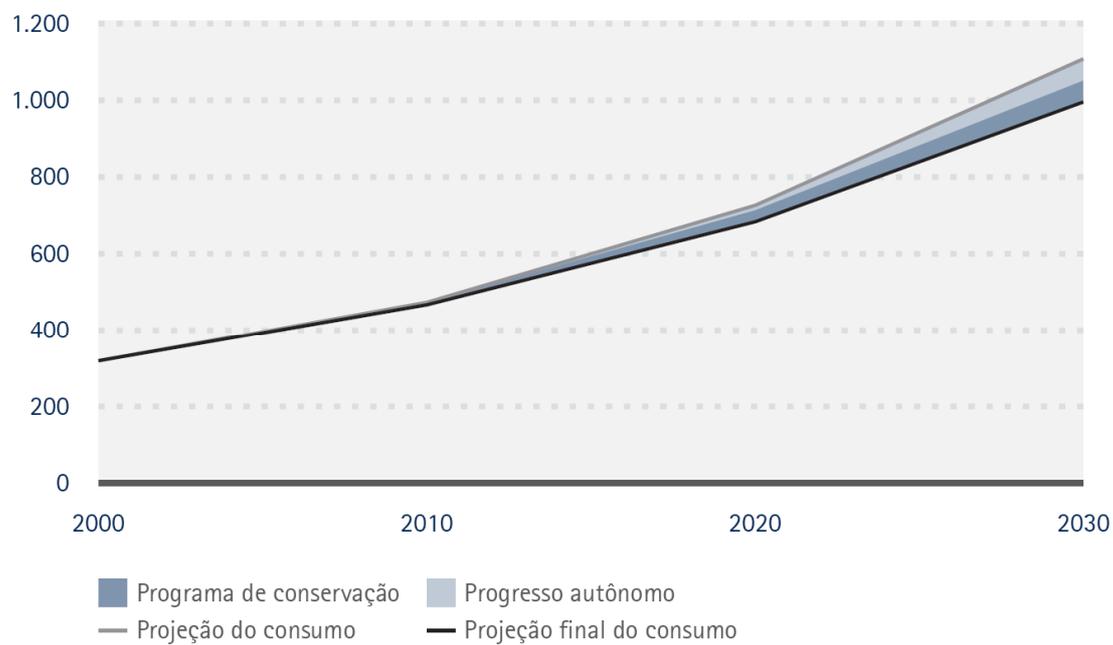


Figura 17: Projeção do Consumo Final de Eletricidade (TWh).
Fonte: EPE.

6 Considerações finais

Múltiplas foram as motivações que levaram à execução deste trabalho. Delas a mais importante foi estudar o papel que a eficiência energética ocupa no planejamento energético do país. Mais especificamente, no planejamento, planos e programas, bem como gerenciamento da demanda energética no setor residencial. Após uma experiência como estagiário em uma ESCO na França, em um projeto integrando a parceria “*GDF Suez/Escola de Minas de Paris/Empresa Energie Demain*” (XAVIER, 2010), nesta mesma área, gerenciamento da demanda energética do setor residencial, a consequência natural foi tomar o momento do trabalho de conclusão do curso (TCC) para estudar tal tema no Brasil.

Nesta perspectiva, foram analisadas as principais peças do planejamento energético brasileiro, bem como o volumoso estoque de estudos, notas técnicas e relatórios que subsidiaram a elaboração dos planos sob a condução e responsabilidade da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE/ MME). Adicionalmente, embora de forma resumida, a eficiência energética do setor residencial no âmbito do Balanço Energético Nacional (BEN) / Balanço de Energia Útil (BEU); no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e no Plano Nacional de Energia (PNE), em suas últimas versões.

Verificou-se que no BEN/BEU a eficiência energética se apresenta numa forma muito agregada, por meio do conceito de rendimento energético, relação entre a Energia Útil e a Energia Final, enquanto nos planos PDE e PNE ela se apresenta preponderantemente como energia conservada (aquela que é não-usada, evitada ou economizada), portanto, poupando, evitando ou economizando geração adicional no atendimento da demanda.

Observou-se, também, que dois movimentos levam à conservação da energia. O movimento Autônomo ou Tendencial e o movimento Induzido. Os ganhos de eficiência do movimento Autônomo encontram expressão nas projeções da demanda, decorrem basicamente do progresso técnico incorporado nos novos equipamentos e obedecem no fundamental à lei natural dos mercados. Já os ganhos de eficiência energética do movimento induzido não teriam origens autônomas, senão induzidas, isto é, promovidas por planos ou programas originados de políticas públicas voltadas conscientemente para promover a eficiência.

A constatação principal que se fez foi do enorme potencial de promoção da eficiência energética por sua vertente induzida. O Brasil teve apenas uma geração de programas promotores da eficiência. Fazem parte desta geração o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), e o Apoio a projetos de eficiência energética (PROESCO). No

entanto, os êxitos obtidos nos primeiros tempos por estes programas precisam ser reeditados com a constituição de uma segunda geração de programas.

Esta nova geração de programas de promoção da eficiência energética deve ter uma marca: mais além de pressuposta, tornar a eficiência energética proposta. Isto significa que, mais além de estar apenas implícita nas projeções de demanda e de ser mero apêndice no gerenciamento da oferta energética, a eficiência deve vir a ser ferramenta privilegiada de gerenciamento da própria demanda, ganhando campos, direções e metas próprias no planejamento, planos e programas energéticos do Brasil.

7 Bibliografia

ACHÃO, C. C. L. *Análise da Estrutura de Consumo de Energia pelo Setor Residencial Brasileiro*. Rio de Janeiro, 2003. Dissertação de Mestrado apresentada no PPE/COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Balanco Energético Nacional 2008 – Ano base 2007. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2008: EPE, 2008b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/default.aspx>.

Balanco Energético Nacional 2009, ano base 2008. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2009. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/default.aspx>.

Balanco Energético Nacional 2010, ano base 2009 (resultados preliminares). Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2010. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/default.aspx>.

Balanco de Energia Útil 2005. Brasília: MME, 2005. MME/FDTE.

BRASIL. Lei 10.295, de 17.out.2001 – “*Lei de Eficiência Energética*”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. D.O.U. Brasília, DF, 18.out.2001. Disponível em <http://www.mme.gov.br>.

DUARTE, C. H., GOES, R. R. A., e AGUIAR, J. C. *Eficiência Energética e Consumo de Energia: Posse e Uso da Televisão no Brasil*. In: II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética – IICBEE. Vitória/ES, Brasil.2007.

Eletrobrás – Centrais Elétricas S.A/PROCEL. *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.

Estudos associados ao Plano Decenal de Energia PDE 2008/2017. Demanda. Rio de Janeiro: EPE, 2008d.

Eletrobrás, Avaliação dos Resultados do PROCEL 2005, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, Eletrobrás, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

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

EPE, 2005. Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2006-2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/default.aspx>

EPE, 2006. Plano Decenal de Expansão de Energia 2007-2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/default.aspx>

EPE, 2007. Plano Nacional de Energia – PNE 2030. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/default.aspx>

EPE, Plano Nacional de Energia 2030. Cadernos Temáticos. (Projeções, Eficiência, Retrospectiva histórica). Rio de Janeiro: EPE, 2007. Disponível em <http://www.epe.gov.br/>

EPE, 2008. Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/default.aspx>

EPE, Plano Decenal de Expansão de Energia 2009/2019 e versões anteriores. Rio de Janeiro: EPE, 2009 (editado em 2010). Disponível em <http://www.epe.gov.br/>

EPE, 2010. Série Estudos da demanda. Nota Técnica DEA 15/09. Projeção da Demanda de Energia Elétrica para os próximos 10 anos 88 Ministério de Minas e Energia EPE, 2008b.

EPE, 2010. Série Estudos da demanda. Nota técnica DEN 02/08 (maio/2008). Projeções da demanda de energia elétrica para o plano decenal de expansão de energia 2008-2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/default.aspx>

EPE, 2010. Série Estudos da demanda. Nota técnica DEA 14/10 Avaliação da Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019). Rio de Janeiro: EPE, Julho de 2010. (Versão Preliminar).

EPE. Eficiência Energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2009-2018). Rio de Janeiro, EPE, 2009.

EPE, 2009. Análise Econômica: Cenários. Plano Decenal de Expansão de Energia 2009/2018. Rio de Janeiro: EPE, Junho de 2009. (Versão Preliminar).

EPE - Nota Técnica 1.04.27.08A – Caracterização Técnico-Econômica de Medidas de Uso Eficiente no Uso da Energia Elétrica. Rio de Janeiro: EPE, 2006b.

EPE – Projeção do Consumo Residencial de Energia Elétrica (2005-2016), Rio de Janeiro, junho de 2005.

EPE - Projeção da População e Domicílios (2005-2016), Rio de Janeiro, março de 2005.

GELLER, H. S. *O Uso Eficiente da Eletricidade: Uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil*. Rio de Janeiro:INEE, 1994.

JANNUZZI, G. de M. e SWISHER, J. N. P. *Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: Meio Ambiente, Conservação de Energia e Fontes Renováveis*. Campinas – SP: Autores Associados, 1997.

LOVELOCK, J. *A Vingança de Gaia*. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006.

MARQUES, M. C. S., HADDAD, J. e GUARDIA, E. C. (coordenadores). *Eficiência Energética: Teoria e Prática* – 1. Ed. – Itajubá, MG: FUPAI, 2007

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 5 de agosto 2010.

PROCEL/GEF – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica / Global Environmental Facility. Mercado de Eficiência Energética no Brasil – em execução. Consórcio PUC-RJ/ECOLUZ/COPPE. Rio de Janeiro: Procel, 2005.

PROCEL INFO – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. SINPHA – Sistema de Informações de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br>.

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.

SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S.; MACHADO, G. V. (coords.). *A Matriz Energética Brasileira 2003-2023*. Relatório final. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro: 2004.

TOLMASQUIM, M. T. e SZKLO, A. S. Coordenadores. *A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; ENERGE, 2000.

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.

XAVIER, F. A. G. *Gerenciamento da Demanda de Eletricidade e Controle das Curvas de Carga*. Relatório de Estágio Integrado, Campina Grande, PB – UFCG 2010.