

Série
**ESTUDOS DA DEMANDA
DE ENERGIA**

NOTA TÉCNICA DEA 13/15

Demanda de Energia

2050

Esta versão substitui a
divulgada em Agosto de 2014 e
incorpora revisões no cenário
econômico e setorial

Janeiro de 2016

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

Série
**ESTUDOS DA DEMANDA
DE ENERGIA**

NOTA TÉCNICA DEA 13/15
**Demanda de
Energia
2050**



GOVERNO FEDERAL

Ministério de Minas e Energia

Ministro

Eduardo Braga

Secretário Executivo

Luiz Eduardo Barata

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético

Altino Ventura Filho

**Diretor de Programa da Secretaria de Planejamento e
Desenvolvimento Energético**

Gilberto Hollauer

Ministério de Minas e Energia – MME

Esplanada dos Ministérios
Bloco U – 5º andar
70065-900 – Brasília – DF
Tel.: (55 61) 3319 5299
Fax : (55 61) 3319 5067
www.mme.gov.br



Empresa de Pesquisa Energética

Presidente

Maurício Tiomno Tolmasquim

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e
Ambientais**

Ricardo Gorini

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Amilcar Guerreiro

**Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e
Biocombustível**

Gelson Serva

Diretor de Gestão Corporativa

Álvaro Henrique Matias Pereira

Empresa de Pesquisa Energética – EPE

Sede
SCN – Quadra 1 – Bloco C Nº 85 – Salas 1712/1714
Edifício Brasília Trade Center
70711-902 - Brasília – DF
Escritório Central
Av. Rio Branco, n.º 01 – 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro – RJ
www.epe.gov.br

Rio de Janeiro,
Janeiro de 2016



Participantes

Coordenação Geral

Mauricio Tiomno Tolmasquim

Coordenação Executiva

Ricardo Gorini (Demanda e Eficiência Energética)

Ricardo Nascimento e Silva do Valle (Transportes)

Coordenação Técnica

Jeferson Borghetti Soares (Demanda de Energia e Eficiência Energética)

Luciano Basto Oliveira (Geração Distribuída)

Angela Oliveira da Costa (Demanda de Transportes: Veículos Leves)

Marcelo Castelo Branco Cavalcanti (Demanda de Transportes: Veículos Pesados)

Equipe Técnica

Allex Yujhi Gomes Yukizaki

Ana Cristina Braga Maia

Arnaldo dos Santos Junior

Bernardo Vianna Zurli Machado (parcial)

Bruno Rodamilans Lowe Stukart (transportes)

Clara Santos Martins Saide (transportes)

Daniel Kuhner Coelho

Daniel Stilpen (parcial)

Euler João Geraldo da Silva (transportes)

Fernanda Marques Pereira Andreza

Gabriel Konzen

Gláucio Ramalho Faria

José Manuel David (parcial)

Luiz Gustavo Silva de Oliveira (parcial)

Marcelo Henrique Cayres Loureiro

Marcelo Costa Almeida

Maria Cecília Pereira de Araújo (transportes)

Monique Riscado Stilpen (parcial)

Natália Gonçalves Moraes

Patrícia Feitosa Bonfim Stelling (transportes)

Patrícia Messer

Paula Isabel da Costa Barbosa (transportes)

Pedro Ninô de Carvalho (transportes)

Rafael Barros Araujo (transportes)

Thiago Toneli Chagas

SUMÁRIO

Sumário

ÍNDICE DE TABELAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
SIGLAS E ABREVIACÕES	1
APRESENTAÇÃO	4
1 INTRODUÇÃO	8
2 INCERTEZAS E DESAFIOS PARA A EVOLUÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA	10
2.1 O papel mais ativo do consumidor no mercado de energia	11
2.2 Padrão de mobilidade urbana atual e futuro	18
2.3 A Intermodalidade do transporte de cargas: elemento fundamental de competitividade	25
2.4 Inclusão de novos consumidores vs padrão de consumo	28
2.5 Novas tecnologias na indústria e no setor de transportes	31
2.6 Futuro das edificações brasileiras e impacto no consumo de energia	34
2.7 Competitividade relativa dos energéticos	36

3	CENÁRIO DE DEMANDA DE ENERGIA POR SETOR	39
3.1	Considerações iniciais	39
3.2	Resultados consolidados: demanda total de energia	40
3.3	Demanda de energia por setor	44
3.3.1	Setor industrial	44
3.3.2	Setor energético	88
3.3.3	Setor de Transportes	96
3.3.4	Edificações	122
3.3.5	Setor Agropecuário	138
3.4	Cenário de evolução da demanda de energia por fonte	144
3.4.1	Eletricidade	145
3.4.2	Gás Natural	161
3.4.3	Uso não energético	166
4	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	171
4.1	Considerações iniciais	171
4.2	Estimativa total de eficiência energética no longo prazo	179
4.2.1	Resultados consolidados	179
4.2.2	Setor residencial: eficiência energética	186
4.2.3	Setor industrial: eficiência energética	198
4.2.4	Setor de transportes: eficiência energética	205
4.2.5	Outros setores: eficiência energética	211
5	OFERTA DESCENTRALIZADA DE ENERGIA	214
5.1	Considerações iniciais	214
5.2	Conceito da Oferta Descentralizada de Energia	215
5.2.1	Geração Distribuída de Eletricidade	215
5.2.2	Produção Descentralizada de Combustíveis	217
5.3	Geração Distribuída de Eletricidade	217
5.3.1	Pequena e Média Escala	218
5.3.2	Geração distribuída de grande porte	228
5.4	Produção Descentralizada de Combustíveis	234
5.4.1	Produção de Biometano	234
5.4.2	Biocombustíveis Sólidos (<i>Pellets</i> /Briquetes)	237
6	BIBLIOGRAFIA	240

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Relação das Principais Iniciativas em Eficiência Energética e os Mecanismos Utilizados no Brasil	14
Tabela 2- Relação das Principais Políticas e Medidas de Eficiência Energética	15
Tabela 3- Consumo específico de eletricidade por tipologia de planta siderúrgica no ano base.	62
Tabela 4- Consumo específico de eletricidade por tipo de ferro-liga.	63
Tabela 5- Comparação da produtividade florestal de folhosas no Brasil com países selecionados	82
Tabela 6- Comparação da produtividade florestal de coníferas no Brasil com países selecionados	82
Tabela 7- Demanda de energia no setor de transportes por modal (mil tep).	118
Tabela 8- Consumo final energético no setor residencial brasileiro em 2012	122
Tabela 9- Despesas familiares totais anuais médias por classe de renda, por categoria de consumo (US\$ 1996 PPP)	125
Tabela 10- Posse média de equipamentos selecionados (2013-2050)	125
Tabela 11- Domicílios consumidores por faixa de consumo (2013-2050)	127
Tabela 12- Aquecimento de água no setor residencial	131
Tabela 13- Distribuição da cocção no setor residencial	133
Tabela 14- Consumo total energético do setor residencial por fonte	135
Tabela 15- Grandes consumidores industriais: consumo específico de eletricidade (kWh por tonelada produzida)	147
Tabela 16- Grandes consumidores industriais: autoprodução por segmento (GWh)	149
Tabela 17- Ganhos de eficiência elétrica. Percentual de redução do consumo por classe (%)	153
Tabela 18- Elasticidade-renda e intensidade do consumo de energia elétrica	159
Tabela 19- Evolução do consumo final de gás natural (milhões de m ³ /dia)	163
Tabela 20- Evolução da demanda de produtos não-energéticos de petróleo por derivado (mil tep)	167
Tabela 21- Relação das Principais Políticas e Medidas de Eficiência Energética	175
Tabela 22- Brasil: Consumo de energia e eficiência energética	180
Tabela 23- Brasil: Consumo de energia elétrica e eficiência elétrica	182
Tabela 24- Brasil: Consumo de combustíveis e eficiência energética	182
Tabela 25- Setor residencial: descrição sucinta da metodologia adotada para decomposição de efeitos na demanda elétrica do setor residencial brasileiro.	187
Tabela 26- Aumento anual estimado de eficiência da tipologia de serviços energéticos aos consumidores residenciais.	191
Tabela 27- Ganho de eficiência estimado no setor residencial brasileiro (ano base 2013)	192
Tabela 28- Cronograma de níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes - 127 V, para fabricação e importação no Brasil.	195

Tabela 29- Cronograma de níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas fluorescentes compactas - 220 V, para fabricação e importação no Brasil	195
Tabela 30- Consumo de energia elétrica por serviço energético no setor residencial	197
Tabela 31- Setor residencial: consumo de eletricidade e eficiência energética	198
Tabela 32- Consumo final energético no setor industrial brasileiro em 2012	199
Tabela 33- Grandes consumidores industriais: consumo específico de eletricidade ¹ (kWh por tonelada produzida)	203
Tabela 34- Setor industrial: consumo de eletricidade e eficiência energética	205
Tabela 35- Setor industrial: consumo de energia e eficiência energética	205
Tabela 36- Setor de transportes: consumo de energia e eficiência energética	210
Tabela 37- Setor de transportes: consumo de energia e eficiência energética sistêmica	211
Tabela 38- Setor serviços (comercial e público): consumo de energia e eficiência energética	212
Tabela 39- Perspectiva de redução de custos dos sistemas fotovoltaicos (R\$/Wp)	220
Tabela 40- Potência típica por faixa de consumo	221
Tabela 41- Projeções da geração distribuída fotovoltaica	224
Tabela 42- Indicadores/Premissas para segmentos industriais selecionados	230
Tabela 43- Grandes consumidores industriais: autoprodução por segmento (GWh)	231

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Alternativas de atendimento à demanda de energia elétrica.	12
Figura 2- Demanda de eletricidade e fontes de atendimento à demanda de energia.	12
Figura 3- Estimativa da viabilidade econômica da fonte fotovoltaica.	16
Figura 4- Demanda de eletricidade e fontes de atendimento à demanda de energia.	17
Figura 5- Cenário de evolução do Índice de Atividade Global de Transporte de Passageiros: 2000 - 2050	19
Figura 6- Cenários de evolução de vendas mundiais de veículos leves até 2050.	20
Figura 7- Cenários de evolução de mobilidade por tipo até 2050.	20
Figura 8- Participação de veículos leves na distribuição modal do transporte de passageiros (2005 e 2050).	21
Figura 9- Participação, por tipo de transporte, na demanda energética do setor brasileiro de transportes.	22
Figura 10- Demanda de energia, por fonte, no modal rodoviário e participação do transporte de passageiros na demanda energética do modal.	23
Figura 11- Evolução do nível de atividade (passageiro-km) no transporte de passageiros.	23
Figura 12- Divisão modal por porte de município - 2011.	24
Figura 13- Comparação mundial da matriz de transportes para países selecionados.	26
Figura 14- Comparação de Tarifas de Transporte de Carga por Tipo de Modal x Distância	26
Figura 15- Evolução projetada do PNLT da matriz brasileira de transporte de cargas até 2031	27
Figura 16- Evolução projetada da renda per capita brasileira e comparação internacional.	28

Figura 17- Evolução projetada do consumo per capita de cimento e comparação internacional.	29
Figura 18- Panorama atual do consumo per capita de eletricidade e comparação internacional.	30
Figura 19- Evolução recente da taxa de motorização brasileira e mundial.	31
Figura 20- Condicionantes para evolução do padrão construtivo de edificações.	35
Figura 21- Competitividade de segmentos industriais <i>vis-à-vis</i> nível de preços do gás natural.	37
Figura 22- Visão geral da metodologia de projeção da demanda de energia.	39
Figura 23- Evolução da demanda total de energia por fonte até 2050.	40
Figura 24- Evolução da participação das fontes na demanda total de energia até 2050.	41
Figura 25- Evolução da demanda total de energia por setor até 2050.	42
Figura 26- Evolução da participação setorial no consumo total de energia até 2050.	43
Figura 27- Evolução da elasticidade-renda da demanda de energia total até 2050.	44
Figura 28- Indústria: consumo final energético, por segmento (milhões de tep)	46
Figura 29- Indústria: consumo final energético, por segmento (%)	47
Figura 30- Indústria: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	48
Figura 31- Indústria: consumo final energético, por fonte (%)	49
Figura 32- Intensidade energética industrial (tep/10 ³ R\$ [2010])	51
Figura 33- Elasticidade-renda da demanda de energia da indústria por período	51
Figura 34- Intensidade energética industrial: DIVISIA (*) (tep/10 ³ R\$ [2010])	52
Figura 35- Eletricidade na indústria: participação e intensidade elétrica	53
Figura 36- Evolução da participação da indústria no consumo total de energia no longo prazo.	54
Figura 37- Comparação internacional: Consumo per capita de cimento x renda per capita	55
Figura 38- Cimento: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	56
Figura 39- Cimento: consumo final energético, por fonte (%)	57
Figura 40- Ferro-gusa e aço: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	58
Figura 41- Ferro-gusa e aço: perfil de expansão de capacidade por rota.	59
Figura 42- Ferro-gusa e aço: consumo final energético, por fonte (%)	60
Figura 43- Ferro-gusa e aço: indicadores de consumo específico de energia (tep/t de aço e kWh/t de aço)	61
Figura 44- Ferro-gusa e aço: curva de oferta potencial de eficiência energética por medida	62
Figura 45- Ferro-ligas: Evolução de consumos específicos de energia e eletricidade.	64
Figura 46- Ferro-ligas: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	64
Figura 47- Ferro-ligas: consumo final energético, por fonte (%)	65
Figura 48- Mineração e pelotização: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	66
Figura 49- Mineração e pelotização: consumo final energético, por fonte (%)	66
Figura 50- Não-ferrosos e outros da metalurgia: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	68
Figura 51- Não-ferrosos e outros da metalurgia: consumo final energético, por fonte (%)	68
Figura 52- Química: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	69

Figura 53- Química: consumo final energético, por fonte (%)	70
Figura 54- Evolução do consumo brasileiro per capita de resinas e comparação internacional.	71
Figura 55- Produção física e demanda interna petroquímica (base eteno).	72
Figura 56- Petroquímica: participação das matérias primas (em %) na produção de eteno	73
Figura 57- Evolução do consumo brasileiro per capita de fertilizantes nitrogenados e comparação internacional.	74
Figura 58- Fertilizantes: Balanço produção doméstica-demanda interna de amônia.	75
Figura 59- Fertilizantes: Balanço produção doméstica-demanda interna de ureia.	75
Figura 60- Comparação internacional: consumo per capita de cloro x renda per capita	76
Figura 61- Produção física e demanda interna de cloro	77
Figura 62- Produção física e demanda interna de soda cáustica	77
Figura 63- Alimentos e Bebidas: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	79
Figura 64- Alimentos e Bebidas: consumo final energético, por fonte (%)	79
Figura 65- Têxtil: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	80
Figura 66- Têxtil: consumo final energético, por fonte (%)	81
Figura 67- Papel e Celulose: consumo final energético, por fonte (%)	83
Figura 68- Papel e Celulose: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	84
Figura 69- Cerâmica: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	85
Figura 70- Cerâmica: consumo final energético, por fonte (%)	86
Figura 71- Outras indústrias: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	87
Figura 72- Outras indústrias: consumo final energético, por fonte (%)	88
Figura 73- Expectativa de evolução da produção brasileira de etanol no longo prazo.	90
Figura 74- Expectativa de evolução da produção brasileira de biodiesel no longo prazo.	91
Figura 75- Produção física e demanda interna de aço bruto	92
Figura 76- Cenário de expansão do consumo brasileiro de gás natural no horizonte de longo prazo.	93
Figura 77- Setor energético: Intensidade energética (tep/10 ³ R\$ [2010])	94
Figura 78- Setor energético: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)	95
Figura 79- Setor energético: consumo final energético, por fonte (%)	96
Figura 80- Participação dos modais na atividade do transporte de cargas.	99
Figura 81- Demanda de energia no transporte de cargas.	100
Figura 82- Participação dos modais na atividade do transporte de passageiros	102
Figura 83- Demanda de energia no transporte de passageiros	104
Figura 84- Evolução da taxa de motorização brasileira no PNE 2050.	106
Figura 85- Brasil: Licenciamento de veículos leves	109
Figura 86- Brasil: Frota de veículos Ciclo Otto, elétricos e Ciclo Diesel	110
Figura 87- Brasil: Perfil da frota de veículos leves por combustível	110
Figura 88- Brasil: Demanda final de energia para veículos leves do Ciclo Otto	111
Figura 89- Brasil: Demanda de Gasolina A	112
Figura 90- Brasil: Demanda de Etanol Anidro	113

Figura 91- Brasil: Demanda de Gasolina C	114
Figura 92- Brasil: Demanda de Etanol Hidratado	115
Figura 93- Brasil: Demanda de Eletricidade para veículos leves	116
Figura 94- Demanda total de energia do setor transporte	117
Figura 95- Demanda de energia do setor transporte: modal rodoviário (inclui transporte de carga e passageiros)	118
Figura 96- Demanda de energia do setor transporte: modal ferroviário (inclui transporte de carga e passageiros)	119
Figura 97- Demanda de energia do setor transporte: modal aquaviário (inclui transporte de carga e passageiros)	120
Figura 98- Demanda de energia do setor transporte: modal aeroviário (inclui transporte de carga e passageiros)	121
Figura 99- Desigualdade - Coeficiente de Gini (1981-2013)	124
Figura 100- Domicílios consumidores por faixa de consumo.	126
Figura 101- Consumo mensal sem efeito estrutura.	127
Figura 102- Setor residencial: desagregação da variação do consumo 2013-2050	128
Figura 103- Consumo residencial de eletricidade x renda per capita - comparação internacional.	129
Figura 104- Participação das fontes no aquecimento de água para banho nos domicílios.	130
Figura 105- Indicadores sistema de aquecimento solar de água	131
Figura 106- Participação das fontes na cocção nos domicílios	132
Figura 107- Consumo de combustíveis por fonte	133
Figura 108- Consumo de combustíveis por domicílio	134
Figura 109- Setor residencial: consumo final energético, por fonte (mil tep)	134
Figura 110- Setor residencial: consumo final energético, por fonte (%)	136
Figura 111- Projeção setorial relativa no PIB a preços de 2010 (%)	138
Figura 112- Evolução da matriz de consumo de energia no setor comercial brasileiro.	138
Figura 113- Áreas aptas para a produção de biomassa no Brasil.	140
Figura 114- Evolução da produtividade agrícola por tipo de cultura.	142
Figura 115- Aumento da produção e da área plantada por tipo de cultura entre 2013-2050.	142
Figura 116- Evolução do grau de intensividade da pecuária brasileira no longo prazo.	143
Figura 117- Agropecuária: consumo final energético, por fonte (milhões de tep).	143
Figura 118- Agropecuária: consumo final energético, por fonte (%)	144
Figura 119- Grandes consumidores industriais: consumo de eletricidade, 2013-2050 (TWh)	150
Figura 120- Autoprodução de eletricidade, 2013-2050 (TWh)	151
Figura 121- Ganhos projetados de eficiência elétrica (TWh)	153
Figura 122- Brasil. Consumo total de eletricidade, 2013-2050 (TWh)	154
Figura 123- Brasil. Consumo de eletricidade na rede, por classe, 2013-2050	155
Figura 124- Brasil. Consumo total de eletricidade por classe, 2013-2050 (%)	156
Figura 125- Brasil. Consumo total de eletricidade: PNE 2050 versus PNE 2030	157
Figura 126- Brasil. Elasticidade-renda do consumo de eletricidade	158
Figura 127- Sistema Interligado Nacional (SIN). Carga de energia, 2013-2050	160

Figura 128- Sistema Interligado Nacional (SIN). Acréscimo médio anual de carga por período, 2013-2050	160
Figura 129- Sistema Interligado Nacional. Carga de energia: PNE 2050 versus PNE 2030	161
Figura 130- Evolução histórica do consumo final de gás natural (milhões de m ³ /dia)	162
Figura 131- Projeção do consumo final de gás natural (milhões de m ³ /dia)	163
Figura 132- Estrutura do consumo final de gás natural	165
Figura 133- Estrutura do consumo final de energia	166
Figura 134- Evolução da participação dos setores no consumo de gás natural não energético.	169
Figura 135- Estratégias de atendimento à demanda de eletricidade.	172
Figura 136- Dinâmica de penetração de ações de eficiência energética por origem do indutor.	173
Figura 137- Ganhos de eficiência energética total considerada no PNE 2030.	176
Figura 138- Ganhos de eficiência elétrica considerada no PNE 2030.	176
Figura 139- Representação estilizada das estimativas de ganhos de eficiência energética apresentados no PNE 2050.	177
Figura 140- Inter-relação entre os condicionantes e ações para dinamização de mercados de eficiência energética.	179
Figura 141- Ganhos de eficiência energética por setor no horizonte de longo prazo.	181
Figura 142- Contribuição setorial aos ganhos de eficiência energética no horizonte de longo prazo em 2050.	181
Figura 143- Evolução da intensidade energética e elétrica da economia	184
Figura 144- Evolução estimada do consumo per capita de energia (tep/hab).	184
Figura 145- Evolução estimada do consumo per capita de eletricidade (kWh/hab).	185
Figura 146- Consumo per capita de eletricidade: trajetória brasileira estimada no longo prazo e comparação internacional.	185
Figura 147- Trajetória energética brasileira no longo prazo.	186
Figura 148- Setor residencial: variação do consumo total de energia por efeito entre 2013 - 2050	188
Figura 149- Consumo específico por domicílio - comparação entre países	193
Figura 150- Desagregação do efeito potência no consumo total por serviço 2013-2050	194
Figura 151- Setor residencial: Efeito líquido no consumo total por uso (2013-2050)	197
Figura 152- Consumo específico de energia em setores industriais selecionados (tep/10 ³ t)	201
Figura 153- Intensidade elétrica e energética na indústria ¹	202
Figura 154- Projeção para o setor de transportes total (cargas e passageiros): Consumo final e o consumo potencial sem os ganhos de eficiência tecnológicos incrementais de cada modal (milhões de tep)	209
Figura 155- Projeção para o setor de transportes total (cargas e passageiros): Consumo final e o consumo potencial sem os ganhos de eficiência sistêmicos (milhões de tep)	211
Figura 156- Projeção da capacidade instalada fotovoltaica distribuída no longo prazo	223
Figura 157- Projeção da geração de energia fotovoltaica distribuída	224

Figura 158- Projeção da penetração do biometano para geração distribuída versus potencial teórico	227
Figura 159- Projeção da penetração da geração distribuída de biogás	227
Figura 160- Grandes consumidores industriais: consumo de eletricidade, 2013-2050 (TWh)	232
Figura 161- Autoprodução de eletricidade, 2013-2050 (TWh)	233
Figura 162- Evolução da penetração do biometano combustível versus potencial teórico	236
Figura 163- Evolução da penetração dos biocombustíveis sólidos versus potencial de biomassa sólida disponível	238
Figura 164- Evolução da penetração dos biocombustíveis sólidos versus potencial de biomassa sólida disponível na trajetória de sensibilidade de Novas Políticas	238
Figura 165- Evolução da penetração dos biocombustíveis sólidos versus potencial de biomassa sólida disponível	239

SIGLAS E ABREVIações

ABIQUIM- Associação Brasileira da Indústria Química

ABICLOR- Associação Brasileira da Indústria de Cloro, Alcalis e Derivados

AIE- Agência Internacional de Energia

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica

ANFAVEA- Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANP- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ANTAQ- Agência Nacional de Transportes

ANTP- Agência Nacional de Transportes Terrestres

BEN- Balanço Energético Nacional

BEU- Balanço de Energia Útil

BNDES- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BRS- *Bus Rapid System*

BRT- *Bus Rapid Transit*

CEMIG- Companhia Energética de Minas Gerais

CEPAL- *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*

CGIEE- Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética

CIGRÉ- *Conseil International des Grande Réseaux Électriques*

CNI- Confederação Nacional da Indústria

CNT- Confederação Nacional de Transportes

COFINS- Contribuição para Financiamento da Seguridade Social

COMPERJ- Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro

CONPET- Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural

CTENERG- Fundo Setorial de Energia Elétrica

DCE- Dicloroetano

EPBD- *European Energy Performance in Buildings Directive*

EPE- Empresa de Pesquisa Energética

EPL - Empresa de Planejamento e Logística S.A.

FIESP- Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

GASBOL- Gasoduto Bolívia-Brasil

GD- Geração Distribuída de Eletricidade

GEE- Gases de Efeito Estufa

GLP- Gás Liquefeito de Petróleo

GNV- Gás Natural Veicular

IABR- Instituto Aço Brasil

IBÁ- Indústria Brasileira de Árvores

ICMS- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA- *International Energy Agency*

IEEE- *Institute of Electrical and Electronic Engineers*

INEE- Instituto Nacional de Eficiência Energética

INMETRO- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPEA- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPI- Imposto sobre Produtos Industrializados

ITF- *International Transport Forum*

LabEEE- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LEED- *Leadership in Energy and Environmental Design*

MDIC- Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e do Comércio Exterior

MODERAGRO- Programa de Modernização da Agricultura e Conservação dos Recursos Naturais

NAFTA- *North American Free Trade Agreement*

NZEB- *Net Zero Energy Buildings*

OECD- *Organization for Economic Co-operation and Development*

ONU- Organização das Nações Unidas

PAC- Programa de Aceleração do Crescimento

PBE- Programa Brasileiro de Etiquetagem

PDE- Plano Decenal de Expansão de Energia

PEE/ANEEL- Programa de Eficiência Energética da ANEEL

PIL- Programa de Investimentos em Logística

PMCMV- Programa Minha Casa Minha Vida

PNE- Plano Nacional de Energia

PNLT- Plano Nacional de Logística em Transportes

PNMC- Plano Nacional sobre Mudança do Clima

PNMU- Política Nacional de Mobilidade Urbana

PPP (em US\$ PPP)- Poder de Paridade de Compra (*Power Purchase Parity*)

PROCEL- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROCONVE- Programa de controle de poluição do ar por veículos Automotores

PRODECOOP- Programa de Desenvolvimento Cooperativo para a Agregação de Valor a Produção Agropecuária

PRODEEM- Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

ODE- Oferta Descentralizada de Energia

PRODIST- Procedimentos de Distribuição

PROESCO- Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética

PVC- Policloreto de Vinila

REIDI- Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura

RELUZ- Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes

RGR- Reserva Global de Reversão

SEBRAE- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SNIC- Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

SUV- *Sport Utility Vehicle*

SWEEP- *Southwest Energy Efficiency Project*

UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina

VLT- Veículos Leves sobre Trilhos

ZEB- *Zero Energy Buildings*

APRESENTAÇÃO

Demanda de Energia-2050 é o segundo documento de uma série de cinco¹ que compõem os estudos do *Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050)*. Neste são apresentadas as evoluções das demandas dos energéticos aderentes ao cenário econômico de longo prazo.

O PNE 2050 é o segundo estudo de longo prazo realizado pela EPE/MME. Em 2007 foi lançado o Plano Nacional 2030 (PNE 2030), uma importante contribuição no âmbito da retomada do planejamento energético nacional. Foi o primeiro estudo na esfera de governo com a visão de planejamento integrado de energia. A importância do PNE 2030 pode ser medida pelo impacto que causou nestes últimos seis anos de sua publicação, a saber, o seu uso nas diversas esferas ministeriais como referência de cenário econômico-energético de longo prazo do governo federal, e seu uso como referência para estudo sobre energia por parte de diversos públicos interessados no setor energético. No âmbito do setor energético especificamente foi decisivo para a retomada de Angra 3, para o reforço e priorização da hidroeletricidade na expansão da oferta de eletricidade, para a indicação do gás natural como complementação da matriz de geração, para a consolidação do etanol na matriz de combustíveis, bem como para indicar o elevado potencial de produção de petróleo e gás natural pelo país, o que acabou se concretizando com antecipação.

Diante desta importância, o PNE 2050 surge como uma resposta aos novos eventos que ocorreram desde 2006 e que vêm impactando o setor energético, como, por exemplo, a crescente dificuldade de aproveitamento hidroelétrico na matriz nacional, o forte ganho de competitividade obtido pela energia eólica no Brasil, o surgimento da oferta de petróleo e gás natural do pré-sal, o evento de Fukushima e seu impacto no setor nuclear, a transformação da indústria de gás natural devido à oferta de gás não convencional nos EUA, o prolongamento da crise econômica mundial de 2008, a crescente preocupação com as mudanças climáticas, entre outros. Além disto, o novo horizonte de cerca de 40 anos à frente, tem como intuito, justamente, antecipar as possíveis inovações e eventos que possam de maneira significativa produzir importantes mudanças na sociedade e no seu relacionamento com a energia. Mudanças estas de natureza tecnológica, econômica, ou de mudança de hábitos socioeconômicos, ou mesmo novos recursos energéticos que poderiam estar disponíveis nesse horizonte.

Como todo exercício de cenarização, este documento deve ser lido como uma trajetória possível de futuro, portanto, não única, e não como uma verdade absoluta ou uma projeção de curto prazo. Serve, portanto, para antecipar tendências que geram oportunidades e trazem ameaças, as quais necessitam de um posicionamento estratégico no longo prazo e de planos de ação no curto prazo, como o Plano Decenal de Energia (PDE), que no horizonte decenal traz as projeções econômicas e de demanda de energia, juntamente com a definição da trajetória desejável, indicativa, de expansão da matriz de geração e de combustíveis.

¹ Cenário econômico - 2050, Recursos energéticos - 2050, Oferta de combustíveis - 2050, Oferta de eletricidade - 2050.

Ao longo da realização deste estudo foram realizadas algumas reuniões com outras instituições a fim de receber contribuições para a elaboração do cenário de demanda de energia. Em um horizonte tão longo, a estimativa da demanda de energia se depara com grande número de incertezas das mais variadas naturezas, incluindo configuração de infraestrutura da economia, padrões de mobilidade urbana, competitividade tecnológica e de matérias-primas, além do padrão de consumo de energia pelos consumidores, apenas para citar algumas.

Nesse sentido, o estudo buscou identificar algumas das variáveis que pudessem apresentar pronunciado impacto sobre os resultados obtidos, o que influencia de forma decisiva a estratégia da expansão da oferta de energia. Nesse contexto, buscou-se avaliar aquelas variáveis com maior impacto potencial para a evolução da demanda de energia tanto em termos totais (energia total) quanto no tocante à segmentação desta demanda por fonte (tipo de fonte energética). Na fase inicial dos estudos, dois temas despontaram como candidatos a maior grau de aprofundamento: o futuro do setor brasileiro de transportes, bem como das edificações brasileiras.

Assim, além de pesquisa técnica realizada pela equipe da EPE acerca desses temas, a forma de abordar as incertezas relacionadas incluiu a realização de reuniões temáticas cujo objetivo principal foi promover debate especializado em torno de questões com elevado grau de incerteza da evolução de parâmetros decisivos para a trajetória de evolução da demanda de energia. Para isso, foram identificados agentes-chave em cada tema, incluindo especialistas-referência em universidades, órgãos de governo e instituições privadas, tendo sido realizados convites aos mesmos.

Nesse contexto, foram promovidas reuniões temáticas, ocorridas no escritório central da EPE, situado na cidade do Rio de Janeiro: se tratando do setor de transportes e sobre edificações.

No tocante à temática relacionada ao setor transportes, esta se dividiu em questões relacionadas à mobilidade urbana e ao transporte de cargas. Tal reunião versou sobre o futuro do setor brasileiro de transportes, onde se buscou discutir: (i) as perspectivas de alteração da estrutura modal do transporte de cargas no longo prazo; (ii) os padrões de mobilidade das cidades brasileiras e tecnologias aplicáveis nesse sentido, destacando aqui a eletrificação do sistema de transportes. A reunião foi dividida em dois momentos. O primeiro deles abordou questões relacionadas à evolução da estrutura modal de transporte de cargas do Brasil, contando com a palestra “Plano Nacional de Logística e Transportes: Permanente, Intermodal, Participativo e Integrado. Um Plano de Estado, Nacional e Federativo” proferida pelo engenheiro Francisco Luiz Baptista da Costa, diretor do Ministério de Transportes. A segunda parte da reunião temática abordou o futuro da mobilidade urbana no Brasil à luz das perspectivas trazidas pela Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), contando com apresentação realizada pelo diretor do Ministério das Cidades, Sr. Marco Motta, e pelo especialista Fernando Araldi, também do Ministério das Cidades. Posteriormente a essa reunião temática, outras duas palestras foram realizadas na EPE abordando perspectivas futuras de veículos elétricos. A primeira delas ocorreu em 01/08/2013, intitulada “Perspectivas para Veículos Híbridos e Elétricos no Brasil” e tendo sido proferida pelo especialista Eduardo Correa, da Petrobras. Outra palestra relacionada ao tema ocorreu em

13/11/2013, com a apresentação do tema “Novas tecnologias de propulsão. Veículos leves de passageiros e comerciais leves”, pelo especialista Henry Joseph Junior da ANFAVEA.

A segunda reunião temática, ocorrida em 11/07/2013, abordou as perspectivas do futuro das edificações brasileiras, buscando-se entender a inserção de padrões construtivos “sustentáveis”, sua dinâmica de penetração ao longo do tempo e as limitações/barreiras que devem ser consideradas em estudos de longo prazo. A reunião contou com a palestra “Futuro das edificações: Padrões Construtivos e Tecnologias”, proferida pelo Professor Roberto Lamberts (LabEEE/UFSC). Além dos técnicos da EPE, o evento contou com a participação do especialista Howard Geller (SWEEP - *Southwest Energy Efficiency Project*) do professor André Lucena (COPPE/UFRJ) e do especialista Marcos Damasceno (INMETRO).

Além dessas reuniões temáticas - que aportaram insumos importantes para a elaboração do cenário brasileiro de demanda de energia no longo prazo-, cabe destacar a realização de reuniões com representantes de associações de classe, para os quais foram apresentados os resultados setoriais obtidos, conforme o que era aplicável em cada caso. Por exemplo, no caso da demanda energética da indústria, houve interação com algumas associações representativas de setores específicos, tais como o IABR, a ABIQUIM, a ABICLOR, o SNIC, a ANP e o BNDES.

Ademais, este trabalho contou ainda com o apoio de equipes da EPE, em especial a Superintendência de Derivados do Petróleo e Biocombustíveis, responsável pelas estimativas de demanda de energia e ganhos de eficiência energética no setor brasileiro de transportes.

É digno de registro que a quantificação dos cenários apresentados nessa nota técnica foi concluída no final do ano de 2014, de modo que recentes acontecimentos conjunturais tais como as mudanças na perspectiva de entrada de grandes projetos de refinarias e fertilizantes. Contudo, essa aparente diferença não desautoriza as indicações de caráter estratégico, objetivo principal de um plano de longo prazo.

A EPE agradece a todos os que participaram e que de certa forma contribuíram para a elaboração deste estudo.

Este exercício de cenarização caracteriza-se como **não tendencial**, uma vez que considera medidas complementares àquelas que seriam adotadas na evolução natural dos setores da economia, o que pode ser chamado de “Fazendo o Dever de Casa”. Cabe ressaltar que, para tanto, são necessários esforços tanto no ambiente produtivo quanto no chamado “fora da fábrica”, nos setores regulatório, tributário e de infra estrutura. Dentre as medidas do primeiro caso, merecem destaque a significativa elevação da taxa de eficiência energética considerada, bem como o ganho de produtividade - em parte decorrente da universalização da Educação de qualidade. Para garantir a competitividade em toda a cadeia produtiva, sobretudo na industrial, foi considerado o reconhecido grande esforço para a redução de custos logísticos e tributários. Por fim, em virtude das negociações internacionais acerca das questões ambientais globais, o presente exercício considera a mitigação das emissões de gases responsáveis pelo aquecimento global muito acima do que aconteceria no cenário de referência, representadas pela penetração de tecnologias de Veículos Híbridos e Elétricos,

Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos e à biogás, assim como a utilização de biometano para fins veiculares.

Com a apresentação deste documento para a sociedade, a EPE procura consolidar seu papel de contribuir para a geração de conhecimento no país, assim como fortalecer ainda mais o planejamento energético nacional. As necessidades sociais hoje e no longo prazo são muitas, assim como as possibilidades, conforme confirmam nossos estudos. O país está diante de um momento histórico e decisivo.

1 INTRODUÇÃO

Em 2050, o mundo que vivenciaremos possivelmente nos apresentará uma realidade bastante distinta da que atualmente conhecemos, em todos os campos, seja ele social, econômico, energético e ambiental, entre outros. Basta recuarmos trinta anos atrás para constatarmos o quanto se evoluiu do ponto de vista tecnológico, para seguramente concluirmos que muitas transformações ocorrerão até 2050. O cenário econômico de referência para os estudos de demanda aqui descritos é apresentado na **NT Cenário econômico 2050**.

Nesse contexto, o exercício de cenarizar o futuro é, por certo, bastante desafiador para o planejador energético, mas absolutamente imperativo e essencial ser realizado, uma vez que, pelas características intrínsecas do setor energético, as decisões precisam ser tomadas com bastante antecipação, de modo que as condições adequadas estejam presentes para incentivar que determinadas opções estejam disponíveis para a sociedade no momento em que for preciso. Incluem-se aí, por exemplo, a formação de recursos humanos, a viabilização comercial de tecnologias, a transformação de ambiente regulatório e mesmo as transformações de hábitos de consumo, embora esses últimos apresentem especial dificuldade a mudanças de padrões de consumo. Neste último caso, contudo, há margem de indução através das políticas adequadas.

No horizonte de longo prazo, o cenário de crescimento da economia brasileira, da resolução de gargalos de infraestrutura, da mobilidade social, e o acesso a bens e serviços mais elaborados decorrente da melhoria da qualidade geral de vida da população, entre outros, leva à necessidade de aumento de consumo médio per capita de energia da população brasileira que, reconhecidamente usufrui de níveis menores de consumo de bens e serviços comparativamente aos países desenvolvidos atualmente. Reconhecendo esse fato, contudo, o Brasil não precisa reproduzir exatamente as trajetórias observadas de evolução de padrões de consumo e, nesse aspecto, será fundamental o papel a ser desempenhado por ações de eficiência energética nesse horizonte. O patamar da contribuição dessa alternativa, por sua vez, pode variar sobremaneira, em função do grau de sucesso de efetivação de medidas de eficiência energética.

Neste contexto, este estudo se propõe a apresentar uma visão de longo prazo para a demanda brasileira de energia no longo prazo em suas diversas formas e fontes, buscando apreender o efeito das diversas incertezas inerentes a cenários de longo prazo. Apresenta, assim, o cenário referencial de demanda de longo prazo da EPE para 2050, o qual servirá de base para elaboração da proposta de estratégia brasileira de expansão da oferta de energia no longo prazo.

A presente nota técnica está dividida em cinco grandes tópicos, além desta introdução. No capítulo 2 discutem-se as principais incertezas/desafios identificadas para a estimativa da evolução da demanda de energia no longo prazo que, a depender da direção seguida, podem alterar significativamente os resultados. No capítulo 3 são apresentados os resultados estimados de demanda de energia no longo prazo, para os diversos setores de consumo final e, nas principais fontes energéticas. De modo a contemplar o possível impacto de algumas das

incertezas mencionadas no capítulo anterior, análises de sensibilidade específicas foram conduzidas para avaliar esse impacto.

Como asseverado, a contribuição da eficiência energética na redução da demanda de energia é fundamental para reduzir a necessidade de expansão da oferta de energia no longo prazo, evitando, por exemplo, impactos ambientais decorrentes de novos projetos. Assim, o capítulo 4 ocupa-se em apresentar a contribuição desses ganhos de eficiência aos resultados de projeção de demanda.

Como uma importante e crescente parcela de contribuição ao atendimento desta demanda, o autoatendimento energético mostra ser uma grande tendência mundial e, por essa razão, o capítulo 5 é dedicado a examinar o impacto desse tema no cenário energético brasileiro futuro.

2 INCERTEZAS E DESAFIOS PARA A EVOLUÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA

O horizonte de longo prazo traz especial desafio à estimativa de demanda de energia, dada a diversidade de cenários possíveis, o que é inerente a análises dessa natureza. Tais incertezas se justificam por conta de incertezas ligadas à competitividade de energéticos, às possibilidades de trajetórias tecnológicas, à evolução de infraestrutura e como os usuários de energia responderão a esses possíveis contextos, entre outras.

Em um horizonte de tempo tão longo, transformações mais pronunciadas de mercado podem ocorrer, uma vez que alternativas tecnológicas em fase de penetração no mercado e mesmo aquelas em desenvolvimento, podem ter sua viabilidade técnica e econômica comprovada e proporcionar a alteração do estoque de edificações e de equipamentos, por exemplo. O conjunto de situações em que essas incertezas ocorrem pode alterar significativamente a trajetória de evolução da demanda brasileira de energia no longo prazo e, por conseguinte, a necessidade de expansão do setor energético para atendimento a essa demanda, tanto sob um ponto de vista quantitativo quanto qualitativo.

Nesse sentido, os estudos de demanda de energia no longo prazo identificaram alguns aspectos-chave para essa estimativa, cuja análise deverá se deter considerando os condicionantes associados à sua viabilização e seus consequentes impactos desses aspectos. Estes aspectos incluem a avaliação de incertezas tais como (não necessariamente nessa ordem):

- **O impacto do papel do consumidor final como agente do mercado de energia**, englobando o uso eficiente de energia e também como gerador de sua própria energia. Nesse caso, tanto as taxas de penetração mais agressivas de eficiência energética quanto à expansão da geração distribuída podem contribuir para redução significativa do crescimento da demanda de energia no longo prazo;
- **A evolução do padrão futuro de mobilidade nas cidades brasileiras**, reconhecida-mente um aspecto que exigirá mudanças pela já observada saturação das grandes cidades brasileiras e pela necessidade de um novo modelo de crescimento para as cidades de pequeno e médio porte, com foco no transporte coletivo e não motorizado. As políticas de mobilidade e planejamento urbano, além do aumento da conectividade entre os usuários de transportes e entre os próprios veículos (comunicação veículo a veículo) terão, por certo, impacto profundo não somente sobre o consumo de energia, como também sobre outros aspectos como qualidade de vida da população;
- **A transformação modal do transporte brasileiro de cargas** que, embora necessária para dar mais competitividade à economia brasileira, depara-se com grande desafio e esforço para viabilizá-la no longo prazo. Estes desafios relacionam-se, entre outros, aos investimentos demandados para promover essa transformação modal, adequadamente avaliada;
- **A inserção de novas tecnologias em setores como a indústria, transporte e residências**, o que envolve, por exemplo, o grau de penetração das alternativas de eletrificação na matriz de transportes, o uso de fontes renováveis na produção industrial, os equipamentos de uso final nas residências brasileiras e seu consequente impacto sobre o consumo final de energia nesses setores;

- **A dinâmica de incorporação de novos consumidores brasileiros neste horizonte**, posto que os desafios relacionados ao atendimento de um contingente quantitativo crescente de população neste período (cerca de 50% de aumento de população até 2050), à crescente demanda de serviços de maior qualidade gerada pelo crescimento da renda per capita e também a um relativo movimento de mobilidade social esperado;
- **A evolução do perfil das edificações brasileiras**, incluindo prédios tanto para uso residencial quanto comercial. No horizonte de longo prazo, expansão adicional significativa de habitações e prédios comerciais deverá ocorrer, o que gera oportunidades de incentivo à penetração de edificações eficientes e também à modernização das existentes, tanto a partir de iniciativas do mercado quanto catalisadas por ação de políticas públicas;
- **A competitividade relativa dos energéticos**, que define em muitos aspectos a expansão de determinadas atividades econômicas neste horizonte, por exemplo, as indústrias energointensivas no país. Além disso, a competitividade internacional do país é fortemente definida também pelo ambiente existente de preços da energia.

As incertezas associadas aos aspectos acima mencionados podem levar a realidades bastante distintas da demanda futura de energia e, conseqüentemente, impactar de maneira significativa a estratégia de expansão futura do setor energético brasileiro. Nesse sentido, este item da nota técnica visa discutir esses aspectos, o que subsidia a elaboração de premissas para as estimativas de demanda de energia no longo prazo, em seus diversos setores de consumo final.

2.1 O papel mais ativo do consumidor no mercado de energia

O consumidor final de energia é um importante ator na equação da expansão do setor energético. Esta importância pode ser ilustrada ao observarmos a Figura 1, que resume as alternativas de atendimento à demanda de energia. O papel do consumidor final nesse contexto inclui tanto ações de eficiência energética quanto de geração distribuída, que contribuem para reduzir a necessidade de expansão do setor elétrico brasileiro no longo prazo, conforme é ilustrado na Figura 2.

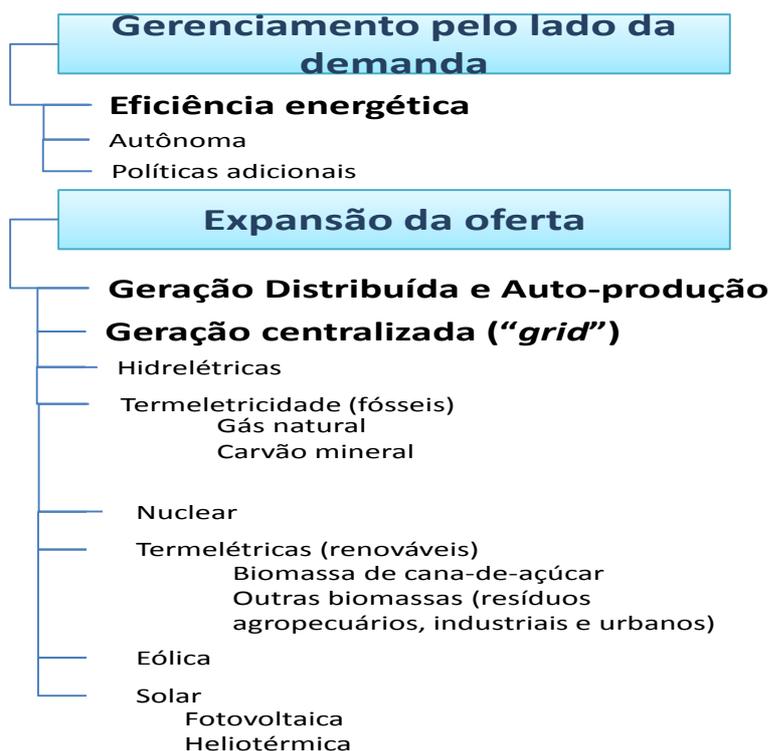


Figura 1- Alternativas de atendimento à demanda de energia elétrica.

Fonte: Elaboração EPE

Nesta figura, ilustrada apenas para demanda de eletricidade, uma parcela é atendida através de ações de eficiência energética e outra parcela, através da instalação de sistemas de geração distribuída, ambas promovidas pelo efeito de: (i) políticas existentes; (ii) políticas adicionais; (iii) decisão final do consumidor sem vínculo direto com essas políticas.

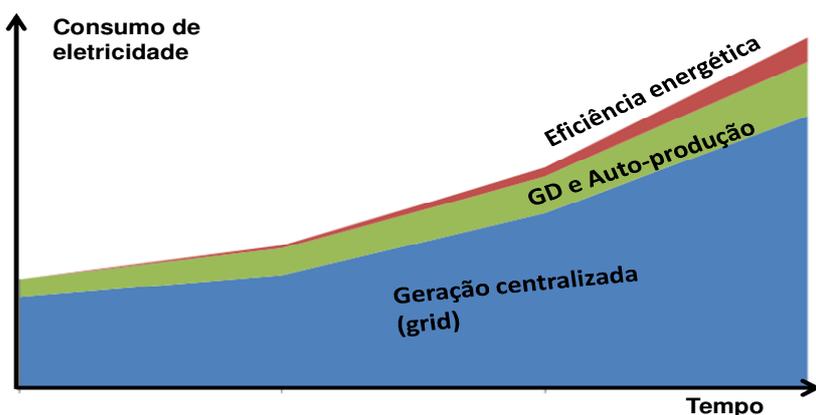


Figura 2- Demanda de eletricidade e fontes de atendimento à demanda de energia.

Fonte: Elaboração EPE

Sob o ponto de vista da eficiência energética, o impacto de ações neste campo resulta do uso de equipamentos mais eficientes, como também a partir dos hábitos de uso das tecnologias disponíveis.

A penetração de equipamentos mais eficientes é condicionada tanto a partir de uma vertente da oferta destes equipamentos quanto pelo poder de escolha do consumidor final. Sob o ponto de vista da oferta, destaca-se a produção de novos equipamentos com diferentes níveis de serviço final e índices de eficiência energética. Se, por um lado, pode-se induzir a melhoria desses índices ao longo do tempo, através de políticas de eficiência energética, por outro lado, a escolha do consumidor final nem sempre evolui no sentido de utilizar equipamentos com menor consumo energético. Por exemplo, ainda que se ofertem equipamentos de condicionamento de ar com índices progressivamente superiores de eficiência energética, pelo menos por um tempo, observa-se a existência de um processo de escolha do consumidor que resulta na aquisição de equipamentos com maior potência. Outro exemplo inclui a aquisição de veículos individuais com maior potência de motor, que leva maiores consumos específicos de combustível por quilômetro rodado. Assim, no horizonte de longo prazo, a incerteza que se associa à penetração da eficiência energética refere-se fundamentalmente ao patamar de contribuição ao abatimento da demanda de energia.

No campo das políticas voltadas à eficiência energética, cabe destacar que o Brasil vem introduzindo, ao longo dos anos, diversos mecanismos e ações com impacto sobre a eficiência energética, a despeito de avanços que ainda podem ser feitos no país nesse sentido. Na Tabela 1 e na Tabela 2 são ilustrados alguns exemplos de iniciativas em vigor no mercado brasileiro de eficiência energética.

Tabela 1- Relação das Principais Iniciativas em Eficiência Energética e os Mecanismos² Utilizados no Brasil

Tipos de Mecanismos	Setores				
	Industrial	Residencial	Comercial	Público	Transportes
Suporte	PROCEL/ CONPET	PROCEL/CONPET	PROCEL/CONPET	PROCEL/CONPET	PROCONVE/CONPET
	CNI/PBE/ SEBRAE	PBE	PBE/SEBRAE	PBE	PBE
Controle	Lei de Eficiência Energética e CGIEE, PEE/ANEEL, PNMC	Lei de Eficiência Energética e CGIEE, PEE/ANEEL, PNMC, PMCMV	Lei de Eficiência Energética e CGIEE, PEE/ANEEL, PNMC	Lei de Eficiência Energética e CGIEE, PEE/ANEEL, PNMC	Lei de Eficiência Energética, CGIEE, PNMC e PNLT
Mercado	Informação e divulgação	Informação e divulgação IPI para equipamentos eficientes	Informação e divulgação IPI para equipamentos eficientes	Informação e divulgação IPI para equipamentos eficientes Compras eficientes	Informação e divulgação IPI para equipamentos eficientes
Fundo	RGR CTEnerg e PEE (Lei 9.991/2000)	RGR CTEnerg e PEE (Lei 9.991/2000)	RGR CTEnerg e PEE (Lei 9.991/2000)	RGR CTEnerg e PEE (Lei 9.991/2000)	CTEnerg
	PROESCO		PROESCO	RELUZ, PROESCO	

Nota: CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética, CONPET - Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural, CTNErg - Fundo Setorial de Energia Elétrica, CNI - Confederação Nacional da Indústria, PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem, PEE - Programa de Eficiência Energética, PNLT - Plano Nacional de Logística em Transportes, PNMC - Plano Nacional de Mudanças Climáticas, PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, PROCONVE - Programa de controle de poluição do ar por veículos Automotores, PROESCO - Projetos de Eficiência Energética, SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, RELUZ - Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes; PMCMV - Programa Minha Casa, Minha Vida

Fonte: Adaptado com base em CEPAL (2011)

² A Agência Internacional de Energia classifica os mecanismos para promoção da eficiência energética, agregados em quatro categorias (IEA, 2000):

- *Mecanismos de suporte:* fornecem apoio para as mudanças de comportamento, seja na formação de técnicos através de cursos, treinamentos, como na elaboração disponibilização de diagnósticos energéticos, ferramentas de análise, como “softwares”, portais na internet e publicações técnicas. Esse suporte é tanto para os usuários finais (consumidores), como para as empresas, indústrias etc.;
- *Mecanismos de controle:* são aqueles direcionados à mudança de comportamento no mercado de energia, em geral, de caráter mandatário, através da aplicação de condicionantes para licenciamento e concessão, requerimentos legais, critérios de desempenho etc.;
- *Mecanismos de mercado:* utilizam as forças de mercado, em geral, via preço de produtos ou serviços energéticos e aumento da transparência ao consumidor final para influenciar as escolhas dos mesmos na direção do consumo racional de energia;
- *Mecanismos de fundos:* fornecem recursos para outros mecanismos, promovendo a comercialização/investimentos em eficiência energética, de forma comparativamente vantajosa. Os fundos, frequentemente são provenientes do orçamento do governo.

Tabela 2- Relação das Principais Políticas e Medidas de Eficiência Energética

POLÍTICAS E MEDIDAS	DESCRIÇÃO/OBJETIVO DO MECANISMO/METAS
TRANSVERSAIS	
Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF)	O PNEF tem como objetivo, orientar as ações a serem implementadas no sentido de se atingir metas de economia de energia no contexto do Planejamento Energético Nacional. A meta adotada no PNEF é a redução de 10% (106.623 GWh) do consumo de energia elétrica no ano 2030.
Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)	O PBE é um programa de etiquetagem de desempenho, com a finalidade de contribuir para a racionalização do uso da energia no Brasil através da prestação de informações sobre a eficiência energética dos equipamentos disponíveis no mercado nacional. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) classifica os equipamentos, veículos e edifícios em faixas coloridas, em geral de "A" (mais eficiente) a "E" (menos eficiente), e fornece outras informações relevantes, como, por exemplo, o consumo de combustível dos veículos e a eficiência de centrifugação e de uso da água em lavadoras de roupa.
Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)	Combater o desperdício de energia elétrica, Estimular o uso eficiente e racional de energia elétrica e Fomentar e apoiar a formulação de leis e regulamentos voltados para as práticas de eficiência energética. O PROCEL atua nas áreas: Educação, Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (Procel Info), Selo Procel, Edificações, Prédios públicos, Gestão Energética Municipal, Indústria, RELUZ e SANEAR. Os resultados alcançados em 2012 foram: 9.097GWh de energia economizada, que equivale a uma usina equivalente a 2.182 MW.
Selo PROCEL	O Selo Procel tem por objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Os produtos contemplados com o Selo Procel, normalmente são caracterizados pela faixa "A".
RELUZ	Implementar projetos de eficiência energética nos sistemas de iluminação pública e sinalização semafórica
Programa Nacional para uso racional de derivados de petróleo e gás natural (CONPET)	Racionalizar o consumo dos derivados do petróleo e do gás natural; reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera; promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico; e fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia. O CONPET atua nas áreas: Eficiência Energética de Equipamentos, na Educação e no Transporte.
Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição - PEE.	As distribuidoras, devem aplicar um % mínimo da receita operacional líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética. 0,5% até 2015; 60% baixa renda. Resultados do PEE em 2012: 3.800 GWh/ano de energia economizada com 1.078 projetos por tipologia
PROESCO	O objetivo do PROESCO é apoiar os projetos de eficiência energética no país. O PROESCO abrange as áreas que contribuem para a economia de energia: iluminação, motores, otimização de processos, ar comprimido, bombeamento, ar-condicionado e ventilação, refrigeração e resfriamento, produção e distribuição de vapor, aquecimento, automação e controle, distribuição de energia e gerenciamento energético.
Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC	A PNMC formaliza o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Esforços na direção da eficiência energética e da conservação de energia, como forma de redução de consumo, evitando geração adicional e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa.
Programa Tecnológico para Mitigação de Mudanças Climáticas- Proclima	Criado em 2007, pela Petrobras. O objetivo da iniciativa é prover soluções tecnológicas para a redução da intensidade de emissões de gases de efeito estufa (GEE) em seus processos e produtos, visando a garantir a sustentabilidade de seus negócios e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas globais.
Programa Fundo Clima - BNDES	Apoiar a implantação de empreendimentos, a aquisição de máquinas e equipamentos e o desenvolvimento tecnológico relacionados à redução de emissões de gases de efeito estufa e à adaptação às mudanças do clima e aos seus efeitos
PAC2 Mobilidade Grandes Cidades	objetiva requalificar e implantar sistemas estruturantes de transporte público coletivo, visando a ampliação da capacidade e promovendo a integração intermodal, física e tarifária do sistema de mobilidade nos grandes centros urbanos.
Compras Públicas Sustentáveis	Medidas para a Administração Pública Federal adquirir equipamentos com Selo Procel ou com etiqueta nível "A" no PBE
Lei de eficiência energética	Estabelece níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes.
Plano Inova Energia	O plano abrange quatro linhas de inovação: redes inteligentes, que distribuem a energia de maneira mais eficiente; melhoria na transmissão de longa distância em alta tensão; energias alternativas, como a solar e termossolar; e desenvolvimento de dispositivos eficientes para veículos elétricos, que possam contribuir para a redução na emissão de poluentes nas cidades. Orçamento de R\$ 3 bilhões no desenvolvimento
Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura - REIDI	É beneficiária do REIDI a pessoa jurídica que tenha projeto aprovado para implantação de obras de infra-estrutura nos setores de transportes, portos, energia, saneamento básico e irrigação. Esse regime especial dá isenção da exigência da contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS nas aquisições e importações de bens e serviços vinculadas ao projeto de Infraestrutura aprovado, realizadas no período de cinco anos contados da data da habilitação de pessoa jurídica, titular do projeto de infraestrutura.
Planos de Gestão de Logística Sustentável	São ferramentas de planejamento que permitem aos órgãos ou entidades estabelecer práticas de sustentabilidade e racionalização de gastos e processos na Administração Pública.
TRANSPORTES	
Programa de controle de poluição do ar por veículos Automotores (PROCONVE)	reduzir e controlar a contaminação atmosférica por fontes móveis (veículos automotores), fixando prazos, limites máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados.
Etiquetagem de veículos leves (PBE)	A etiqueta tem o objetivo de informar ao consumidor o nível de eficiência energética do produto adquirido
PNLT - Plano Nacional de Logística e Transportes	O plano tem como objetivo resgatar o planejamento e considera aspectos logísticos, custos envolvidos em toda a cadeia de transporte partindo das origens até os destinos, sustentabilidade com o meio ambiente, redução das desigualdades regionais, indução ao desenvolvimento sustentável e uso adequado das modalidades ferroviária e aquaviária no transporte de cargas. O plano tem como meta que em 2031, a matriz de transporte alcance uma distribuição de: rodoviário 38%, ferroviário 43%, hidroviário 6%, dutoviário 4% e cabotagem 9%. Reduções evitadas de 42 milhões de CO2eq
Redução do IPI veículos "flex" e a gasolina de até 1.000 cilindradas	A medida visa estimular a produção e o consumo de veículos que consomem menos combustível
Inovar Auto	Mais competitividade, tecnologia e segurança para os carros produzidos e vendidos no Brasil. A meta-avo é 17,26 km/l (gasolina) e 11,96 km/l (etanol). Hoje, o consumo médio nacional é de 14 km/l (gasolina) e 9,71 km/l (etanol).
PNMU - Política Nacional de Mobilidade Urbana	Tem como objetivo a integração entre os diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas no território do Município
INDÚSTRIA (inclui indústrias produtoras de energia)	
Incentivo à P&D na indústria	Por força de lei, a Petrobras tem renúncia fiscal para apoio a projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), que contam com 0,5% do faturamento bruto da empresa.
Programa de Ajustes para Redução da Queima de Gás Natural (ANP)	O Programa de Ajuste para Redução da Queima de Gás Natural (Parq), é uma exigência que foi implementada em 2010 pela ANP.
Programa de Aumento da Eficiência Operacional (PROEF) - Petrobras	Aumento da confiabilidade de entrega da curva de óleo através da melhoria dos níveis de eficiência operacional e da integridade dos sistemas de produção antigos da Bacia de Campos e minimização de riscos de perdas de eficiência dos sistemas mais recentes.
Programa Interno de Eficiência Energética - Petrobras	A Petrobras conta com 38 Comissões Internas de Conservação de Energia, desenvolve e implementa projetos de melhoria em eficiência energética que visam a redução do consumo de energia elétrica e redução do consumo de combustíveis em suas unidades
Programa de Otimização de Infraestrutura Logística (Infralog) - Petrobras	Planejamento integrado, acompanhamento e gestão de projetos e ações para atender às necessidades de infraestrutura logística da Petrobras até 2020
EDIFICAÇÕES	
Lei de banimento de lâmpadas incandescentes	Banimento gradativo das lâmpadas incandescentes por faixa de potência através da Portaria Interministerial MME/MCTI e MDIC, nº 1.007/2010.
Etiquetagem de Edificações Comerciais, Públicas e Residenciais	A etiqueta tem o objetivo de informar ao consumidor o nível de eficiência energética do produto adquirido
Programa Minha Casa, minha vida (aquecimento solar)	É um programa para a contratação de unidades habitacionais com prioridade às famílias de baixa renda. A meta é atingir 2 milhões de residências até 2014. O sistema de aquecimento solar de água substitui o chuveiro elétrico, reduzindo o consumo de eletricidade das casas e se tornando um importante aliado para a redução do horário de ponta.
Selo Caixa Azul (construção sustentável)	Programa de construção sustentável. O Selo Casa Azul CAIXA, tem como objetivo o reconhecimento e incentivo de projetos que demonstrem suas contribuições para a redução de impactos ambientais,
BNDES ProCopa Turismo	O BNDES ProCopa Turismo conta com dois subprogramas com condições especiais de financiamento para empreendimentos hoteleiros que obtenham certificações de sustentabilidade ou de eficiência energética: BNDES ProCopa Turismo - Hotel Sustentável (exige certificado de construção sustentável) e BNDES ProCopa Turismo - Hotel Eficiência Energética (exige certificado de eficiência energética). Financiamento de construção, reforma, ampliação e modernização de hotéis, de forma a aumentar a capacidade e qualidade de hospedagem em função da Copa do Mundo de 2014.
AGRICULTURA	
Política Nacional de Irrigação	Equipamentos para uso eficiente da água, modernizar instrumentos e implantar sistemas de suporte à irrigação
Programa de Incentivo à Irrigação e à Armazenagem - Moderinfra	Apoiar o desenvolvimento da agropecuária irrigada sustentável, econômica e ambientalmente, de forma a minimizar o risco na produção e aumentar a oferta de produtos agropecuários

Fonte: Elaboração EPE

No que tange à geração distribuída, é reconhecido que esta alternativa deve apresentar uma contribuição cada vez mais importante como parcela de atendimento à demanda de energia. O conceito de geração distribuída aqui utilizado a categoriza como grande porte (associadas forte e normalmente à lógica industrial) e de menor porte (vinculada à realidade dos setores residencial e comercial), diferenciação baseada na lógica similar do ponto de vista do investimento, modo de operação e barreiras à implementação.

Além da geração distribuída de grande porte representar atualmente uma parcela significativa de atendimento da demanda de eletricidade (cerca de 10% em 2012), no horizonte de longo prazo, as perspectivas de expansão da atividade de indústrias tradicionalmente autoprodutoras (sucro-alcooleira, celulose & papel, E&P de petróleo e gás natural, siderurgia) é relevante, de modo que essa alternativa terá papel importante nas mesmas.

No que tange à geração distribuída de pequeno porte, por sua vez, é conveniente destacar as recentes iniciativas para incentivar esse tipo de GD, por exemplo, a Resolução Normativa da ANEEL nº482/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica, entre outras. Ainda que a microgeração e minigeração de eletricidade venham se expandindo a taxas elevadas possibilitadas por subsídios em países desenvolvidos, no Brasil, há perspectiva, para a geração fotovoltaica, que a paridade tarifária seja atingida ainda nesta década (Figura 3).

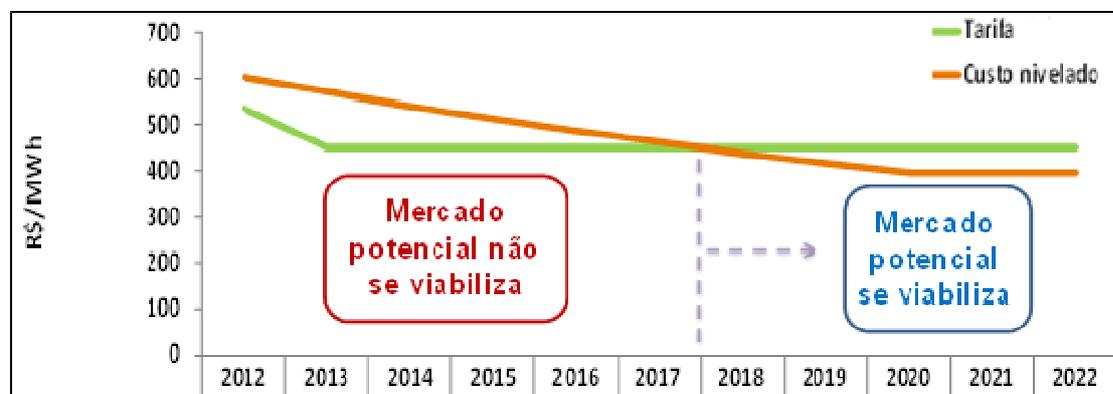


Figura 3- Estimativa da viabilidade econômica da fonte fotovoltaica.

Fonte: Elaboração EPE

Cabe destacar que o efeito líquido conjunto das ações de eficiência energética e de geração distribuída apresenta grande incerteza, como pode ser visto na Figura 4, que combina situações com diferentes níveis de geração distribuída e padrões de hábito/uso de energia em uma residência. A depender da combinação destas situações, a demanda líquida resultante de energia apresenta diferentes resultados. Adicionalmente, este aproveitamento, é condicionado por aspectos técnicos, econômicos e regulatórios, sobre os quais se associam incertezas quanto à trajetória futura.

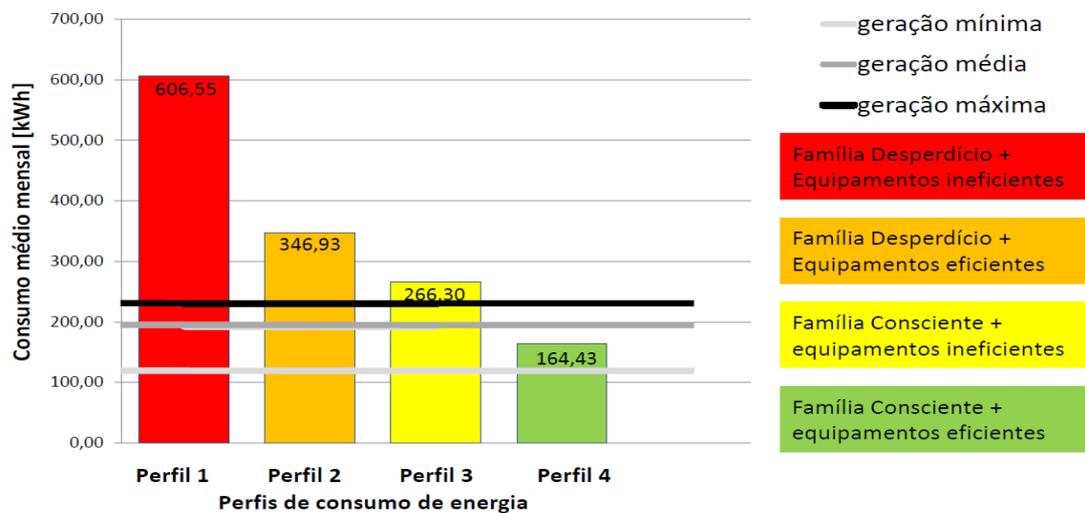


Figura 4- Demanda de eletricidade e fontes de atendimento à demanda de energia.

Fonte: Lamberts (2013)

Nesse sentido, para o horizonte de longo prazo a principal questão que se coloca é em que patamar as oportunidades de eficiência energética e geração distribuída serão aproveitados pelos consumidores finais. A depender desse patamar, as necessidades de expansão do setor energético como um todo poderão ser assaz diferentes. Finalmente, um aspecto que merece ser ressaltado é a importância da transformação do mercado de energia, essencial para que o consumidor final possa exercer esse papel (vide “box” 1).

Box 1 - O Mercado de Serviços de Energia

A dinamização dos mercados de serviços de energia é fator essencial para que o consumidor passe da postura passiva para uma postura ativa no setor de energia. O consumidor é somente um dos elos da cadeia dos mercados de serviços de energia e, conseqüentemente, da difusão da dos serviços de eficiência e geração distribuída. A disponibilidade de oferta de serviços de energia acessível a um espectro grande de consumidores é o que possibilitará a difusão em larga escala da difusão dessa postura mais ativa em relação aos sistemas energéticos. Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), em seu relatório, *Energy Efficiency Market Report 2013*, ratifica que a estruturação do mercado de eficiência é fundamental para o aumento da eficiência. Esta visão utilizada para o mercado de eficiência pode ser expandida e utilizada também para a Oferta Descentralizada de Energia, pois há diversas interseções na lógica de decisão entre para investimentos em eficiência energética e investimentos em energia descentralizada. A seguir segue a estrutura deste mercado elaborada pela AIE, aqui adaptada para a inclusão da Produção Descentralizada de Energia.



Fonte: Traduzido de Energy Efficiency Market Report 2013, IEA

2.2 Padrão de mobilidade urbana atual e futuro

As perspectivas de crescimento da população mundial até 2050 - evoluindo de seis bilhões de pessoas no ano 2000 para cerca de nove bilhões no final do horizonte -, aliado à expectativa de crescimento de renda ao longo do tempo tem implicações profundas para os cenários futuros de mobilidade. Estima-se que, a depender das condições gerais de infraestrutura e dos preços de energia, a mobilidade mundial (passageiro-quilômetro)

deverá crescer entre três ou quatro vezes em relação aos valores observados em 2000 (OECD/ITF, 2011), aumento concentrado principalmente em países que não fazem parte da OCDE, tais como Brasil, China e Índia.

Nessa estimativa, implícita está a premissa de que a evolução da mobilidade nestes países emergentes tende a seguir padrões similares aos observados em países OCDE, onde se observa que, a elevados níveis de renda per capita se associam correspondentes demandas por serviço de transporte de alta qualidade, incluindo a posse e uso do automóvel. Há de se destacar, contudo, a existência de incerteza quanto ao patamar em que se estabelece esse nível de mobilidade urbana a ser atingido no longo prazo, dado se constatar que esses patamares diferem mesmo entre os países da OCDE, ainda que se observe determinado grau de convergência entre eles.

Para exemplificar essa incerteza, destaca-se um dos cenários de evolução de mobilidade mundial no longo prazo, exibido na Figura 5. Nesse caso, a principal diferença entre o cenário de baixa mobilidade e alta mobilidade é o nível de saturação em economias emergentes. No cenário de baixa mobilidade, o nível de saturação de posse de automóveis está mais próximo do Japão, alcançando 306 no índice de atividade de passageiros, enquanto o cenário de alta considera níveis de saturação semelhantes ao europeu, atingindo 414 no mesmo índice (OECD/ITF 2011). Como se pode observar, em número-índice, a diferença entre os dois cenários chega a cerca de 35%.

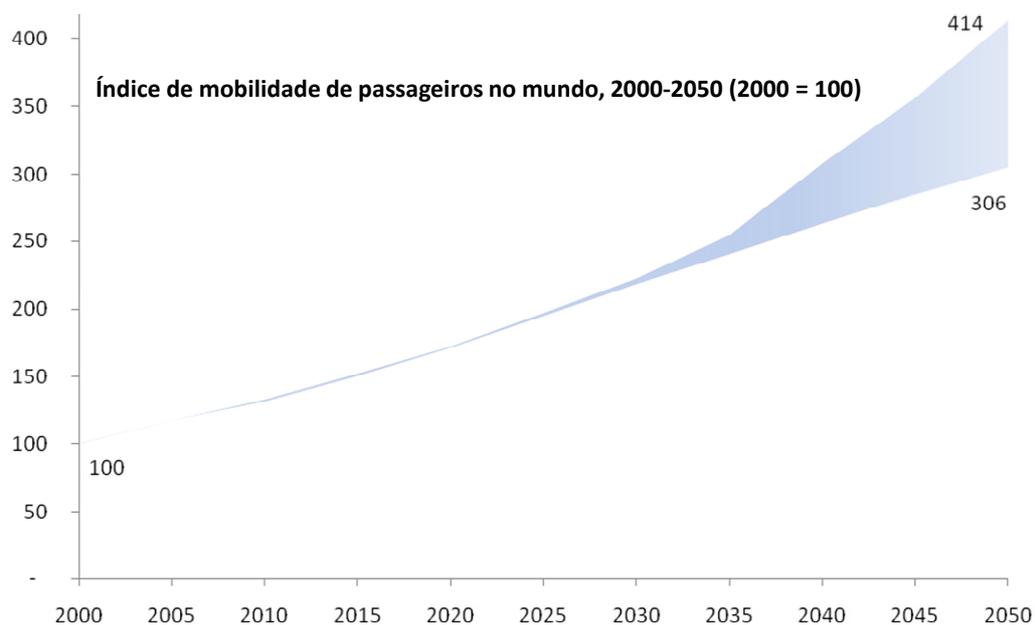


Figura 5- Cenário de evolução do Índice de Atividade Global de Transporte de Passageiros: 2000 - 2050

Fonte: OECD/ITF (2011)

A composição dos modais de transporte utilizados para suprir a demanda crescente por mobilidade terá papel crucial para os níveis de consumo de energia e emissões de GEE ao longo do tempo. Neste ponto, observa-se que nos cenários de longo prazo publicados pela Agência Internacional de Energia (IEA) há em comum o fato das vendas de veículos leves

apresentarem tendência de crescimento, diferindo, porém, quanto ao perfil tecnológico dos veículos (Figura 6). Este crescimento resulta em quase triplicação da frota mundial de veículos leves até 2050 (IEA, 2012) e preponderância dos automóveis na distribuição da atividade de passageiros (p-km) ao longo do tempo (Figura 7).

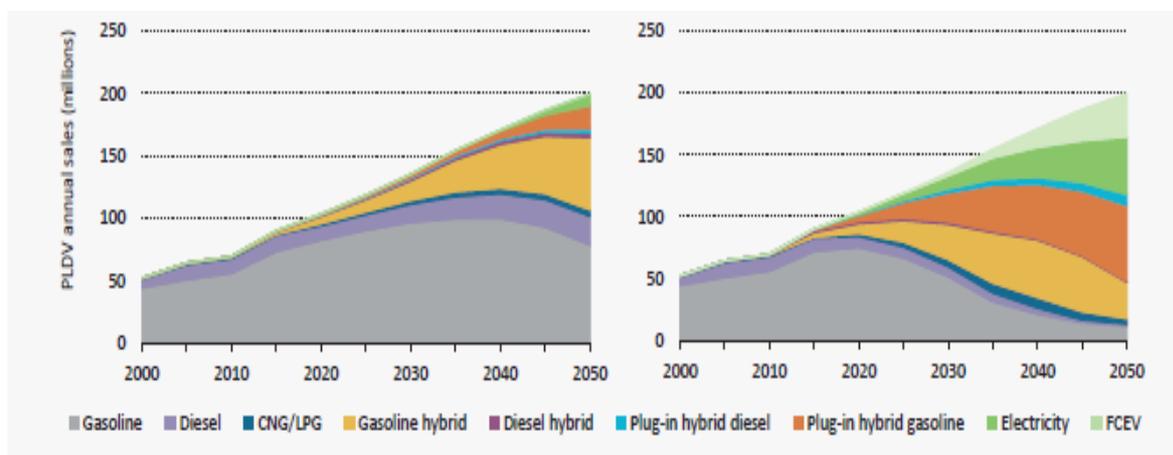


Figura 6- Cenários de evolução de vendas mundiais de veículos leves até 2050.

Nota: No cenário apresentado na figura à esquerda, denominado 4DS (que projeta no longo prazo um aumento de 4°C na temperatura global), os países OCDE continuam avançando na aplicação de padrões de eficiência energética até 2025, tanto para veículos leves, quanto para pesados. A penetração de veículos híbridos “plug in” e elétricos à bateria no mercado ainda é lenta. Os veículos híbridos elétricos apresentam inicialmente penetração lenta e ganham maior espaço nas vendas a partir de meados da década de 2030. No cenário apresentado na figura à direita, denominado “improve case” (cenário centrado em ganhos tecnológicos que reduzam as emissões de GEE), os veículos elétricos começam a substituir as vendas de veículos a combustão interna a partir de meados de 2020 e os veículos a célula combustível a partir da década de 2040.

Fonte: IEA (2012)

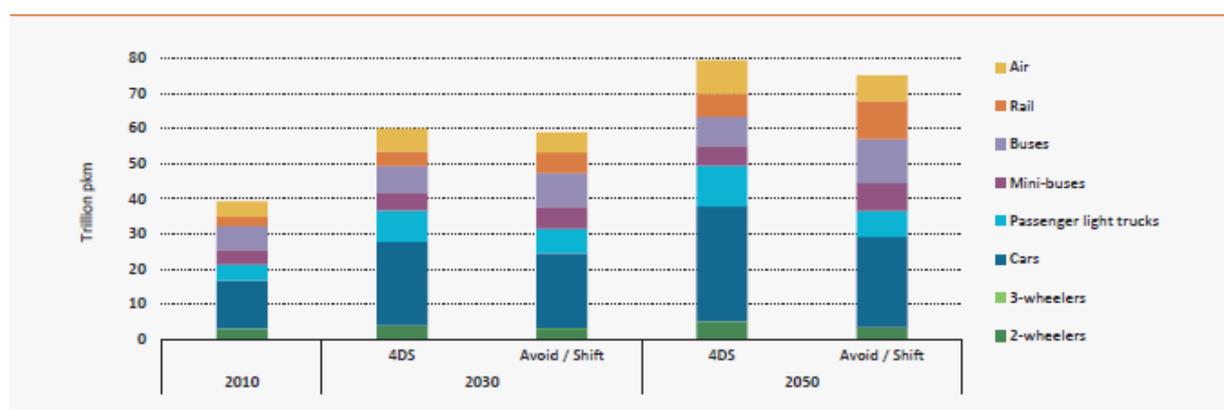


Figura 7- Cenários de evolução de mobilidade por tipo até 2050.

Nota: O cenário 4DS projeta no longo prazo um aumento de 4°C na temperatura e leva em consideração políticas existentes e ações realizadas por país para limitar as emissões de GEE, além de esforços incrementais para melhorar a eficiência energética. É considerado um cenário ambicioso que requer mudanças significativas em política e tecnologia.

Fonte: IEA (2012)

Assim, o padrão de mobilidade centrado na posse e uso do automóvel repercute em um aumento da participação dos veículos leves na distribuição modal do transporte de passageiros (p-km) no grupo de países emergentes para patamares próximos dos verificados atualmente nos países da OCDE, como se pode observar na Figura 8. Já no caso dos países OCDE, em que a posse do automóvel já atingiu níveis relativamente elevados, a tendência nas próximas décadas é uma redução da participação do uso de veículos leves e aumento da participação do transporte aeroviário na matriz de transporte de passageiros (p-km) (OECD/ITF, 2011).

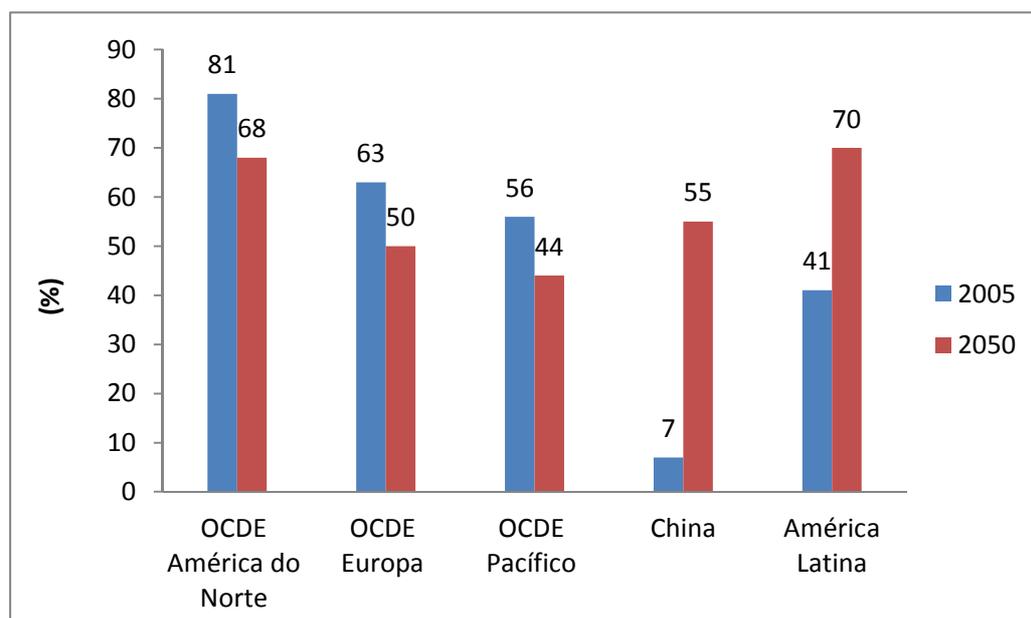


Figura 8- Participação de veículos leves na distribuição modal do transporte de passageiros (2005 e 2050).

Fonte: OECD/ITF (2011)

No Brasil, assim como em outros países emergentes, há o desafio de se evitar o aumento da mobilidade de passageiros demasiadamente centrada no uso do automóvel, tendo em vista um aumento populacional da ordem de 25 milhões de habitantes entre 2013-2050 e crescimento da renda per capita para cerca de US\$ 38 mil/habitante em 2050, nível compatível com o observado em países tais como Canadá, Austrália, Alemanha e Reino Unido. Os anos recentes têm exibido acentuado crescimento das vendas de veículos leves no Brasil, como resultado da melhoria do nível de renda da população, condições favoráveis de crédito e incentivos fiscais, entre outros. Ainda que, recentemente, as vendas de veículos leves venham apresentando taxas de crescimento superiores ao PIB nacional, a taxa de motorização da população, que foi igual a 5,3 habitantes por autoveículo em 2012, ainda mostra valor bastante abaixo daqueles observados em países desenvolvidos (ANFAVEA, 2014). Tal fato sugere a existência de espaço para aumentar esse

indicador no longo prazo no Brasil, assumindo-se manter os padrões de consumo no longo prazo.

Assim, no cenário brasileiro de longo prazo adotado no PNE 2050, os baixos níveis de motorização e a expectativa de aumento de renda resultam em um cenário em que a frota de veículos leves atinge 129,5 milhões de unidades em 2050, valor que inclui veículos individuais e comerciais leves. Desta forma, a taxa de motorização alcança aproximadamente 1,6 habitante/auto veículo em 2050, patamar equivalente observado atualmente em países tais como: (i) Estados Unidos: 1,2; (ii) Reino Unido: 1,7; (iii) Japão:1,7 (ANFAVEA, 2014). Logo, há uma estimativa de convergência do padrão de motorização (posse) com países da OCDE.

Esta consideração é importante na medida em que a distribuição modal de transporte de passageiros apresenta impacto pronunciado no consumo energético. O setor de transportes brasileiro respondeu por aproximadamente 31% da demanda total de energia no país em 2010 e estima-se que o transporte de passageiros tenha sido responsável por cerca de 58% deste total (Figura 9), atendido preponderantemente através do consumo de gasolina e etanol Figura 10). Tal matriz energética observada no transporte de passageiros reflete fundamentalmente a preponderância do transporte individual através de veículos leves (Figura 11), baseados fundamentalmente no uso do motor de combustão interna.

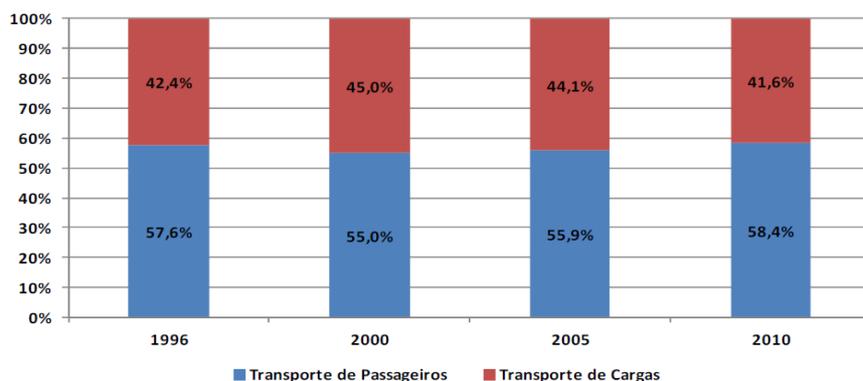


Figura 9- Participação, por tipo de transporte, na demanda energética do setor brasileiro de transportes.

Fonte: EPE (2012)

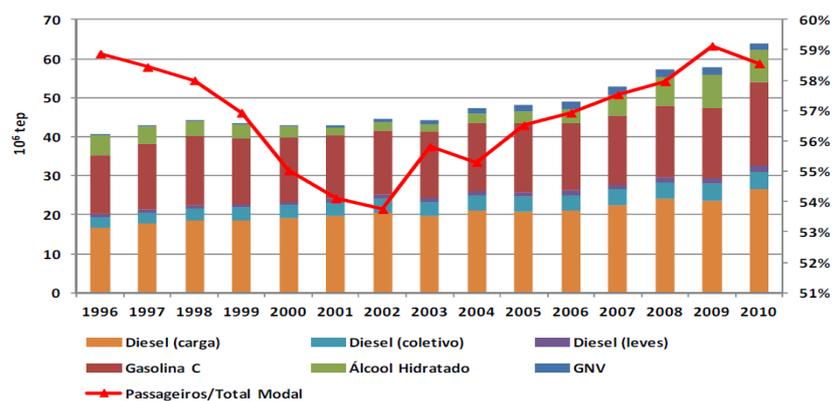


Figura 10- Demanda de energia, por fonte, no modal rodoviário e participação do transporte de passageiros na demanda energética do modal.

Fonte: EPE (2012)

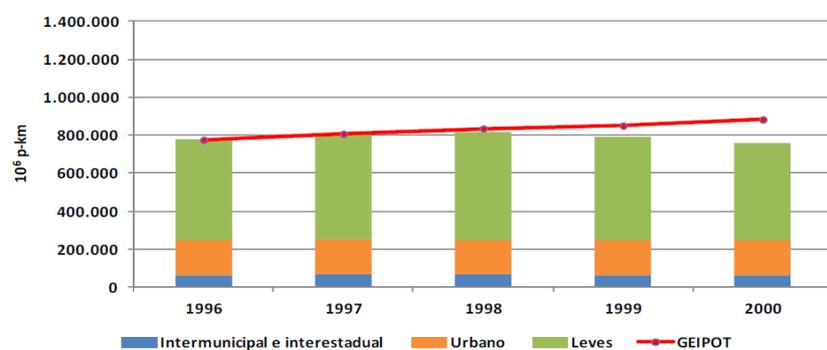


Figura 11- Evolução do nível de atividade (passageiro-km) no transporte de passageiros.

Fonte: EPE (2012)

Ao se analisar um pouco mais as características da mobilidade urbana brasileira, um dado importante é que, nos municípios brasileiros com mais de 60 mil habitantes, os meios de transporte individual motorizado (moto e automóvel) representam, em média, 27% das viagens realizadas e o transporte coletivo, 19%. Contudo, destaca-se que a maior parte das viagens (55%) é realizada por meio não motorizado (a pé e por bicicleta), segundo ANTP (2012). Esta distribuição modal varia consideravelmente conforme o porte do município, com as viagens motorizadas (de automóvel, moto ou transporte coletivo) ganhando grande participação com o aumento do porte das cidades (Figura 12).

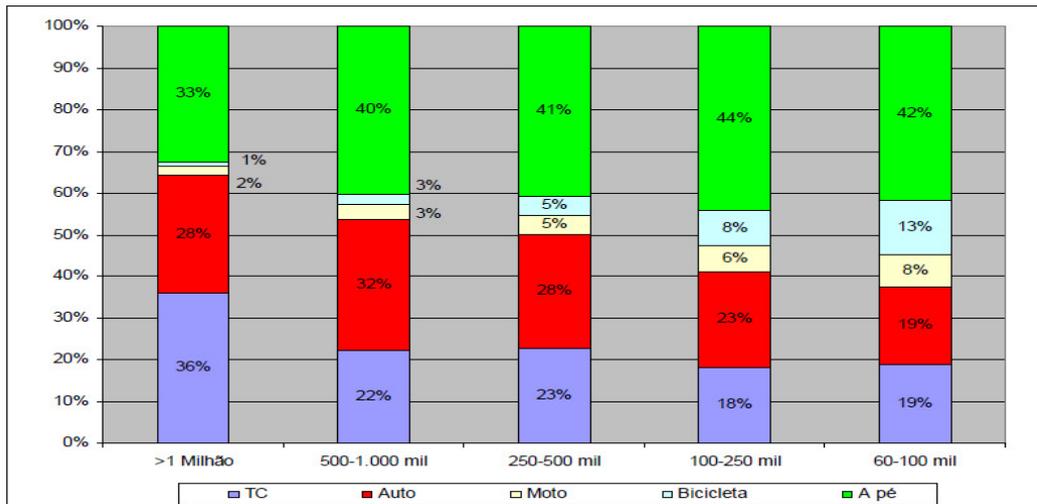


Figura 12- Divisão modal por porte de município - 2011.
 Fonte: ANTP (2012)

Especificamente no tocante ao futuro da mobilidade urbana no Brasil, cabe destacar dois aspectos importantes para o PNE 2050: a crescente inclusão de um quantitativo maior de consumidores com acesso à aquisição de veículos e a crescente convergência de padrões de consumo com os observados nos países desenvolvidos. Tal fato pode ser visualizado diariamente nas grandes cidades, onde o congestionamento é responsável por perdas econômicas e sociais. Esta constatação traz indagações, inclusive, sobre os limites sustentáveis de expansão de uso da frota nas cidades, em seus aspectos econômicos, ambientais e sociais.

Cabe destacar que a questão da mobilidade urbana constitui-se em um tema de natureza mais ampla, que se relaciona a aspectos tais como à melhoria das condições de vida nas cidades que cobre aspectos sociais, econômicos e ambientais, todos inter-relacionados. O reconhecimento desta questão implicou na inclusão da política urbana na Constituição Federal de 1988 (Artigo 182) e desdobramentos adicionais como a criação do Ministério das Cidades em 2003 e a publicação da lei nº 12.587/2.012, que institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, visando à integração dos diferentes modos de transportes e melhoria de mobilidade de pessoas e cargas nos municípios brasileiros. A referida lei ainda traz a tona o desafio de se atenuar as externalidades negativas associadas ao uso intensivo do automóvel, tais como congestionamento e poluição veicular do ar, esta última apontada como potencial agente cancerígeno em recente relatório publicado pela Organização Mundial de Saúde.

Dentre essas diretrizes, por exemplo, está prevista a utilização de instrumentos de gestão de transporte e mobilidade urbana que contemplem: (i) restrição de acesso motorizado e estabelecimento de padrões de emissões em regiões da cidade seja ele para o transporte de passageiros quanto de carga em horários e locais pré-determinados; (ii) tributação sobre modos de transporte devido ao uso de infraestrutura urbana para desincentivar determinados padrões de mobilidade; (iii) criação de zonas de circulação exclusiva para deslocamento não motorizado; (iv) estipulação de padrões de emissão de poluentes para

locais e horários determinados; (v) dedicação de espaço exclusivo nas vias públicas para os serviços de transporte público coletivo e modos de transporte não motorizados, entre outros. A implementação desta política em nível municipal dependerá, obviamente, das especificidades locais e terão impacto decisivo no consumo de energia futuro do país devido ao transporte de passageiros.

Assim, no contexto de longo prazo, cenários de mobilidade urbana deverão endereçar questões tais como:

- Qual o potencial existente para a expansão de alternativas de mobilidade urbana em cidades brasileiras tais como, por exemplo: viagens não motorizadas (ciclovias e viagens a pé), corredores de ônibus (BRT's e BRS's), trens/metrô, tele-trabalho?
- Como a gestão de tráfego pode contribuir para melhorar os padrões de mobilidade urbana nas cidades brasileiras, como por exemplo, restrição de estacionamento e gestão de horários de trabalho etc.?
- Qual cenário de penetração possível para das alternativas de mobilidade urbana nas cidades brasileiras no longo prazo?

A resposta a essas perguntas dependerá, fundamentalmente, dentre outros fatores, da efetividade e abrangência de aplicação dos instrumentos de gestão do sistema de transporte e da mobilidade urbana dispostos da citada Lei nº 12.587/2012 pelos municípios, além de outras iniciativas adicionais que possam surgir ao longo do horizonte. Assim, essa avaliação deverá considerar programas de investimentos em mobilidade urbana, incluindo a entrada de sistemas de alta e média capacidade nos centros urbanos tais como BRT's, BRS's, Veículos Leves sobre Trilhos (VLT's), Monotrilhos, Metrô e trens urbanos, que alteram a oferta de transportes de passageiros e a qualidade dos serviços prestados, resultando na migração de passageiros de outros modais, principalmente do automóvel.

2.3 A Intermodalidade do transporte de cargas: elemento fundamental de competitividade

Dispor de infraestrutura adequada é um elemento central para a competitividade das atividades econômicas de um país. Dentro desse quesito, a logística de transportes desempenha papel importante para o escoamento da produção agrícola e industrial tanto para o mercado doméstico quanto para o comércio exterior.

Em estudo realizado pelo Banco Mundial em 2002, estimavam-se os custos logísticos no Brasil em cerca de 20% do PIB, enquanto para países europeus e da América do Norte esse percentual situava-se na faixa de 10 a 12%. Neste mesmo estudo, os custos logísticos devido ao transporte eram estimado em cerca de 32% (Guasch, 2002 *apud* Ministério dos Transportes, 2012). Ainda que temporalmente defasado, tal estudo mostra a distância existente entre a competitividade logística comparativa o que afeta, por certo, o resultado da economia brasileira. A recente constatação das dificuldades de competitividade

nacional, em parte creditadas a deficiências de infraestrutura, sinaliza que o quadro atual não se alterou muito em relação ao estudo realizado pelo Banco Mundial à época.

Quando comparada a países com dimensões territoriais compatíveis, a estrutura modal de transporte de cargas no Brasil apresenta significativa desproporção no que tange à participação do modal rodoviário, conforme se pode observar na Figura 13.

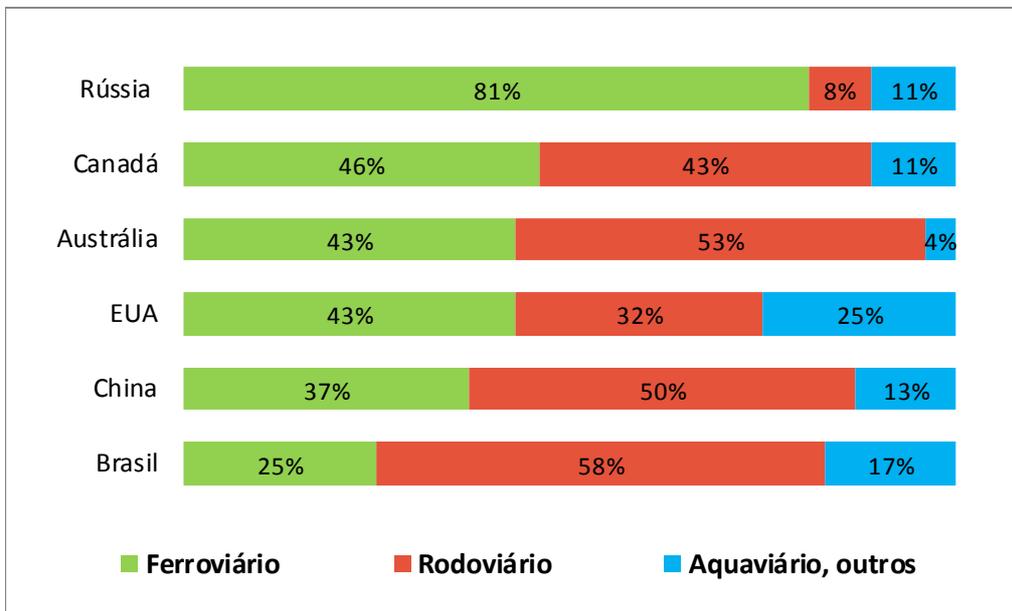


Figura 13- Comparação mundial da matriz de transportes para países selecionados.
Fonte: Ministério dos Transportes (2012)

A predominância do modal rodoviário, por sua vez, tem implicações tais como menor eficiência energética por tonelada transportada e maior nível de emissões de poluentes atmosféricos (CO₂ e NO_x), além de custos de frete superiores às alternativas de transporte por meio hidroviário e ferroviário (Ferrupato, 2012; Ministério dos Transportes, 2012). Tal comportamento pode ser constatado a partir da inspeção da Figura 14.

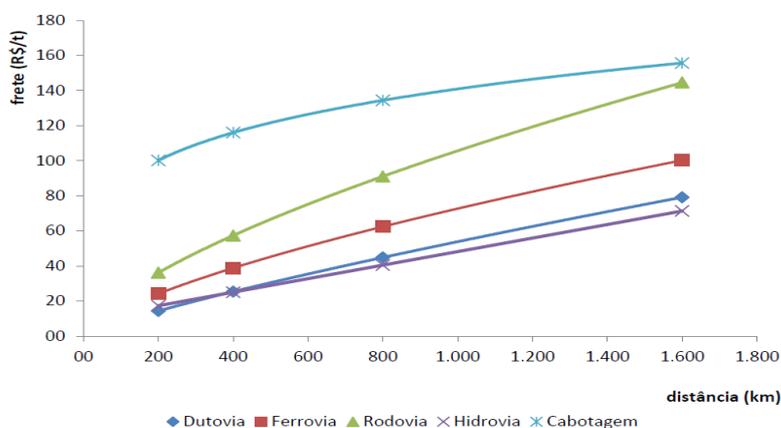


Figura 14- Comparação de Tarifas de Transporte de Carga por Tipo de Modal x Distância
Fonte: Ministério dos Transportes (2012)

Com vistas a alterar esse quadro, o governo federal retomou o planejamento do setor através da elaboração do Plano Nacional de Logística em Transportes (PNLT), visando tornar a matriz de transporte de cargas mais equilibrada, considerando objetivos tais como (Ministério dos Transportes, 2011): aumento da eficiência produtiva, indução ao desenvolvimento de áreas de expansão de fronteira agrícola e mineral, redução de desigualdades regionais, integração regional sul-americana, priorização aos investimentos em transportes ferroviário e hidroviário e redução de emissão de gases poluentes na atmosfera.

Como resultado dessas premissas, a evolução projetada da matriz de transporte de cargas brasileira até 2031 prevê a redução substancial da participação do modal rodoviário nesta matriz, como se pode ver na Figura 15. A alteração da matriz modal de transportes apresenta benefícios tais como a redução de consumo de combustíveis (maior eficiência energética sistêmica), além de redução de poluentes locais e CO₂. No horizonte pós-2031, surgem questões no tocante às tendências de distribuição modal e se seria possível manter essa distribuição modal ou se existe outro equilíbrio possível.

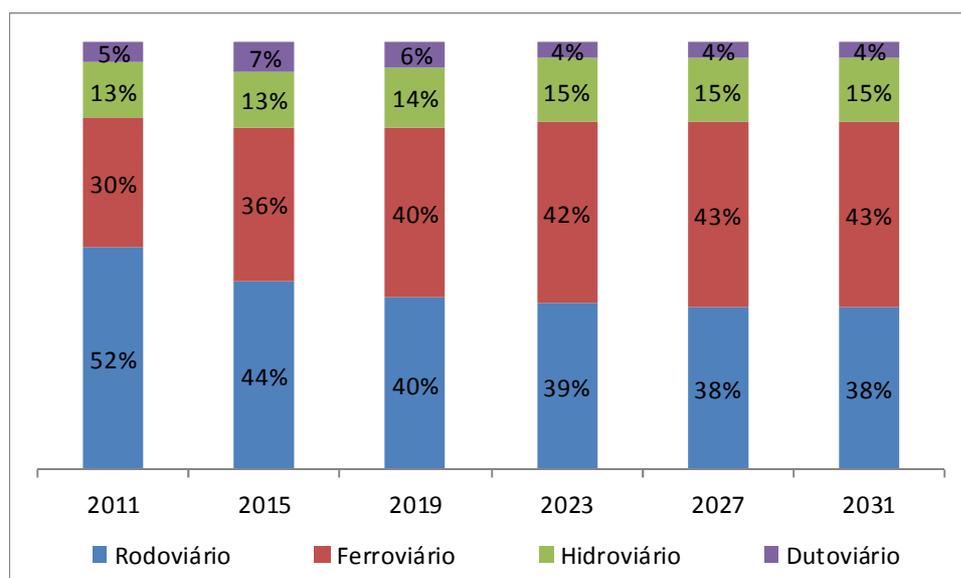


Figura 15- Evolução projetada do PNLT da matriz brasileira de transporte de cargas até 2031

Fonte: Ministério dos Transportes (2012)

A distribuição modal de cargas tem profundo impacto no consumo energético do setor de transportes brasileiro: quanto a isso, este setor responde por aproximadamente 32% da demanda total de energia no país, colocando-o como a segunda atividade maior consumidora de energia no país, atrás apenas do setor industrial. Dentro do setor de transportes, estima-se que a atividade de transporte de cargas responda por cerca de 42%

deste total (EPE, 2012), preponderantemente baseada no consumo de óleo diesel no modal rodoviário.

Ademais, além desta questão estrutural, neste horizonte tecnologias baseadas no consumo de GNV e outros energéticos podem influenciar sobremaneira a matriz energética do setor de transportes.

Nesse contexto, o seguinte conjunto de questões com impacto sobre o consumo energético devido ao transporte de cargas:

- Que matriz modal de transporte de cargas representa a alternativa equilibrada e possível para o Brasil até 2050 e qual o tamanho do esforço necessário a ser realizado para que essa matriz se concretize?
- Quais as perspectivas tecnológicas e de ganhos futuros de eficiência energética em tecnologias de transporte de cargas (caminhões, trens, navios, aviação etc.)?
- Quais cenários possíveis para a participação de tecnologias como diesel-GNV, híbridos (diesel-GNV/elétrico) e hidrogênio, por exemplo?

2.4 Inclusão de novos consumidores vs padrão de consumo

No longo prazo, o Brasil terá o desafio de incluir novos 30 milhões de habitantes e 35 milhões de novos domicílios. Além da expansão quantitativa, o cenário do PNE 2050 estima que o crescimento da renda per capita da população brasileira a colocará próximo aos patamares atuais da Alemanha e Holanda (Figura 16).

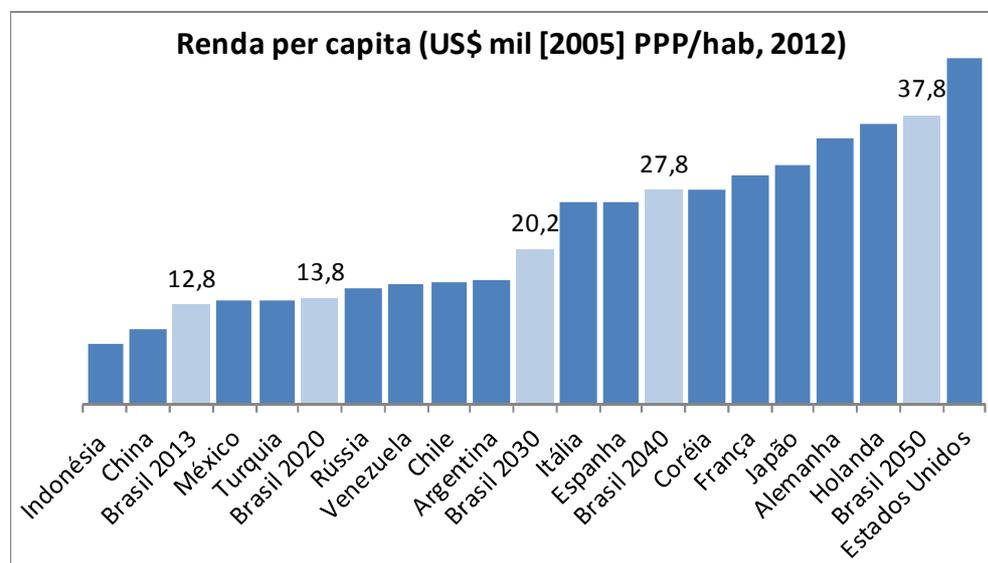


Figura 16- Evolução projetada da renda per capita brasileira e comparação internacional.
Fonte: IEA, 2014: Key World Energy Statistics 2014 e EPE (2015). Elaboração EPE.

Este fato leva, basicamente, a duas implicações: aumento da base de consumidores, além do nível de renda per capita da população, tanto elevando este patamar de renda dentro de uma determinada classe quanto gerando mobilidade social inter-classes (ou seja, mudança de classe de renda, ainda que este não seja o principal movimento no total).

Como resultado desses efeitos, a demanda de bens e serviços da economia também deverá apresentar evolução ao longo do horizonte. Também no consumo desses bens e serviços, o nível geral de atendimento da população brasileira ainda se mostra bastante modesto comparativamente aos países ditos desenvolvidos. A título de ilustração, na Figura 17 é mostrada a evolução prevista do consumo brasileiro per capita de cimento no longo prazo e sua comparação internacional. Nesse caso específico, a necessidade de desenvolvimento de infraestrutura justifica a trajetória proposta. No longo prazo, esse comportamento (elevação do consumo per capita de bens e serviços) também é esperado para outros insumos tais como aço, resinas e papel, por exemplo. Deve-se destacar que a demanda por materiais poderá ser influenciada pelos seguintes efeitos: aumento da eficiência no uso destes materiais, substituição entre materiais existentes (por exemplo, aço por plástico) e surgimento de novos materiais (este efeito, bastante provável no longo prazo).

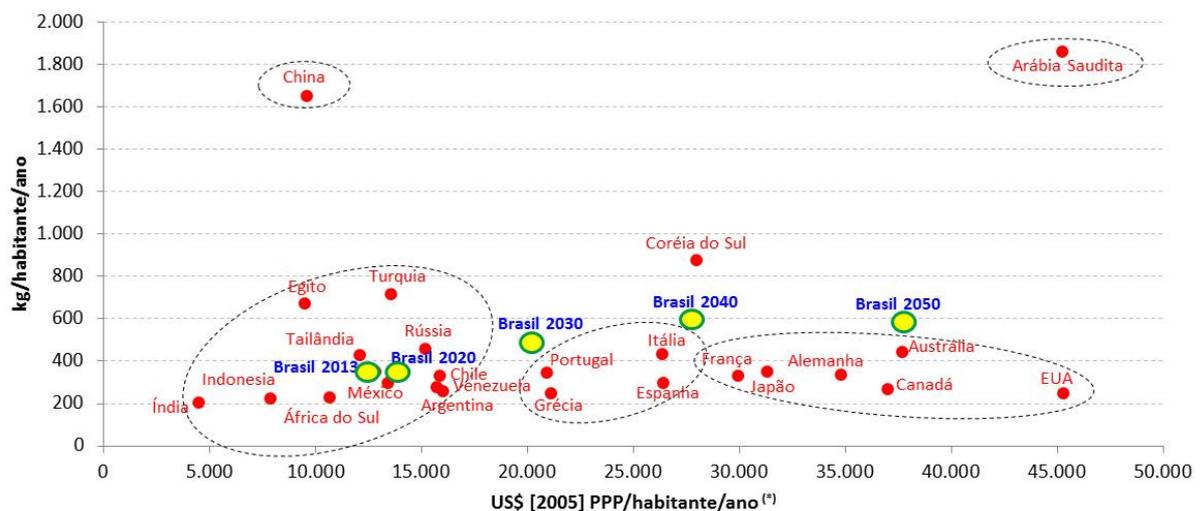


Figura 17- Evolução projetada do consumo per capita de cimento e comparação internacional.
 Fonte: Elaboração EPE.

Um aspecto que merece destaque é que o consumo brasileiro per capita de eletricidade mostra-se em patamares relativamente reduzidos comparativamente países com níveis de renda per capita similares àqueles estimados para o Brasil em 2050 (Figura 18).

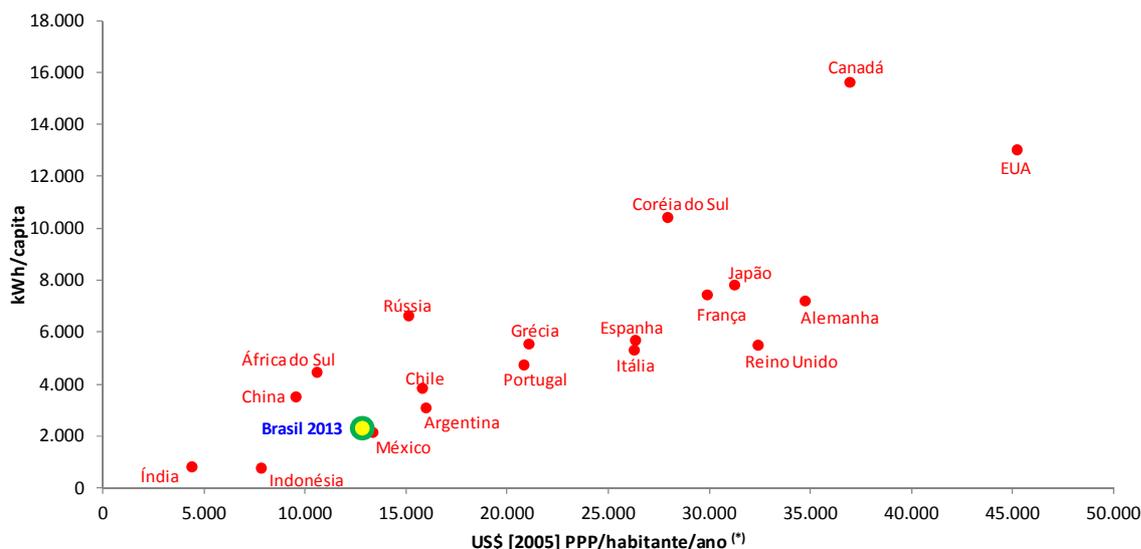


Figura 18- Panorama atual do consumo per capita de eletricidade e comparação internacional.

Fonte: IEA, 2013: *Key World Energy Statistics 2013* e EPE (2013). Elaboração EPE.

Outro exemplo relevante para as projeções de demanda de energia no longo prazo refere-se à taxa de motorização da população em geral. Comparativamente, o indicador brasileiro “habitante por veículo” mostra-se bastante elevado em relação aos países desenvolvidos que contam, inclusive, com infraestrutura de transporte público bem desenvolvido (Figura 19). Para este conjunto de países, a evolução recente deste indicador parece sugerir certo grau de saturação, mas uma questão que se coloca é se os condicionantes que levaram à situação observada atualmente neste conjunto de países se mantêm válidos no longo prazo para o Brasil. Em outras palavras, é verdadeiro que o país, ao atingir nível de renda per capita similar ao valor atual observado para esses países, também trilhará a mesma trajetória de motorização.

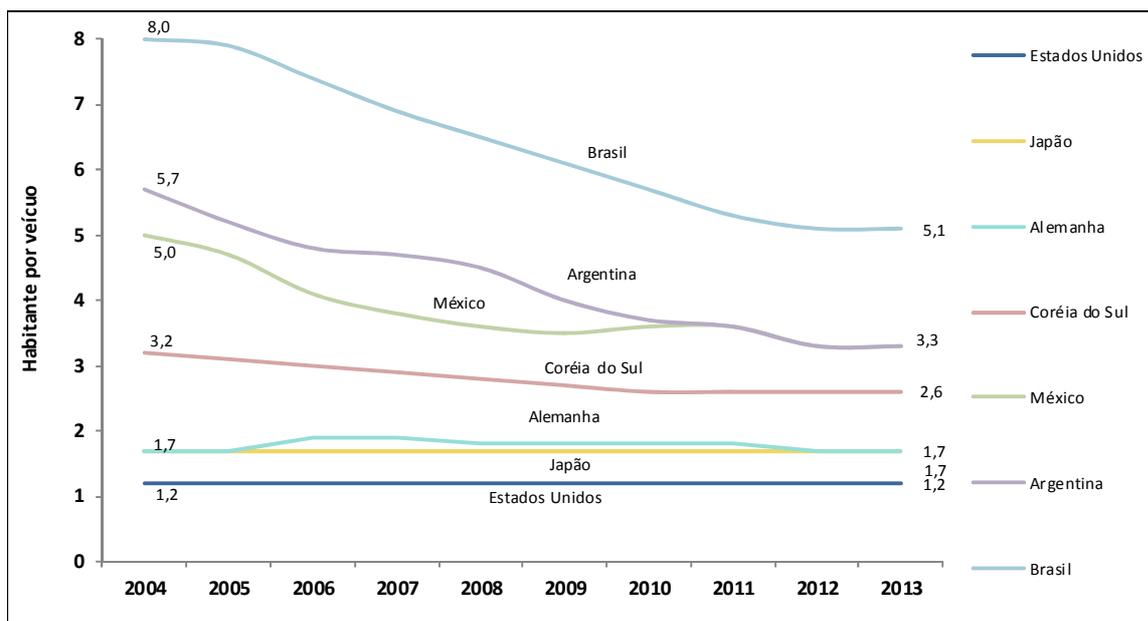


Figura 19- Evolução recente da taxa de motorização brasileira e mundial.
 Fonte: Elaboração EPE a partir de ANFAVEA (2013).

Além dessas incertezas relacionadas ao padrão de demanda por materiais, em especial no campo da demanda de energia, fatores relacionados a hábitos de consumo tem implicação fundamental sobre o nível de solicitação que se será necessário ser atendido pelo sistema energético brasileiro futuro. Resgatando o exemplo da Figura 4, a depender do conjunto “equipamento-usuário”, situações diferentes resultarão, com seu respectivo impacto sobre a demanda final de energia. Além disso, o possível impacto de “efeito bumerangue” na demanda pode mesmo reduzir ou mesmo neutralizar possíveis efeito de eficiência energética ao longo do horizonte de longo prazo.

2.5 Novas tecnologias na indústria e no setor de transportes

No Brasil, os anos recentes têm exibido acentuado crescimento das vendas de veículos leves, como resultado da melhoria do nível de renda da população, condições favoráveis de crédito e incentivos fiscais, entre outros. Ainda que estas vendas venham apresentando taxas de crescimento superiores ao PIB nacional, a taxa de motorização da população, que foi igual a 5,3 habitantes por automóvel em 2012, ainda mostra valor bastante abaixo daqueles observados em países desenvolvidos (ANFAVEA, 2014): (i) Estados Unidos: 1,2; (ii) Reino Unido: 1,7; (iii) Japão: 1,7; (iv) Suécia: 1,9.

Por outro lado, evidencia-se o crescente problema associado ao crescimento de frota de veículos sobre o trânsito nas grandes cidades, causando engarrafamentos, que resultam em prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Esses fatos, somados aos compromissos de diversos países em reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEE), às incertezas

quanto à evolução do preço do petróleo e à segurança energética, vêm criando um ambiente propício a transformações do sistema de transportes que permita seu crescimento de forma mais sustentável.

Além da discussão sobre a intensificação do incentivo ao uso de transporte de massa de qualidade e ao uso de biocombustíveis, também a eletrificação do sistema de transporte tem sido discutida como alternativa para mitigação dos danos decorrentes da poluição causada pelo congestionamento do trânsito, o que poderia ser aplicado, por exemplo, às grandes cidades brasileiras. Nesse sentido, contribui também o maior nível de eficiência energética associado ao uso da tração elétrica quando comparada ao motor de combustão interna (EPE, 2012).

Contudo, a inserção de novas tecnologias e combustíveis enfrenta grandes barreiras na maioria dos países. Essas dificuldades estão fortemente atreladas à existência de uma extensa cadeia petrolífera, profundamente enraizada na economia mundial e cuja principal razão de ser é o motor a combustão interna. Alternativas tecnológicas também incluem: (i) uso de biocombustíveis; (ii) hibridização/eletrificação; (iii) dieselização; (iv) uso de hidrogênio.

Como resultado, novas tecnologias que modifiquem o atual sistema de propulsão dos veículos representam transformações industriais e econômicas paradigmáticas no setor de transportes. De fato, a propulsão elétrica em veículos requer alterações significativas em cadeias industriais, nichos de mercado, estratégias corporativas e mudanças legislativas e comportamentais que variam por país.

No caso brasileiro, a justificativa da dependência fóssil é menos importante, por conta da ampla participação de fontes renováveis em sua matriz energética, da expressiva participação nas vendas totais de veículos nacionais bicombustíveis, que utilizam (em qualquer proporção) etanol e gasolina, e do menor custo mundial de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. Ademais, os biocombustíveis contribuem para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Ademais, nesse horizonte de longo prazo, o cenário é de autossuficiência do país quanto ao petróleo (embora exista importação e exportação de derivados) com perspectivas de produção crescente e expressiva produção de biomassa. Portanto, compreender os efeitos da maior inserção dos veículos elétricos no Brasil requer uma análise das vantagens, dos desafios e das barreiras à luz das peculiaridades e do contexto vigente no país, dado a constatação da grande diferença entre as motivações subjacentes à introdução do veículo elétrico no mercado mundial e no Brasil.

Os ganhos de eficiência energética dos veículos leves - estimados em 1,7% a.a. entre 2005 e 2008, segundo IEA (2012) - tem contribuído para desacelerar o crescimento da demanda de combustíveis e cenários elaborados pela “*Global Fuel Economy Initiative*” afirmam ser possível aumentar essa taxa para 2,7% a.a., mediante esforços adicionais. Contudo, esses ganhos podem ter sua contribuição reduzida devido ao aumento das vendas de veículos de maior porte, que apresentam maior consumo de combustível por quilômetro (IEA, 2012). Nesse sentido, essa análise no longo prazo não poderá se furtar de considerar

condicionantes da escolha de aquisição de veículos individuais, quer sejam: espaço interno, segurança, conforto interno, “*design*”, volume do bagageiro e potência do motor, entre outros.

Outro aspecto, não menos importante neste contexto refere-se à necessidade de infraestrutura específica para abastecimento de veículos elétricos. Nesse caso, a estrutura de recarga compreende a implantação e padronização de postos específicos para este fim, regras de acesso, limite de tempo de recarga, procedimentos regulatórios e políticas para o comércio no mercado de distribuição. A padronização da interface do veículo com a rede de eletricidade deverá ocorrer, de preferência, de forma adaptável com a padronização internacional. Para que ocorra a disseminação dos veículos elétricos também é necessário que exista uma infraestrutura de recarga elétrica adequada.

Nesse contexto, colocam-se o seguinte conjunto de questões acerca das tendências tecnológicas no transporte de passageiros:

- Qual participação das diversas tecnologias de veículos leves Brasil no longo prazo: eletrificação, dieselização, biocombustíveis e hidrogênio?
- Qual a possível motivação do país para investimento em eletrificação da sua frota de veículos? Qual o cenário de competitividade é visualizado para esta eletrificação?
- Que cenários se vislumbram para a eletrificação do transporte individual e coletivo?
- Que aspectos são necessários para incentivar a expansão de infraestrutura de recarga necessária?
- Quais as perspectivas tecnológicas para o transporte individual e de massa nestas cidades: tipo, porte de veículos e eficiência energética?
- Quais perspectivas de eletrificação, dieselização, uso de biocombustíveis e uso de hidrogênio no transporte individual e de massa nas cidades brasileiras?

No que tange à indústria, além da incerteza relacionada ao perfil de expansão da atividade industrial brasileira no longo prazo, também cabe mencionar as alternativas tecnológicas que podem se inserir neste processo ao longo do tempo. Nesse sentido, pode-se mencionar a penetração de fontes renováveis de energia tanto para geração de energia quanto para uso como matéria prima. Apesar de o nível de competitividade destas ser reduzido atualmente, no longo prazo, as mesmas poderão adquirir importância. Exemplos incluem a penetração de carvão vegetal na siderurgia brasileira, o uso de lenha em suas formas concentradas (briquetes e *pellets*), além de matérias primas alternativas para produção de produtos petroquímicos. No caso especial do carvão vegetal, se seu uso amplo como redutor siderúrgico mostra certas limitações, não se pode ignorar a competitiva produtividade brasileira de produção de biomassa, onde o Brasil é um dos líderes mundiais.

2.6 Futuro das edificações brasileiras e impacto no consumo de energia

O consumo energético em edificações³ responde por parcela importante do consumo de energia no Brasil: aproximadamente 14% do consumo de energia total e 47% do consumo de eletricidade (EPE, 2012). Este grupamento de consumidores tem a expectativa de passar por grandes transformações no longo prazo, incluindo mudanças no padrão construtivo das edificações (alterações na chamada “envoltória”) e dos equipamentos que farão parte dessas edificações no longo prazo, tanto pela disponibilidade de novas tecnologias quanto pelo padrão de posse de equipamentos, em especial, nas residências brasileiras.

Mundialmente, as edificações respondem por aproximadamente 32% da demanda global de energia e várias iniciativas para reduzir o consumo de energia nestes consumidores tem sido conduzidas, incluindo o estabelecimento de padrões mínimos de desempenho para edificações e o estabelecimento sistemas de certificação voluntária (IEA, 2012). No primeiro caso, exemplificam-se as diretivas europeias *European Energy Performance in Buildings Directive* (EPBD), enquanto no segundo caso, pode-se citar a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). Cabe também destacar o estabelecimento de padrões mínimos de desempenho energético de equipamentos de uso final, onde se podem exemplificar as regulamentações posteriores decorrentes da lei nº 10.295/2.001, conhecida com a “lei de eficiência energética”. Iniciativas adicionais no Brasil nesse sentido incluem, por exemplo, a atuação do PROCEL Edifica, além da certificação de edificações comerciais, de serviços e públicos, abrangida pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

Adicionalmente, estudos específicos (ARUP, 2013) tem apontado cenários que contemplam edificações autossuficientes energeticamente, com a utilização de novos materiais, estruturas adaptáveis às condições do ambiente e às preferências do consumidor, modularidade na construção e penetração de equipamentos mais eficientes, entre outras. Sob o ponto de vista de potencial de economia de energia, estima-se este ser de 30% para construções existentes submetidas à *retrofit* e aproximadamente 50% para novas edificações, ao se utilizar tecnologias energeticamente eficientes desde a concepção do projeto (PROCEL Edifica, 2013).

Outra questão igualmente relevante para o futuro energético das edificações brasileiras refere-se aos equipamentos que farão parte das mesmas. Essa questão inclui a quantidade de equipamentos (posse) e padrão de consumo (uso) desses equipamentos. Influenciam esses parâmetros, fatores tais como a renda per capita, penetração de tecnologias mais eficientes, padrões de consumo da população, entre outros. No horizonte de longo prazo, estima-se que o nível médio de renda per capita atinja patamares da ordem de US\$ 36 mil/habitante/ano, compatível com a média de países da OCDE.

No Brasil, a perspectiva é de expansão crescente da quantidade de edificações, seja devido à expansão de moradias para atender à crescente população do país, seja pela expansão da atividade do setor de comércio e serviços. Atualmente, as edificações

³ Conceito que inclui edificações comerciais, residenciais e públicas.

residenciais somam aproximadamente 63 milhões de domicílios e estima-se que nos próximos dez anos sejam construídos 13 milhões de domicílios adicionais. Se, ao mesmo tempo, agregar-se o fato de que o setor de construção civil tem perspectivas de crescimento acelerado no horizonte deste estudo, sinaliza-se a perspectiva de substancial crescimento da demanda de energia de energia neste grupamento de consumidores no longo prazo.

Uma estrutura de análise do impacto do futuro energético das edificações no Brasil pode ser realizada considerando-se os aspectos relacionados na Figura 20. Uma proposta de agrupamento destes aspectos as classifica como condicionantes ligados ao ambiente, ao padrão construtivo ou ao padrão de uso.



Figura 20- Condicionantes para evolução do padrão construtivo de edificações.
Fonte: EPE

Para os agrupamentos propostos, adotam-se as definições a seguir:

- **Condicionantes ambientais:** inclui os aspectos relacionados ao ambiente onde se situam as edificações e se referem, basicamente, aos parâmetros ambientais locais, que definem as condições de contorno para os projetos a serem construídos, por exemplo, internalizando padrões de temperatura e de ventos, irradiação e orientação solar, pluviosidade etc. Nesse caso, os fatores relacionados à zona climática onde se situa a edificação.
- **Condicionantes construtivos:** referem-se aos aspectos relacionados à estrutura da edificação, a qual é definida por fatores tais como o entorno construído/planejamento urbano e o projeto da edificação. O entorno construído afeta, por exemplo, a disponibilidade de recursos solares em função de zonas de sombreamento geradas por construções vizinhas, o que pode impactar a viabilidade técnica da instalação de sistemas de geração distribuída. O projeto da edificação, por sua vez, define configurações da construção e tipo de materiais utilizados. Esse aspecto é fundamental no aproveitamento de iluminação e ventilação naturais ou, para o adequado aproveitamento de isolamento térmico, por exemplo.

- **Condicionantes ligados ao padrão de uso:** compreende a forma como a energia é utilizada pelos usuários da edificação, referindo-se principalmente aos padrões e hábitos de consumo dos mesmos. Podem-se agregar nessa categoria os aspectos com baixo grau de inércia, o que engloba tanto os equipamentos de custo baixo ou moderado, quanto aspectos relacionados à forma como se usam esses equipamentos.

É importante destacar que a cada condicionante associa-se uma margem de ação para políticas públicas, por exemplo, à promoção de eficiência energética. Assim, no que tange aos condicionantes ambientais, poder-se-iam associar políticas de ocupação do espaço urbano, que proporcionem redução de área de sombreamento e criação de centros locais com oferta de serviços que reduzam a necessidade de grandes deslocamentos da população, por exemplo. Para os condicionantes construtivos, por sua vez, há espaço para políticas diferenciadas para construções existentes (*retrofit*, por exemplo) e novas construções (intervindo na forma de códigos de construção ou incentivo à arquitetura bioclimática). No caso de condicionantes relacionados ao padrão de uso, a margem de ação pode incluir, por exemplo, a oferta de equipamentos mais eficientes ao consumidor final através de estabelecimento de índices mínimos de desempenho regularmente revisados, ou à indução de hábitos de consumo via estrutura tarifária diferenciada.

Assim, nesse contexto, destaca-se o seguinte conjunto de questões com impacto sobre o consumo energético de edificações e que deverão ser abordados na definição do cenário de evolução de demanda de energia nesse setor:

- Quais os cenários mais prováveis de penetração de edificações eficientes para o longo prazo no Brasil?
- Em quanto pode ser estimada a redução de demanda de energia em edificações devido a: (i) novos padrões construtivos (materiais, arquitetura etc.); (ii) uso de novas tecnologias de consumo de energia?
- Quais fatores condicionam a penetração de prédios sustentáveis e “*retrofit*” de edificações existentes, em termos de viabilidade econômica e estabelecimento de mecanismos/políticas? Que barreiras devem ser removidas para que haja a penetração sustentada de edificações sustentáveis?
- Que tecnologias farão parte da residência do futuro?

2.7 Competitividade relativa dos energéticos

Entre os condicionantes básicos de competitividade de uma economia está a disponibilidade de energia de forma confiável e competitiva, embora não possa ser apontada como o único condicionante para essa competitividade - infraestrutura adequada, recursos para financiamento e capital humano são outros exemplos de requisitos básicos necessários nesse sentido.

O nível de preços da energia define, por exemplo, a atratividade da expansão de determinadas atividades industriais, em especial, os denominados energointensivos. No

longo prazo, o nível de preços do petróleo é fundamental para definir, por exemplo, a competitividade dos derivados de petróleo e, por conseguinte, dos energéticos substitutos. A depender da trajetória de preços relativos a ser seguida, o futuro do setor energético brasileiro poderá ocorrer de formas bastante distintas.

A título de exemplificação, a Figura 21 exibe regiões estimadas de viabilidade de atividades industriais em função do preço relativo do gás natural. Essas fronteiras não necessariamente se aplicam a 100% das situações industriais e são dinâmicas no tempo, mas esta figura permite ilustrar o fato que, para preços de energia acima de um determinado patamar, a expansão industrial de determinados segmentos passa a não ser tão atrativa do ponto de vista econômico.

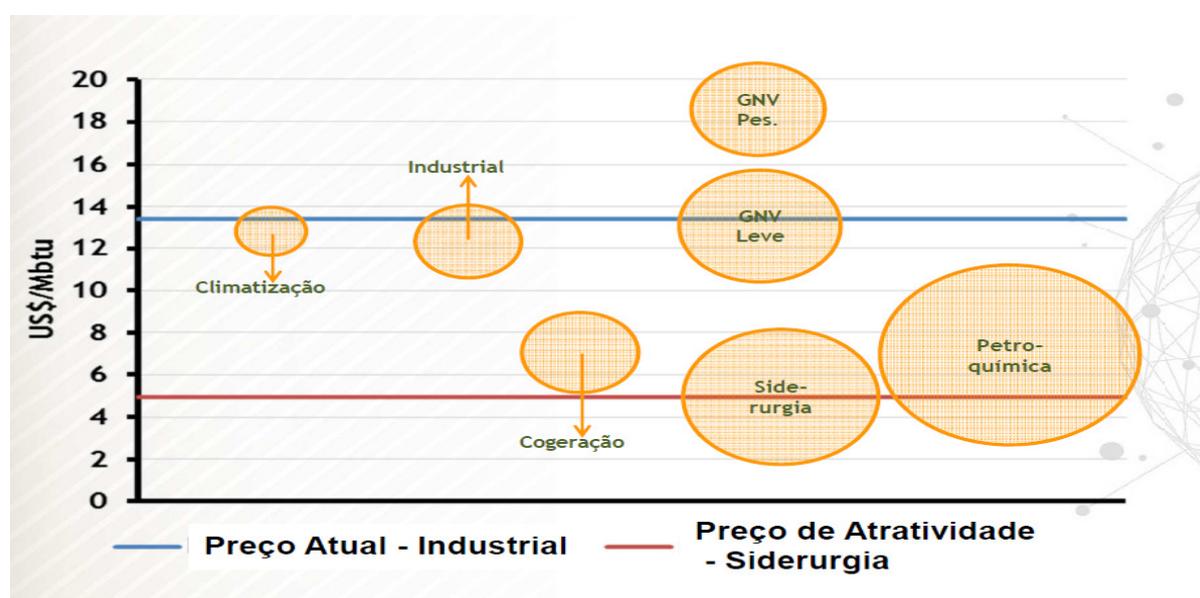


Figura 21- Competitividade de segmentos industriais vis-à-vis nível de preços do gás natural.

Fonte: CEMIG (2012)

Quando o patamar de preços da energia não se constitui em restrição para atividade econômica, por sua vez, os preços relativos influenciarão, por certo, a matriz energética resultante no longo prazo. Exemplos neste sentido incluem a competição para uso térmico na indústria, que pode ser atendida a partir de vários combustíveis, incluindo o gás natural, óleo combustível, coque de petróleo, biomassa, entre outros.

A competitividade econômica dos energéticos, portanto, sucinta as seguintes questões:

- O patamar futuro de preços internacionais de petróleo permitirá a penetração de alternativas energéticas tais como a biomassa?
- A oferta de gás natural no Brasil se dará a preços competitivos, permitindo a expansão de determinados setores?
- Qual o impacto da expansão de setores eletro-intensivos na demanda total de eletricidade, considerando as perspectivas de seu preço?

Cabe mencionar que as projeções de nível de atividade do setor industrial consideram o impacto dos patamares de preço sobre a expansão da produção em alguns segmentos industriais⁴ e essa discussão será retomada nesta nota técnica, aprofundando alguns pontos.

⁴ Apresentadas na NT Cenário econômico - 2050, disponível em <http://www.epe.gov.br>.

3 CENÁRIO DE DEMANDA DE ENERGIA POR SETOR

3.1 Considerações iniciais

Esta seção da nota técnica apresenta as considerações (premissas) adotadas na estimativa da demanda de energia no longo prazo, bem como os resultados e indicadores associados.

Nesse sentido, os resultados serão apresentados em dois cortes: (i) por setor de consumo; (ii) por fontes/agregados de fontes selecionadas, dependendo do caso. Para permitir o tratamento das incertezas anteriormente mencionadas e de parâmetros específicos de cada setor, a metodologia utilizada utiliza modelagem específica para cada setor da economia. A análise setorial empreendida, por sua vez, gera resultados por fonte energética que são agregados para compor o consumo total de energia, incluindo uso energético e não energéticos. A visão geral da metodologia pode ser vista na Figura 22.

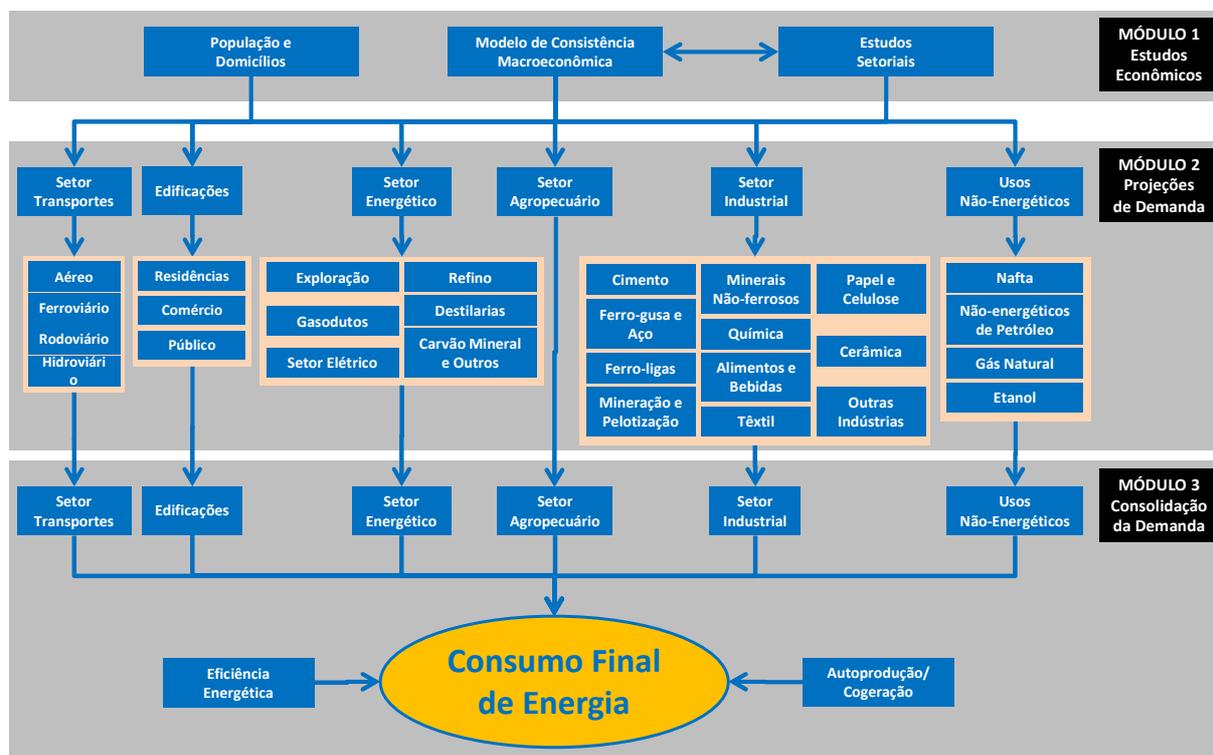


Figura 22- Visão geral da metodologia de projeção da demanda de energia.

Fonte: Elaboração EPE

O processo de estimativa da demanda de energia tem os cenários econômicos de longo prazo como um de seus principais insumos de informação. A partir da elaboração de cenários setoriais da atividade agropecuária, serviços e indústria, além das demandas de infraestrutura e mobilidade, modelos setoriais específicos permitem estimar a evolução da demanda por fonte e por setor, em nível nacional. As perspectivas de autoprodução de

eletricidade e energia nestes setores de consumo (geração distribuída e biogás, por exemplo) também são parte importante do processo, que apontará os requisitos de demanda de energia que o sistema energético brasileiro deverá atender no longo prazo.

3.2 Resultados consolidados: demanda total de energia

No período 2013-2050, estima-se que a demanda brasileira total de energia aumente pouco mais de duas vezes (Figura 23) quando comparada com o ano base, com destaque para o avanço do gás natural, da eletricidade e dos derivados de petróleo e de cana-de-açúcar (Figura 24).

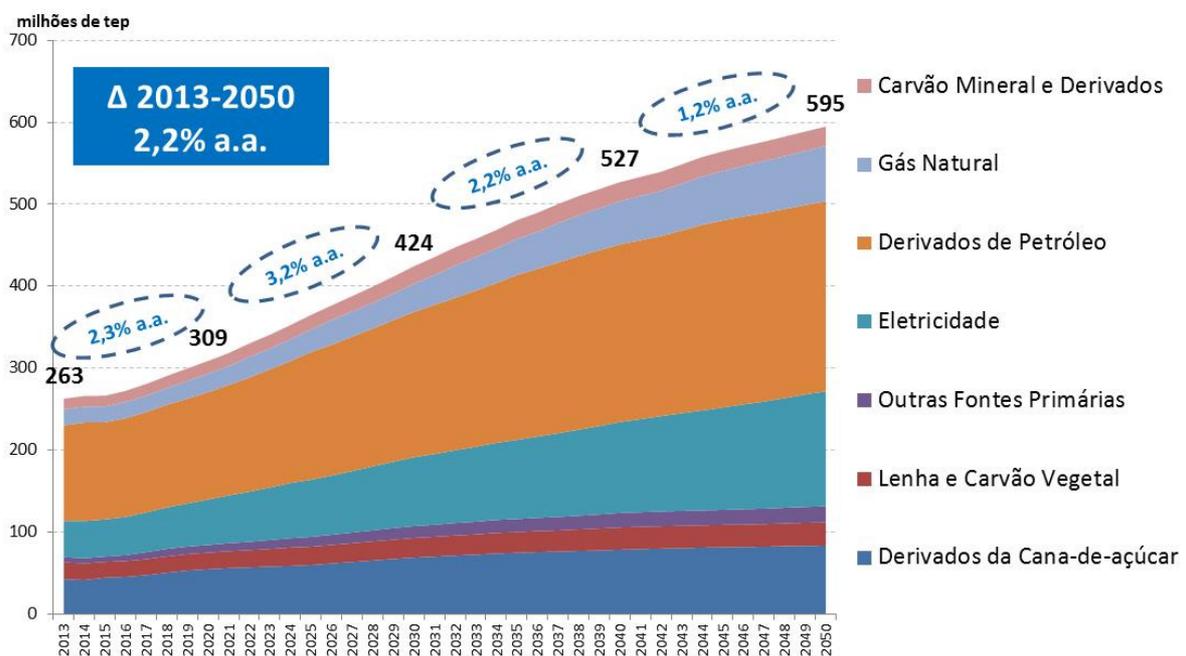


Figura 23- Evolução da demanda total de energia por fonte até 2050.

Fonte: Elaboração EPE

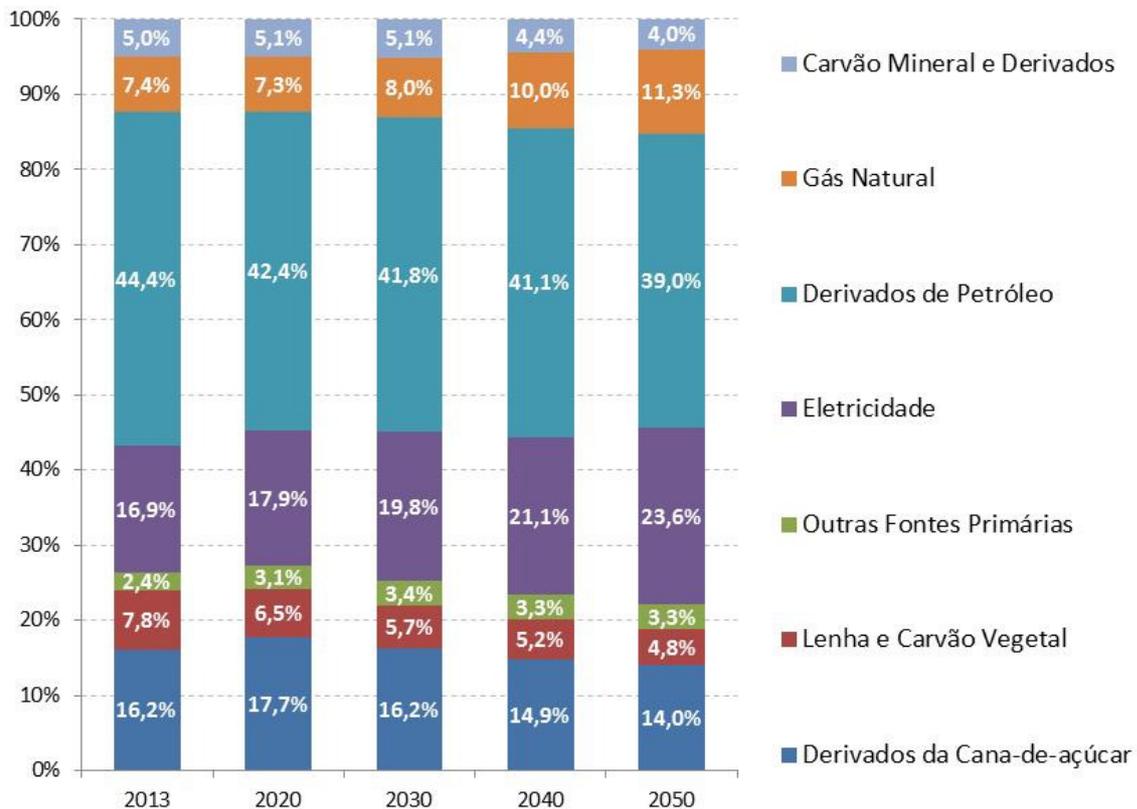


Figura 24- Evolução da participação das fontes na demanda total de energia até 2050.
Fonte: Elaboração EPE

Estes resultados refletem a crescente penetração do gás natural na matriz energética brasileira, deslocando o consumo de derivados de petróleo na indústria e residências (óleo combustível e GLP, principalmente). A queda da participação de derivados de petróleo na matriz também se deve à penetração de biocombustíveis no setor de transportes, em especial, o etanol em veículos de transporte individual. A lenha também apresenta queda, seja pela menor taxa de expansão da siderurgia a carvão vegetal comparativamente à produção baseada a partir do coque de carvão mineral, seja pela menor participação no setor residencial brasileiro, onde há maior substituição por GLP e gás natural. Como se pode observar para as demais fontes energéticas, essa participação apresenta pequenas variações no longo prazo que, para todos os efeitos, podem ser consideradas marginais.

Em termos dos setores de uso da energia, por sua vez, pode-se destacar o aumento de participação do setor comercial - refletindo também sua crescente participação na economia no longo prazo -, como também o uso não energético (Figura 25 e Figura 26). Neste último caso, destaca-se a expansão do uso de gás natural para produção de fertilizantes e também para produção de petroquímicos básicos. Em sentido oposto, a participação do setor de transportes e do setor residencial no consumo total de energia apresenta retração. No caso do setor de transportes, destaca-se a alteração da estrutura modal da matriz de transporte de cargas e a penetração de veículos híbridos/elétricos, que propiciam ganhos de eficiência energética bastante acentuados ao longo do tempo. No caso do setor residencial, colaboram para essa redução de participação no consumo de

energia, fatores tais como a substituição da lenha por gás natural, ganhos de eficiência na iluminação e uso de energia solar para aquecimento térmico.

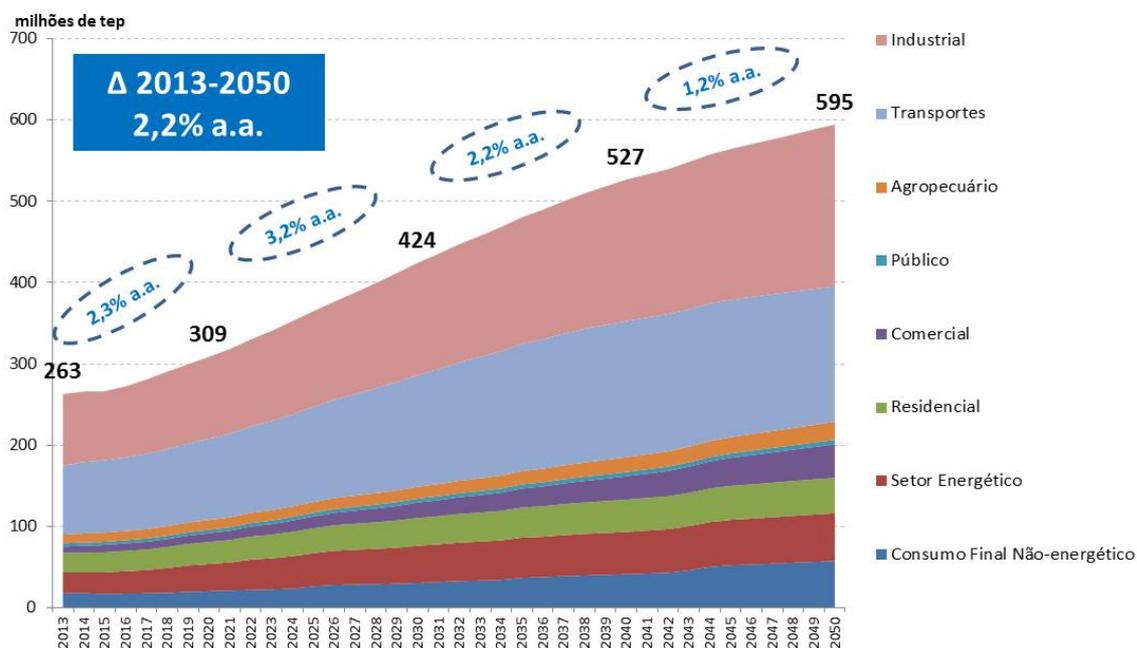


Figura 25- Evolução da demanda total de energia por setor até 2050.
Fonte: Elaboração EPE

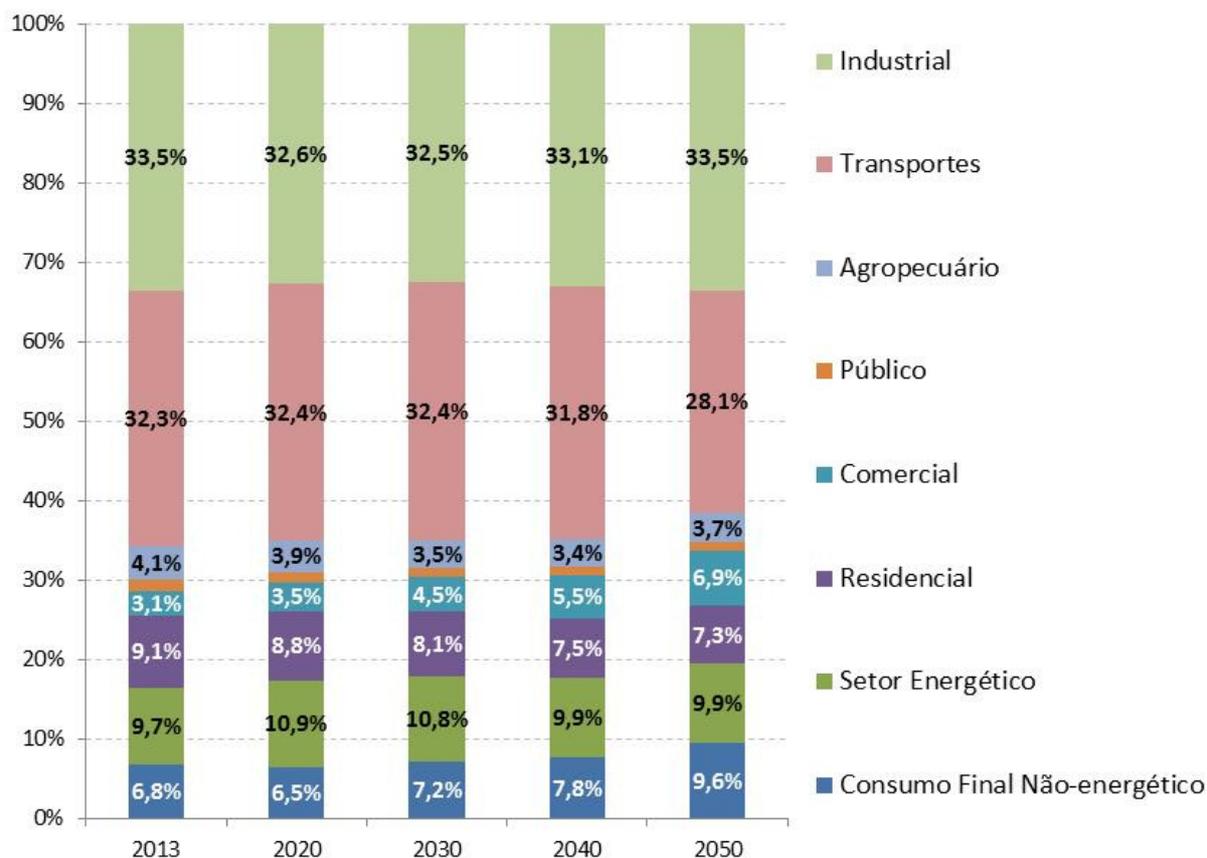


Figura 26- Evolução da participação setorial no consumo total de energia até 2050.
 Fonte: Elaboração EPE

Em termos de indicadores agregados relacionados à demanda de energia, os resultados obtidos levam a uma trajetória decrescente da elasticidade-renda da demanda de energia ao longo do tempo (Figura 27). No período decenal se observa o pico máximo para este indicador, dado ser nesse período que se concentram parte significativa de expansões de atividade industrial, refinarias de petróleo e de produção de petróleo e gás natural, comparativamente a outras décadas adiante. Após esse período decenal que começam a serem sentidos, de forma mais acelerada, os efeitos de investimentos e políticas que permitem aumentar a eficiência energética da economia, onde se podem citar o Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT), políticas de eficiência energética e penetração de novas tecnologias automotivas.

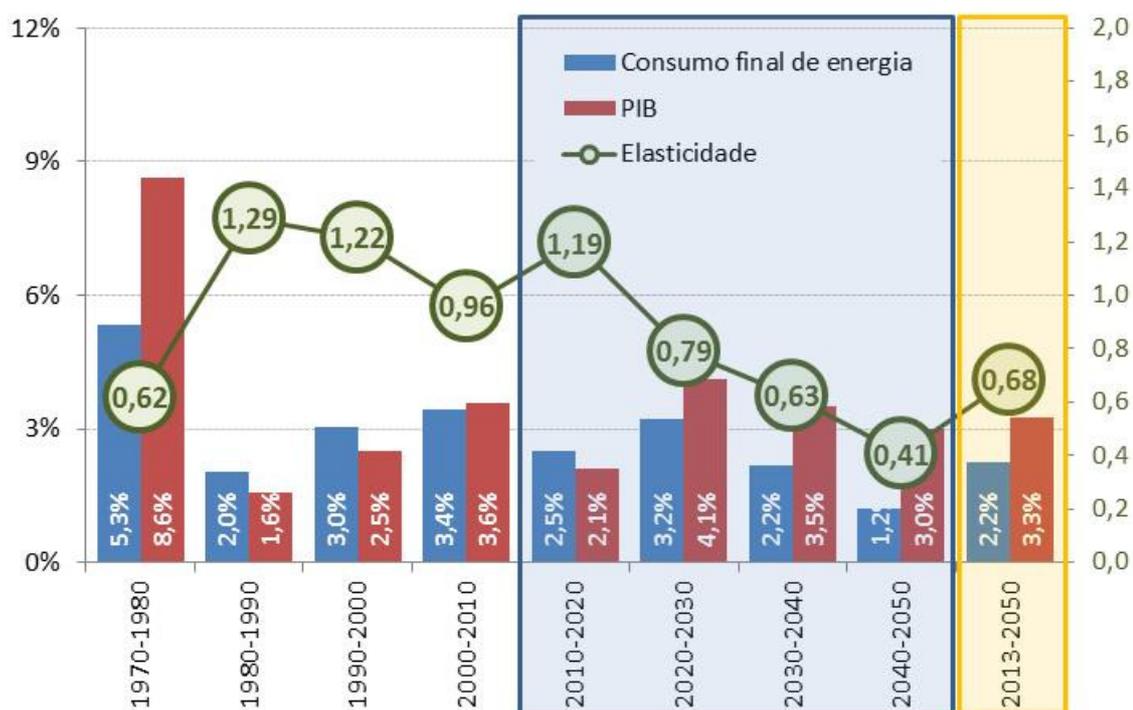


Figura 27- Evolução da elasticidade-renda da demanda de energia total até 2050.

Fonte: Elaboração EPE

Na sequência desta nota técnica, são apresentados os resultados de demanda de energia por setor, onde poderão ser mais bem entendidas as premissas adotadas, bem os indicadores resultantes desses estudos.

3.3 Demanda de energia por setor

3.3.1 Setor industrial

3.3.1.1 Resultados consolidados

No horizonte de longo prazo, embora em 2050 a indústria responda por importante parcela do valor adicionado da economia, o cenário econômico do PNE 2050 estima ser decrescente a participação da indústria no total do PIB brasileiro. Esta trajetória, por sua vez, acaba por influenciar também a participação da indústria no consumo de energia no longo prazo, que também apresenta leve queda de participação, como se pode observar na Figura 26.

Neste horizonte, estima-se que o crescimento da atividade industrial será fortemente influenciado pela expansão da indústria de construção civil, com consequente impacto sobre a demanda de produtos de outros segmentos relacionados, tais como cimento, cerâmica, vidro e aço, entre outros. Esta evolução relaciona-se à progressiva e necessária

expansão da infraestrutura no Brasil, em termos de rodovias, portos e edificações em geral, o que permitirá ao país dotar-se das condições necessárias de competitividade aderentes ao nível de crescimento econômico assumido. Cabe também destacar que o ritmo dessa expansão não é homogêneo ao longo de todo o período, apresentando taxas mais aceleradas no início e desacelerando nos últimos anos do estudo (porém, ainda evoluindo a taxas positivas), dado se esperar essa infraestrutura já ter atingido maturidade, devendo-se observar a necessidade de expansões menos vigorosas do que as observadas nas décadas anteriores.

Outro aspecto importante no cenário do PNE 2050 inclui como premissa a gradual eficientização no uso de materiais utilizados em infraestrutura, em especial, em função de ganhos de produtividade a serem obtidos na indústria de construção civil. Além desse aspecto, cabe também destacar a tendência de substituição de materiais, em função de escassez, competitividade ou mesmo propriedades físicas mais adequadas em cada caso. Nesse sentido, metais como o alumínio podem perder mercado para outros materiais mais baratos como o aço, plástico ou o papel, a depender de cada situação específica. Um exemplo inclui a substituição do cimento em construções, muito intensivas neste material no Brasil, ao contrário do que ocorre em países mais desenvolvidos, onde o aço ganha participação.

Como resultado dessas considerações, a taxa de crescimento da demanda interna de materiais tais como o cimento e o aço devem seguir um padrão de desaceleração no final do período do estudo. Assim, estima-se que a demanda interna destes materiais deverá se expandir a velocidades menores do que a expansão do valor agregado das suas correspondentes indústrias, o que resulta em queda progressiva do parâmetro “elasticidade-renda” da demanda por produtos para esses materiais⁵.

Sob o ponto de vista da estrutura da indústria brasileira no longo prazo, em especial, as indústrias energointensivas, podem-se destacar algumas mudanças decorrentes, principalmente, dos diferentes cenários de atividade econômica. Neste cenário, ganham participação a indústria química, celulose & papel, cerâmica e outras indústrias. Este resultado é fortemente influenciado por fatores tais como: a expansão vigorosa da infraestrutura e a conseqüente demanda de produtos associados a esse esforço, a competitividade florestal e mineral brasileira, além da expansão da produção de fertilizantes para atendimento à expansão do agronegócio brasileiro. Também se destaca que alguns segmentos que com produção de maior valor agregado deverão apresentar crescimento em nichos específicos.

Outros segmentos industriais tais como a produção de alimentos e bebidas e ligados à metalurgia básica (aço e metais não ferrosos), por sua vez, exibem perda de participação no consumo total de energia no longo prazo, o que pode ser entendido a partir da perda de representatividade na economia (caso da produção de alumínio), menor taxa de crescimento da atividade industrial comparativamente a outros segmentos (siderurgia), ou

⁵ Para maiores detalhes, consultar: Nota Técnica DEA/EPE Cenário econômico - 2050, disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

ainda, devido à migração para produção de produtos finais mais elaborados (alimentos e bebidas), compatível com o crescimento esperado da renda per capita até o final do horizonte.

Ademais, estima-se que ganhos de eficiência energética derivados tanto da expansão de plantas mais eficientes quanto pela desativação das ineficientes deverão contribuir para taxas menos aceleradas de crescimento da demanda energética industrial no horizonte do PNE 2050. Nesse estudo, estima-se que a eficiência energética global contribua com algo em torno de 18% de redução da demanda de energia em 2050. Este aspecto será mais bem explicitado no capítulo “4- EFICIÊNCIA ENERGÉTICA”, desta nota técnica.

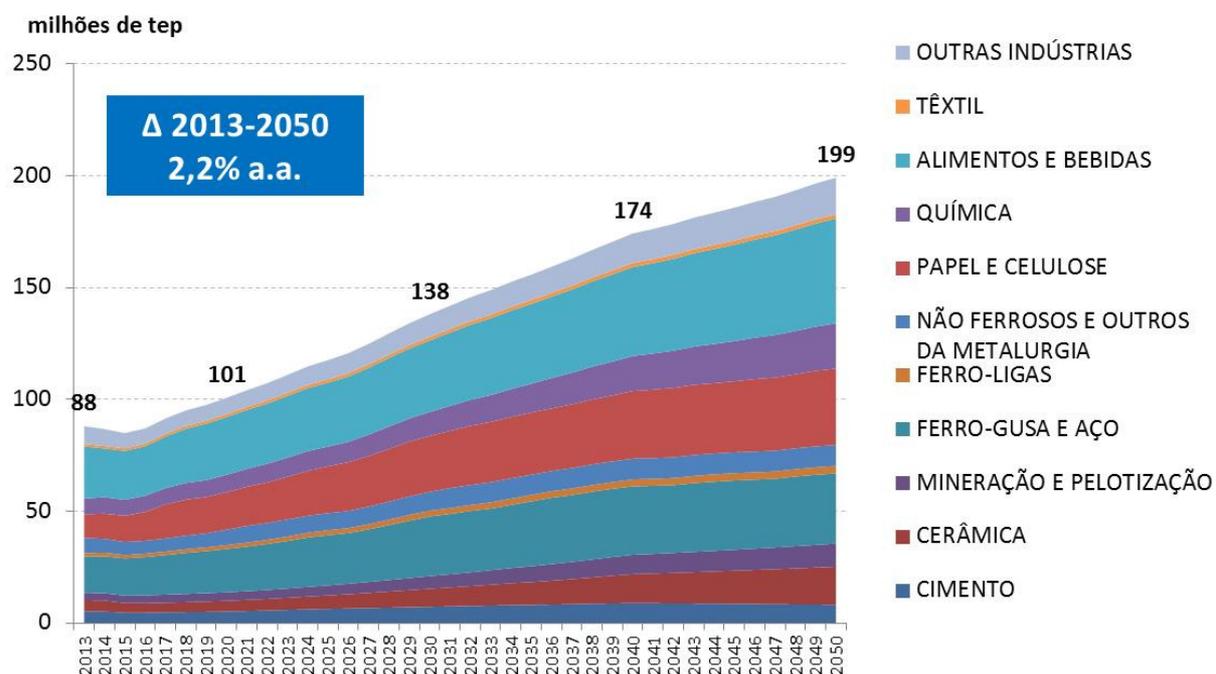


Figura 28- Indústria: consumo final energético, por segmento (milhões de tep)
Fonte: Elaboração EPE

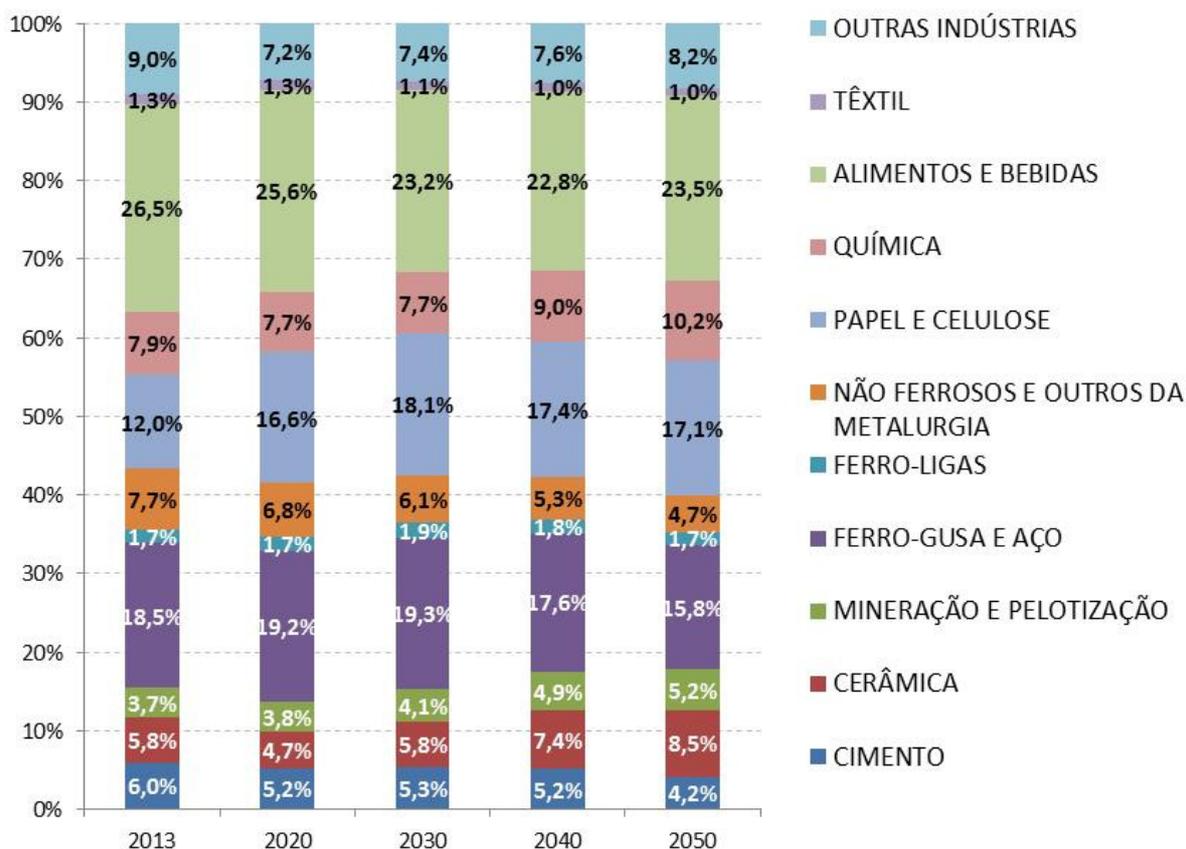


Figura 29- Indústria: consumo final energético, por segmento (%)

Fonte: Elaboração EPE

Quanto ao consumo final de energia na indústria, estima-se que evolua de 88 milhões de tep para 198 milhões de tep em 2050, o que corresponde a uma taxa média de crescimento anual de 2,2% a.a. entre 2013-2050 (Figura 30).

Neste consumo, destaca-se o ganho de participação relativa do gás natural na matriz energética industrial, em decorrência do esperado cenário de oferta competitiva deste energético, por conta da produção tanto oriunda do Pré-sal geológico quanto das reservas de gás não convencional. Neste contexto, estima-se que o consumo final energético desta fonte na indústria aumente de cerca de 30 milhões de m³ por dia em 2013 para 105 milhões de m³ por dia em 2050, com crescimento médio de 3,4% a.a., bem acima da média de crescimento do valor adicionado e do consumo de energia total da indústria neste período. Consequentemente, sua participação no consumo final energético industrial cresce de 11,1% para 16,9% no período (Figura 31).

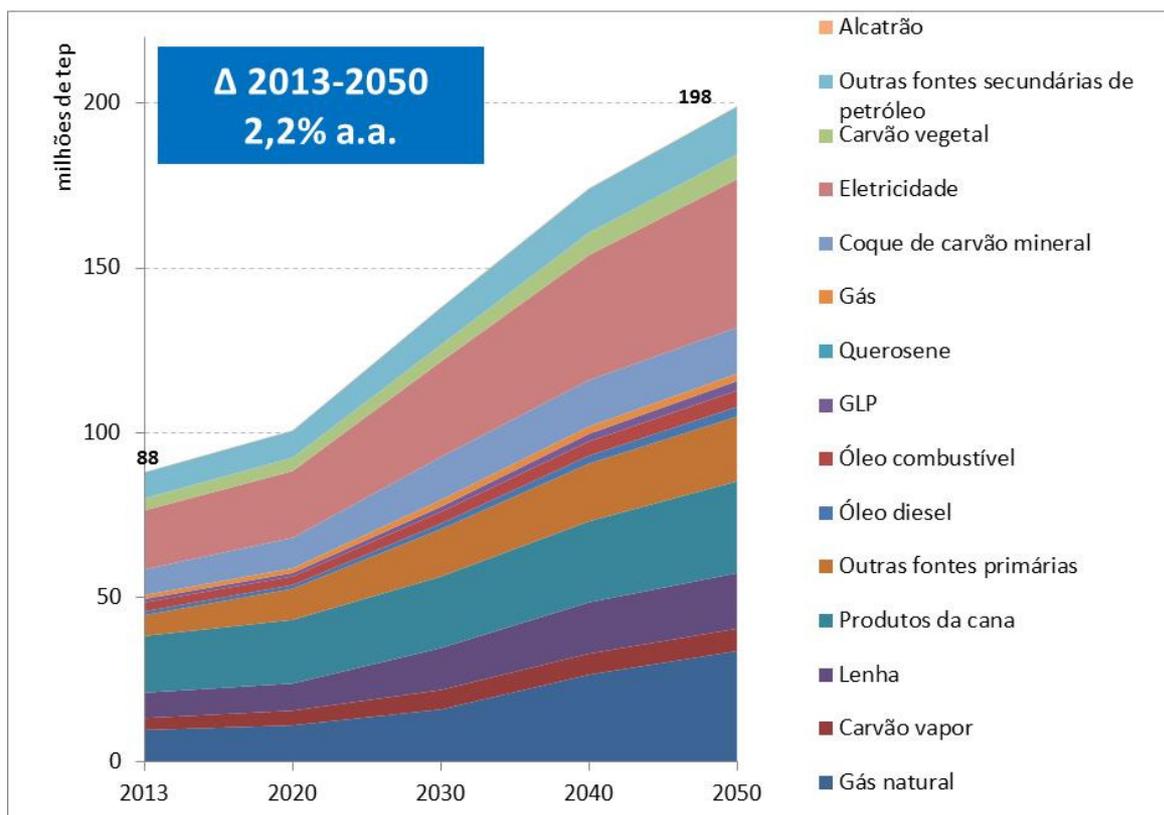


Figura 30- Indústria: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
 Fonte: *Elaboração EPE*

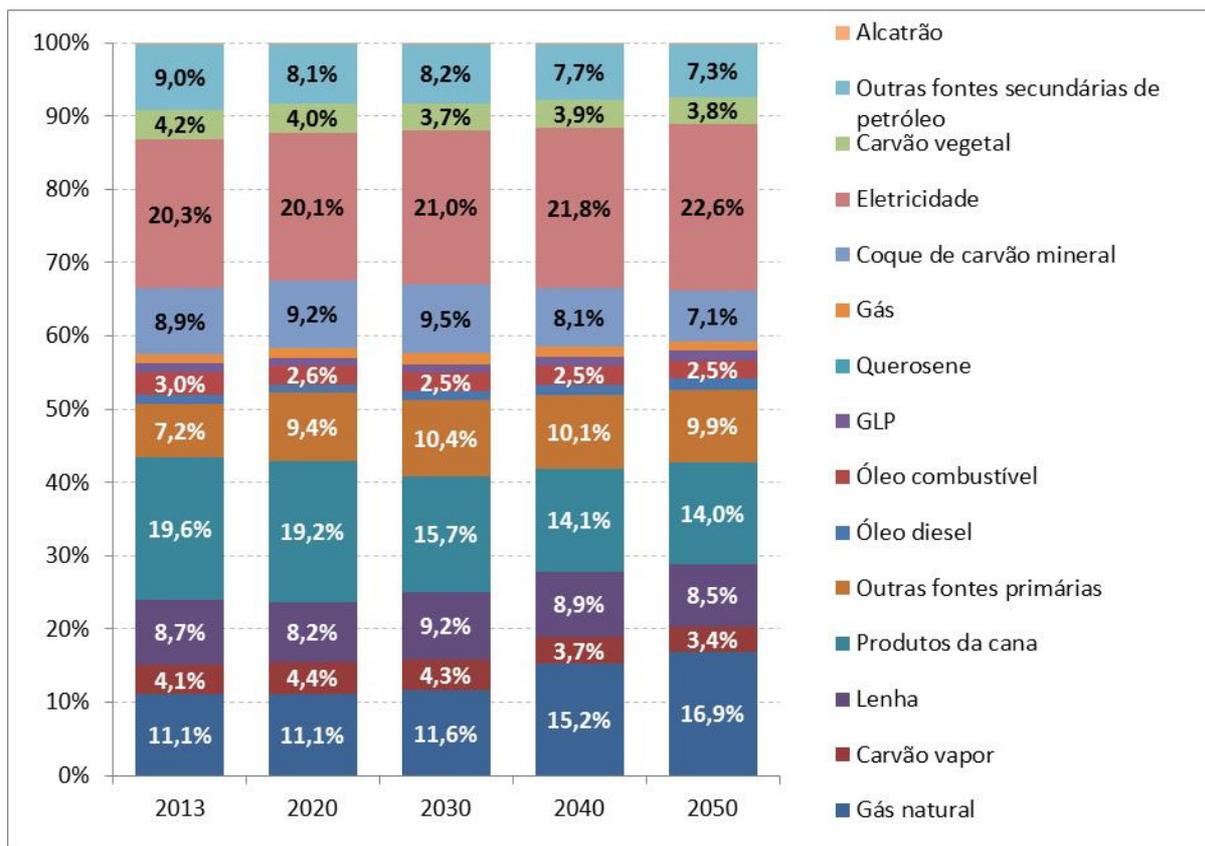


Figura 31- Indústria: consumo final energético, por fonte (%)
 Fonte: Elaboração EPE

O consumo de eletricidade também aumenta sua participação na matriz de consumo energético industrial, a despeito da taxa menos acelerada de expansão de segmentos eletrointensivos tais como a produção de alumínio e de soda-cloro. Um efeito que contribui para aumentar a participação da energia elétrica são os maiores ganhos de eficiência energética no uso térmico, o que reduz o peso dos combustíveis na matriz energética. Dessa forma, estima-se que a eletricidade saia dos atuais 20,3% do consumo industrial e atinja aproximadamente 22,6% em 2050, sendo parte suprida pela rede elétrica e o restante através de autoprodução.

A grande competitividade da produção florestal brasileira, que proporciona destaque à produção brasileira de celulose, contribui para o ganho de participação das chamadas “outras fontes primárias”, onde a principal componente é a lixívia, produzida como subproduto do processo de produção de celulose, que se expande de 20 para 65 milhões de toneladas produzidas, entre 2013 e 2050. Com isso, a participação desta fonte cresce de 6,6% do consumo energético industrial, em 2013, para 9,3%, em 2050. Entre as fontes residuais de energia, também se destacam a parcela “outras secundárias de petróleo”, que inclui o coque de petróleo e o gás de refinaria, entre outros. Esse aumento de participação decorre, por exemplo, da expansão da indústria cimenteira - essencial para o desenvolvimento da infraestrutura brasileira no longo prazo - e também da indústria química.

Em sentido contrário, estima-se que a lenha e o carvão vegetal percam gradativamente sua participação no consumo final energético da indústria brasileira. Se, por um lado, o crescimento da indústria brasileira de celulose & papel contribui para aumentar esse consumo, em outros segmentos esse consumo enfrenta competição com outros energéticos, com motivação ambiental e especificação de produtos como, por exemplo, é o caso da produção cerâmica. A produção siderúrgica a carvão vegetal, por sua vez, ainda que apresente expansão, o faz de maneira pouco mais lenta do que o consumo energético total da indústria.

No horizonte de longo prazo, a maior redução de participação esperada refere-se ao consumo de produtos da cana-de-açúcar para uso energético: queda de cerca de 5% na participação entre 2013 e 2050, o que decorre, basicamente da produção de etanol se expandir a taxas progressivamente menores, alcançando neste período, 2,3% ao ano. No que tange ao açúcar, a produção brasileira evoluirá 1,6% a.a. no mesmo período, para o atendimento do consumo interno e da parcela exportada. Por parte da demanda, a progressiva penetração de veículos híbridos e elétricos, bem como a efficientização crescente dos motores, contribui para reduzir as taxas de crescimento do consumo de combustíveis no período.

Em termos de indicadores, como resultado da evolução desses fatores (menor elasticidade-renda da demanda de materiais, perda de participação de segmentos energo-intensivos no PIB industrial e ganhos de eficiência energética), a intensidade energética industrial mostra comportamento descendente até 2050, exceto no primeiro período entre 2013-2020, como ilustra a Figura 32, principalmente por conta de uma retomada da utilização da capacidade instalada de alguns segmentos industriais energointensivos no período inicial.

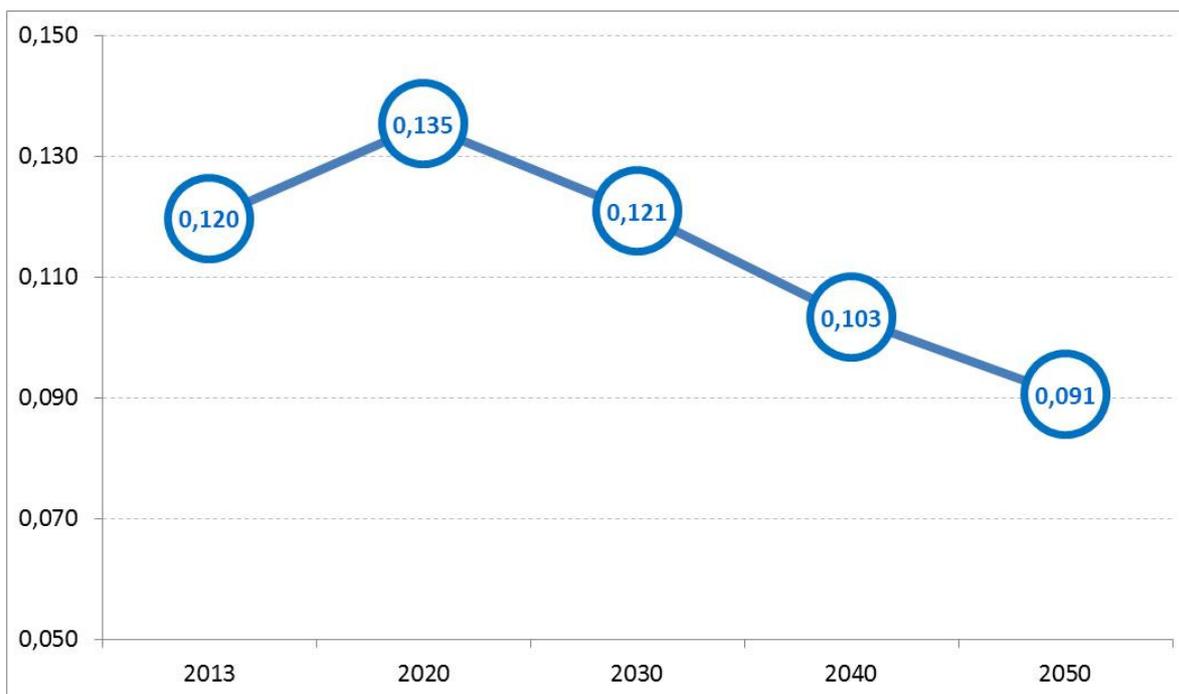


Figura 32- Intensidade energética industrial (tep/10³ R\$ [2010])

Fonte: Elaboração EPE

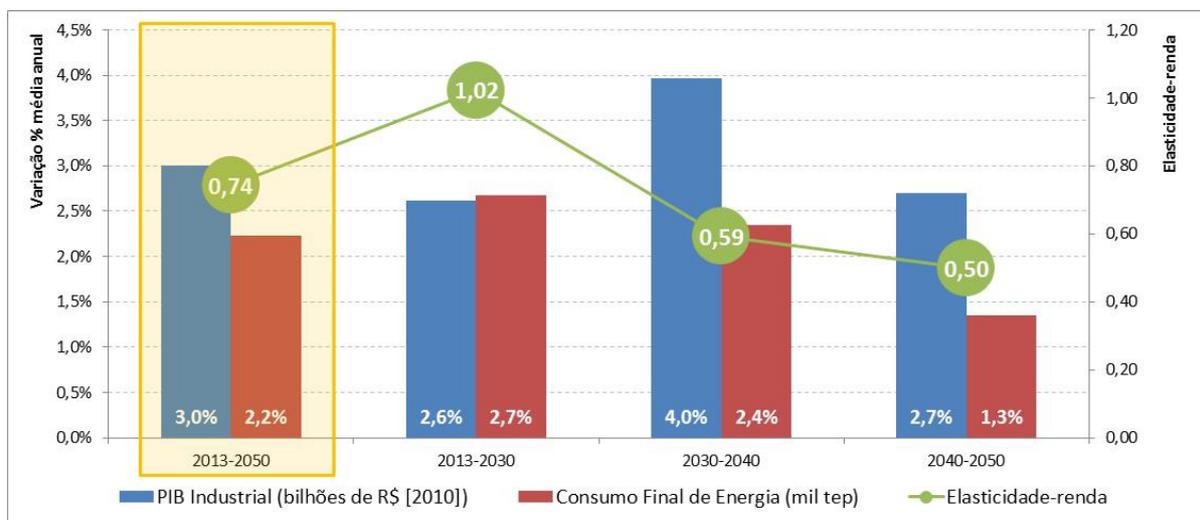


Figura 33- Elasticidade-renda da demanda de energia da indústria por período

Fonte: Elaboração EPE

Uma análise interessante inclui avaliar o impacto que a alteração de estrutura industrial desempenha na evolução da intensidade energética. Basicamente, essa análise compara a trajetória de intensidade energética obtida com outra alternativa, onde se assumem as participações dos segmentos industriais no valor adicionado industrial como constantes e igual ao ano base, e mantendo-se inalteradas as intensidades energéticas de cada um desses segmentos. A partir desse cálculo, é possível inferir o quanto a alteração estrutural da indústria brasileira é decisiva para a alteração da intensidade energética industrial brasileira no cenário adotado (Figura 34). Como se pode observar nesta figura, até 2040, a expressiva expansão de segmentos mais energo-intensivos, como o de celulose, siderurgia e fertilizantes, faz com que a intensidade energética deste cenário seja maior do que a da

expansão industrial com estrutura constante. Isso significa que esses segmentos ganham participação na indústria como um todo, contribuindo para que a intensidade energética seja maior do que seria sem a expansão dessas indústrias. Porém, na última década, esta tendência se reverte, uma vez que os segmentos energo-intensivos têm expansões menores, enquanto outros segmentos com maior teor tecnológico e consequente maior potencial de geração de valor agregado ganham importância no País.

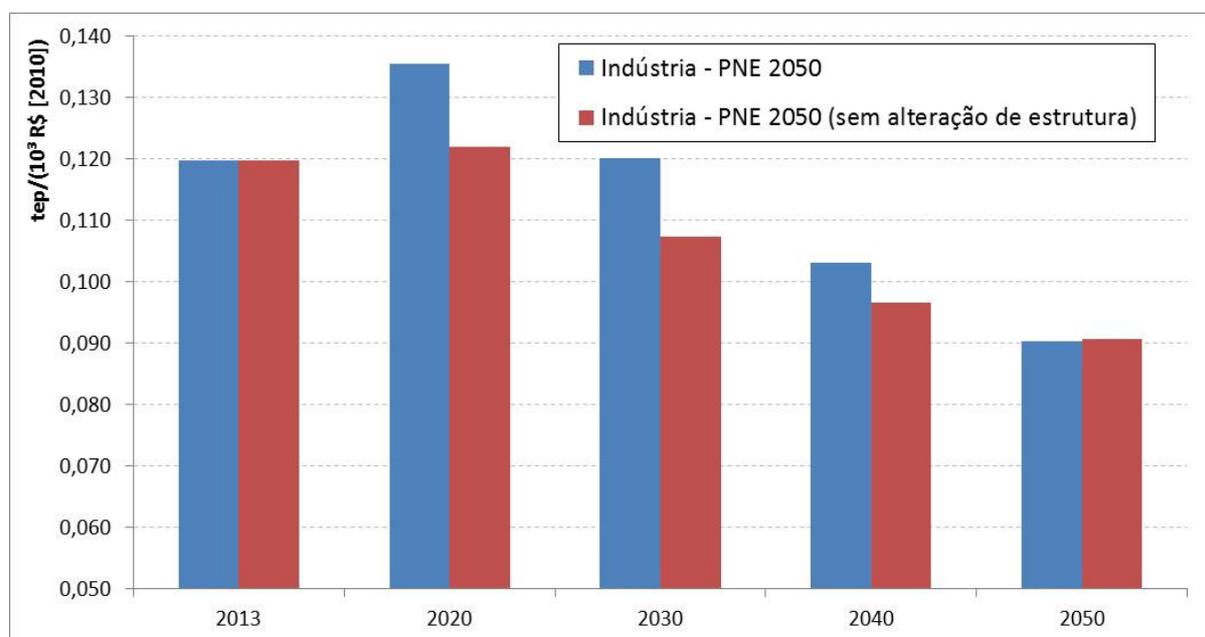


Figura 34- Intensidade energética industrial: DIVISIA (*) (tep/10³ R\$ [2010])

Nota: (*) A metodologia DIVISIA calcula a evolução da intensidade energética, mantendo-se constante ao longo do tempo a mesma estrutura de valor adicionado do ano-base (2013).

Fonte: Elaboração EPE

Em termos de eletricidade, é importante mostrar que também é decrescente a trajetória de intensidade elétrica, a despeito do aumento do grau de eletrificação da matriz de consumo de energia da indústria (Figura 35). Um fator que influencia para este movimento é o cenário de mudança estrutural da indústria nacional, onde com o tempo ganham importância setores que geram mais valor agregado com menor conteúdo energético, exceto no período de decenal (2013-2020), influenciado pela retomada da utilização da capacidade instalada de segmentos industriais eletrointensivos.

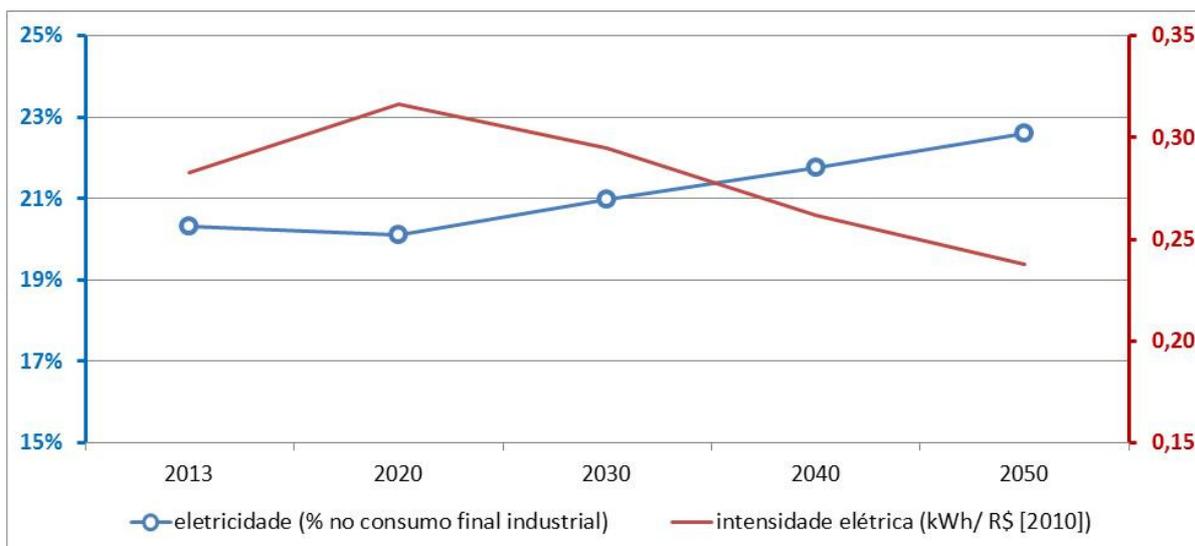


Figura 35- Eletricidade na indústria: participação e intensidade elétrica

Fonte: Elaboração EPE

Finalmente, somando-se o fato de que o valor adicionado industrial cresce a taxas menores do que a média da economia nacional, neste horizonte, espera-se que a participação da indústria no consumo total de energia deva se reduzir ao longo do tempo, comparativamente a outros setores tais como as residências, comércio/serviços e de transportes (Figura 36). No período pós-2030, o aumento da participação da indústria no consumo total se deve, fundamentalmente, à menor taxa de crescimento na demanda de energia devido a outros setores da economia, tais como transportes (cargas e leves) e residências.

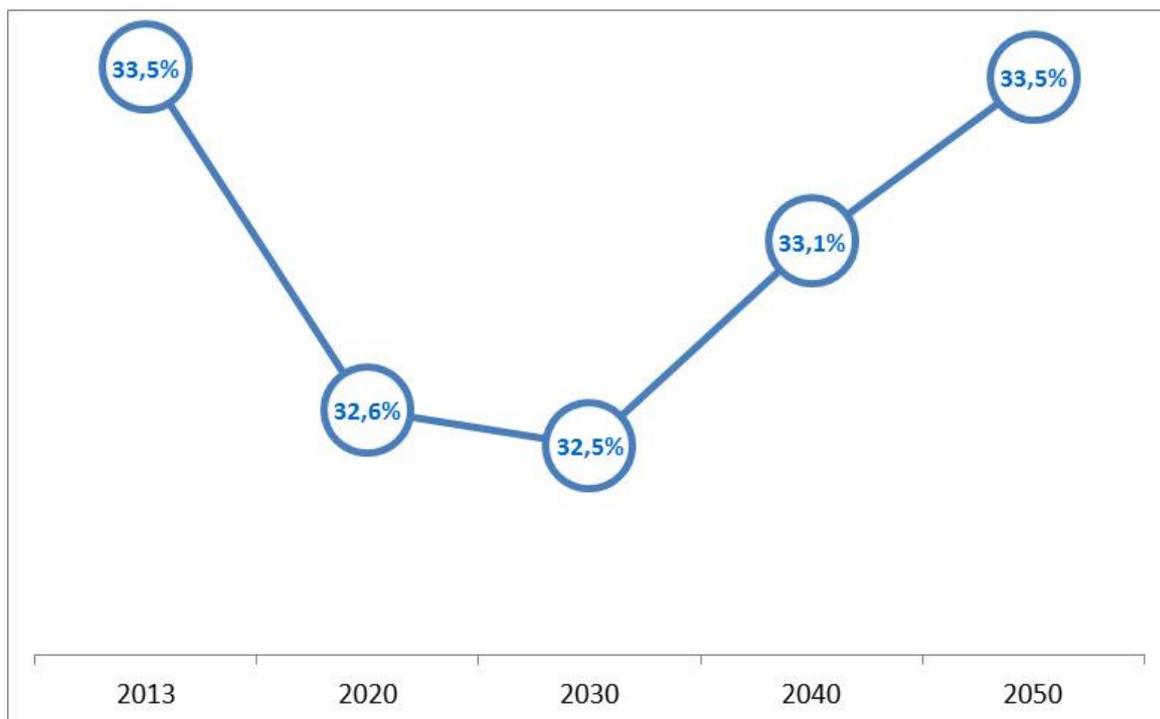


Figura 36- Evolução da participação da indústria no consumo total de energia no longo prazo.

Fonte: *Elaboração EPE*

Nos próximos itens, as premissas e resultados específicos por segmento industrial são mais bem detalhados. Cabe destacar que as premissas específicas acerca de eficiência energética serão abordadas de forma mais geral nos itens a seguir, sendo mais detalhadas em capítulo específico sobre eficiência energética (“4- EFICIÊNCIA ENERGÉTICA”), nesta nota técnica.

3.3.1.2 Resultados Setoriais

3.3.1.2.1 Cimento

No horizonte de longo prazo, estima-se que a indústria de cimento apresente expressivo crescimento, decorrente do cenário positivo adotado para o setor de construção civil. Entretanto, há uma progressiva redução da intensidade de uso do material, principalmente devido à disseminação de construções mais eficientes, com maior intensidade de aço, conforme se observa em diversos países com infraestrutura mais desenvolvida. Além disso, a redução da intensidade de consumo de cimento se justifica, entre outros, pela redução da participação do chamado “consumo formiga”⁶ (expressivo atualmente, ao qual se associa maior grau de perdas no manuseio) e também pela adoção de métodos construtivos mais eficientes na própria indústria de construção civil. Ao longo do horizonte de estudo,

⁶ O “consumo formiga” compreende as compras efetuadas por pessoas físicas para construção/reforma das próprias residências ou pequeno comércio, e assim denominado em função da aquisição de pequenos volumes de cimento por uma quantidade grande de consumidores.

demandas decorrentes da expansão de portos, rodovias e edificações em geral (indústria em geral, comércio e residências) justificam a expansão estimada para o consumo de cimento. Em especial, destacam-se a expansão de domicílios neste horizonte (cerca de 35 milhões de novos domicílios até 2050), que se destinam tanto à inclusão de novos habitantes quanto à redução do déficit habitacional existente no país. Do ponto de vista da oferta, este consumo total de cimento, por sua vez, deverá ser atendido de forma majoritária pela produção nacional, dado que os fluxos de importação se restringem a pequenos volumes, pelas características de perecibilidade e baixo valor agregado do mesmo. Estima-se que a demanda de cimento cresça de forma mais acelerada nas primeiras décadas, desacelerando na última década em função do atingimento de maior grau de maturidade da infraestrutura no país, compatível com o nível de renda atingido. Desta forma, espera-se que a demanda nacional per capita de cimento exiba comportamento de estabilização a partir de 2040, momento em que o consumo per capita se aproxima do observado atualmente em países mais desenvolvidos (Figura 37).

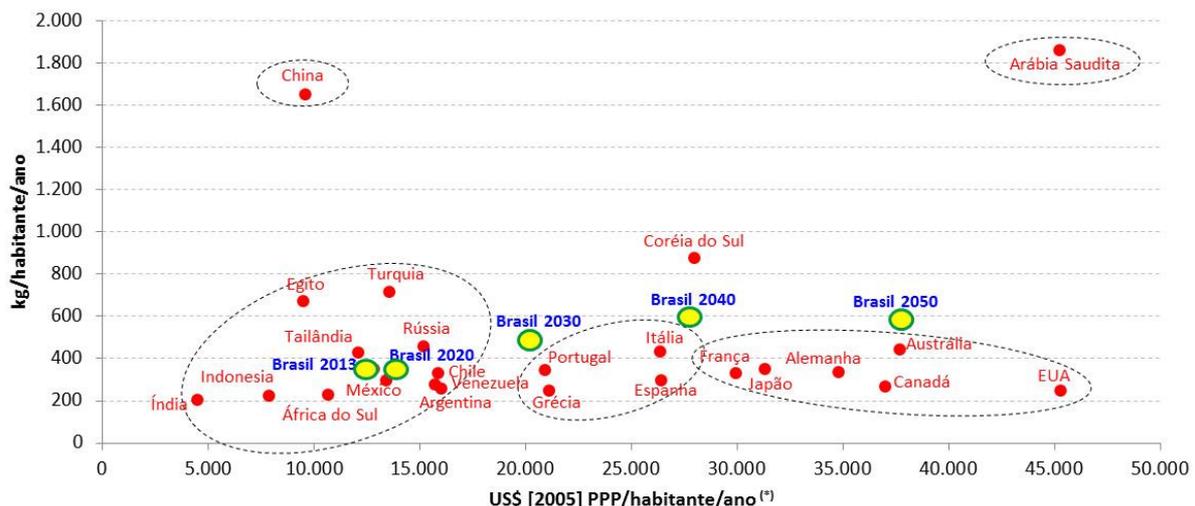


Figura 37- Comparação internacional: Consumo per capita de cimento x renda per capita

Fonte: Elaboração EPE

Em termos de consumo final de energia nesta indústria, estima-se um crescimento de 5,3 milhões de tep em 2013 para 9 milhões de tep em 2040, momento em que se atinge o ápice tanto do consumo de energia quanto de consumo per capita. Após este momento, embora o consumo per capita se mantenha estabilizado, o consumo final começa a decair, por conta de continuados ganhos de eficiência energética nesta indústria na última década, fazendo com que o consumo final chegue a 8,3 milhões de tep em 2050, ou seja, crescimento de 1,2% anuais em relação a 2013.

Na matriz de consumo energético dessa indústria, o coque de petróleo é o principal energético utilizado e as perspectivas para o longo prazo são que isso não será alterado em grande medida, principalmente por conta da competitividade econômica na utilização

desse energético para os fornos rotativos. Assim, o consumo de coque de petróleo que, em 2013 representou cerca de 70% do consumo final, ainda responde por aproximadamente 69% em 2050 (Figura 39).

A parcela denominada “outras fontes primárias de energia”⁷ é uma importante fonte de energia térmica para a produção de cimento. Espera-se que, por todo o horizonte em estudo, represente cerca de 7% do consumo final deste segmento, sendo responsável por quase que a totalidade da energia utilizada para calor de processo.

Quanto ao consumo de eletricidade, a produção de cimento não é considerada eletrointensiva. Entretanto, dado o grande volume de cimento produzido no país (da ordem de 70 milhões de toneladas em 2013), a demanda total de eletricidade na produção de cimento é bastante elevada e, conseqüentemente, torna-se um importante consumidor a ser considerado para efeito dos estudos de planejamento do setor de oferta de energia elétrica. No horizonte de longo prazo, estima-se que o consumo total de eletricidade na indústria de cimento evolua de 8 TWh para 12 TWh entre 2013 e 2050, com crescimento médio de 1,2% a.a.

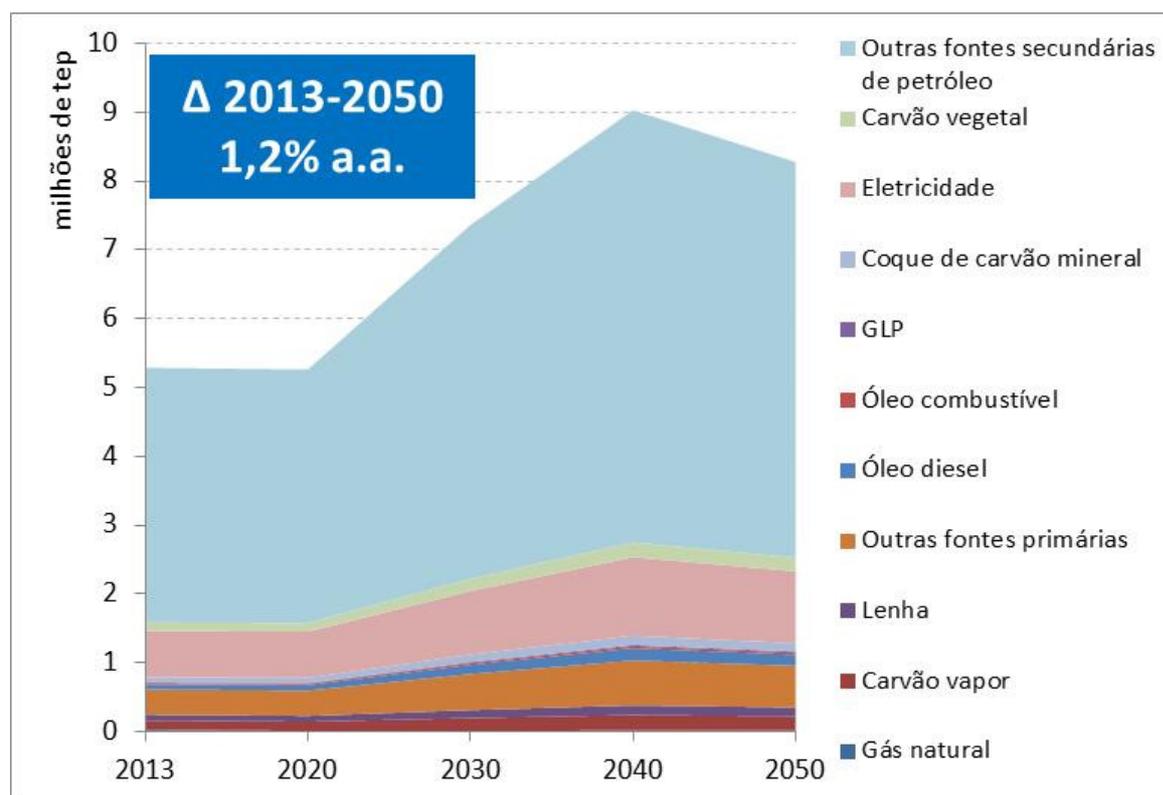


Figura 38- Cimento: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)

Fonte: Elaboração EPE

⁷ De acordo com o Balanço Energético Nacional, correspondem aos resíduos vegetais e industriais utilizados para geração de calor e vapor.

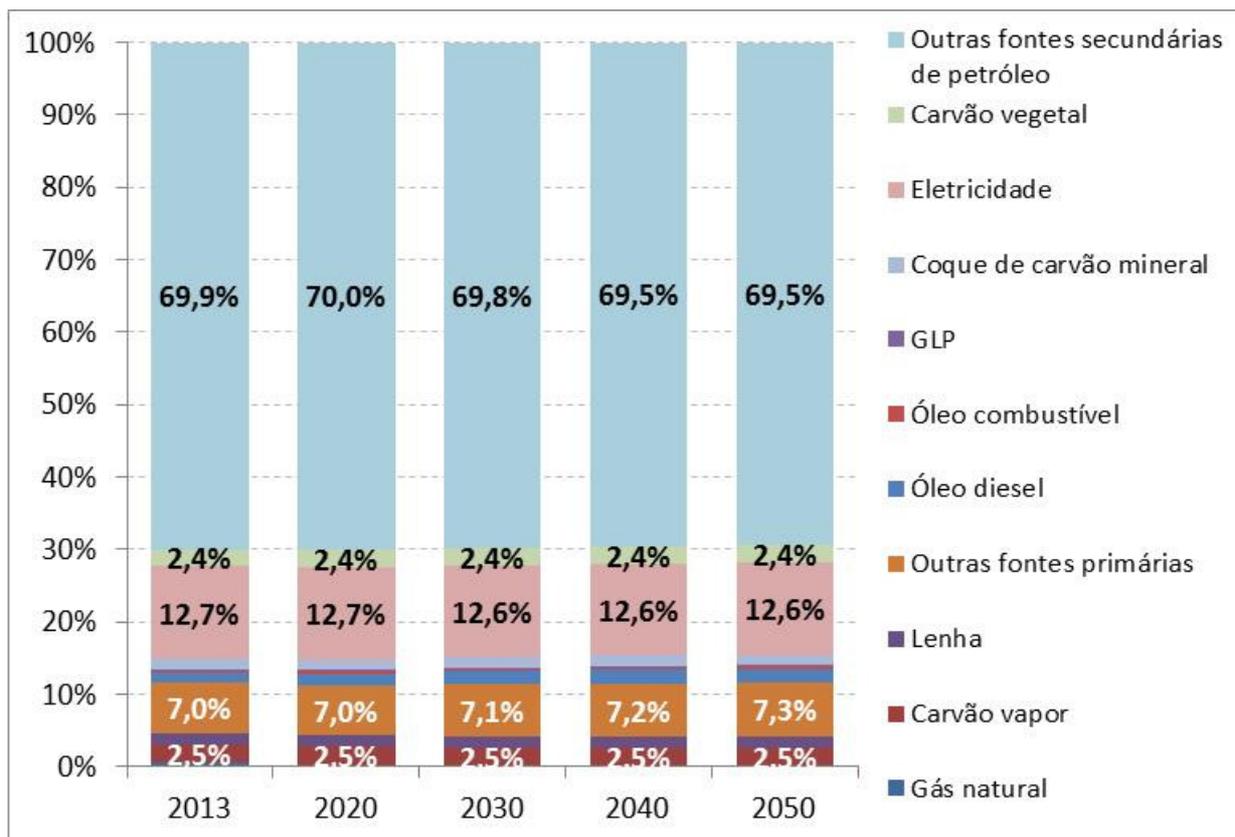


Figura 39- Cimento: consumo final energético, por fonte (%)
 Fonte: Elaboração EPE

Em termos da evolução de consumo específico total de energia na indústria de cimento, estima-se que a eficiência energética nesta indústria permita reduzir o indicador global deste segmento de 0,075 para 0,063 tep/t de cimento. Para o consumo de eletricidade, este consumo específico é estimado reduzir-se de 112 para 93 kWh/t de cimento, ou seja, redução de aproximadamente 17% em relação ao ano base. Basicamente, esses ganhos de eficiência se deverão a sistemas de moagem de materiais e de queima de clínquer mais eficientes.

3.3.1.2.2 Ferro-gusa e aço

O segmento siderúrgico é um dos principais consumidores de energia da indústria nacional, respondendo por aproximadamente 19% do consumo total de demanda final da indústria brasileira (EPE, 2013). Mesmo considerando-se que perderá importância no consumo energético industrial no cenário adotado, ainda responderá por um grande volume de energia consumida ao final do horizonte, com 31 milhões de tep em 2050, contra 16 milhões de tep em 2013, ou seja, crescimento médio de 1,8% ao ano. O perfil de crescimento da demanda de energia por fonte da indústria siderúrgica no longo prazo é ilustrado na Figura 40.

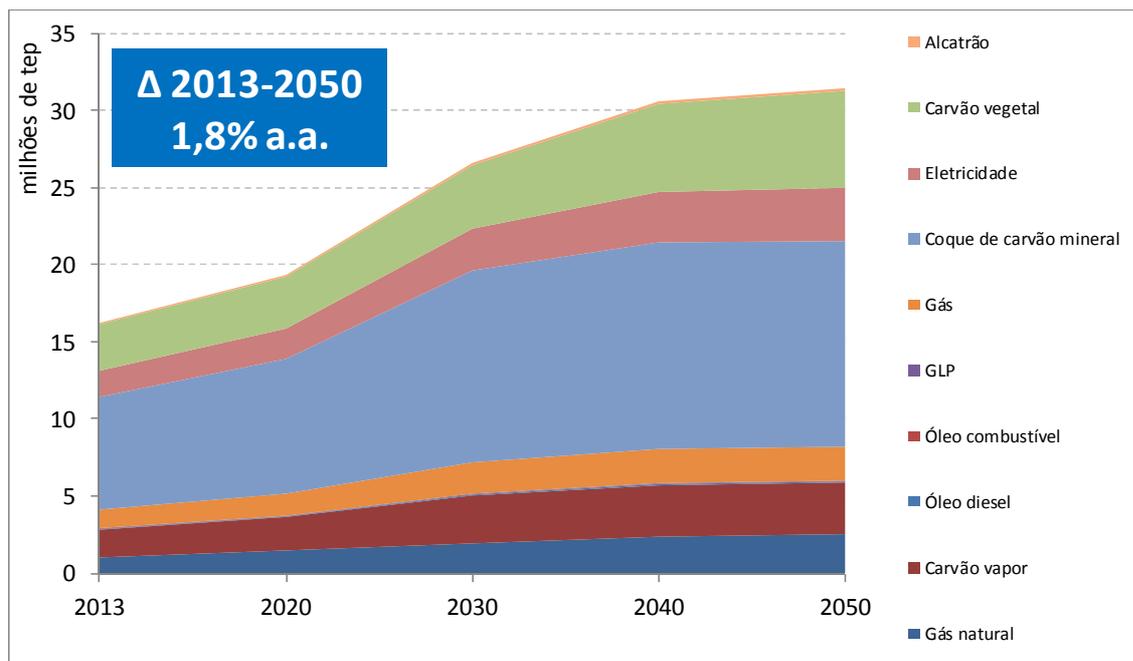


Figura 40- Ferro-gusa e aço: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
Fonte: *Elaboração EPE*

Como se pode observar nesta figura, o consumo de energia apresenta comportamento de crescimento a taxas menores após 2040, o que decorre de necessidades menores de expansão de infraestrutura no Brasil, cujo maior esforço já teria sido realizado. A demanda de aço se daria principalmente para expansões marginais de infraestrutura, produção de automóveis (que também apresenta taxas decrescentes ao final do período) e reposição/manutenção de infraestrutura existente. Ao longo do horizonte, visualiza-se que a expansão da indústria siderúrgica dar-se-á preponderantemente a partir de usinas integradas com uso de coque, como pode ser observado na Figura 41. Cumulativamente, entre 2013-2050, estima-se que mais de 70% da expansão de capacidade dar-se-á a partir deste tipo de usina, fato que tem intrínseca consequência para o futuro perfil de consumo de energia neste segmento industrial.

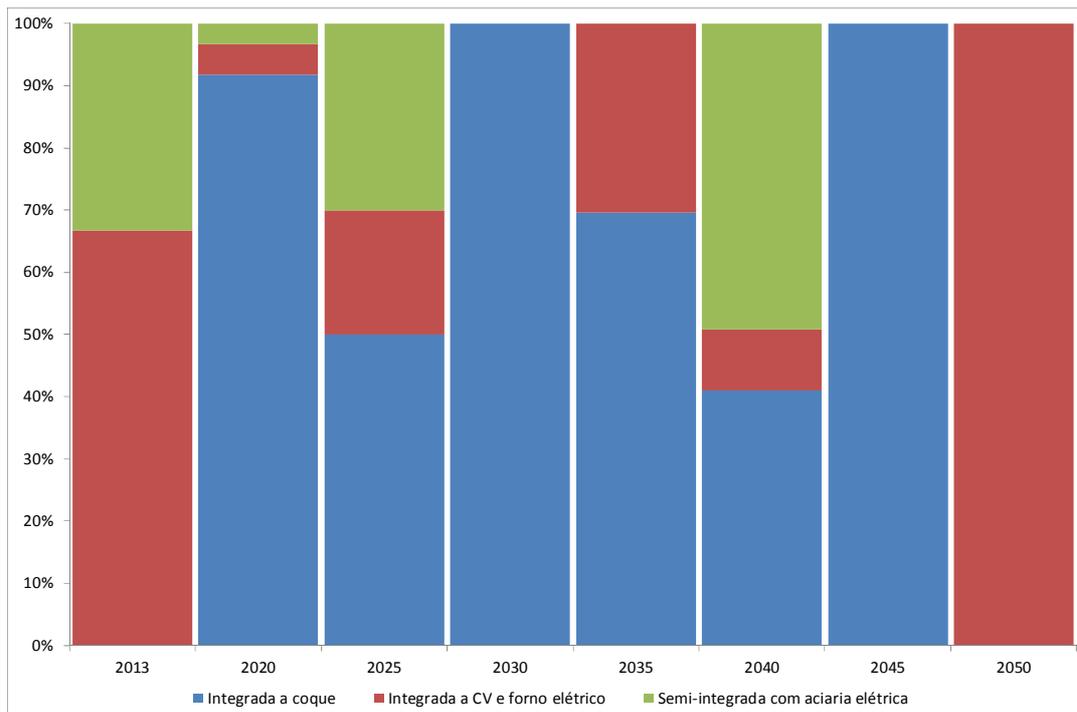


Figura 41- Ferro-gusa e aço: perfil de expansão de capacidade por rota.

Fonte: Elaboração EPE

Uma importante parcela energética consumida nessa indústria refere-se ao consumo de redutores, em especial, o coque de carvão mineral e o carvão vegetal. O principal redutor na indústria siderúrgica brasileira atualmente é o coque de carvão mineral, que passa de 44,9% em 2013 para 42,4% em 2050, com incremento médio de 1,6% anuais no período, atingindo o volume consumido de quase 20 milhões de toneladas ao final do horizonte, contra cerca de 11 milhões de toneladas em 2013. Além do coque de carvão mineral, outro redutor importante no caso brasileiro refere-se ao carvão vegetal.⁸ Atualmente, o carvão vegetal detém cerca de 20% do consumo final energético na indústria siderúrgica. No cenário de expansão de capacidade considerado, estima-se que nas duas últimas décadas haja espaço para penetração de unidades baseadas em carvão vegetal, a partir de ganho relativo de competitividade. Neste cenário, o carvão vegetal poderia atingir uma participação em torno de 20% do consumo final do segmento siderúrgico, enquanto o coque metalúrgico reduziria sua importância para 42% em 2050. Finalmente, a utilização de gás natural como redutor ao longo desse horizonte não é considerada, uma vez que se assume que tal fonte não mostrará competitividade para uso siderúrgico.

No tocante ao consumo de eletricidade, estima-se que o consumo de eletricidade nesta indústria aumente de 20 TWh em 2013 para cerca de 40 TWh em 2050, com crescimento médio de 2% anuais, passando sua participação de 10,4% para 11% da matriz energética.

⁸ Tal carvão vegetal deverá ser produzido a partir de florestas plantadas, aproveitando a vantagem comparativa brasileira na produção de eucalipto e a tendência de valorização de produtos com baixo teor de emissão de gases de efeitos estufa, como é o caso.

Este incremento da participação se dá por conta do gradual aumento de importância da produção de aço a partir de aciarias elétricas⁹ ao longo do período, dado o aumento da disponibilidade de sucata e, conseqüentemente, da disponibilidade de sucata ao longo do período.

Cabe destacar que boa parte da eletricidade consumida na produção de aço será advinda de autoprodução a partir dos gases residuais inerentes do próprio processo siderúrgico, dado que uma parcela significativa da expansão da indústria siderúrgica deverá ocorrer como usinas integradas a coque metalúrgico, com coqueria própria¹⁰. Este processo permite a geração de gás de coqueria, gás de alto-forno a coque e gás de aciaria (advinda da aciaria a oxigênio). Entretanto, as expansões consideradas de aciarias elétricas não têm a possibilidade de autoprodução elétrica, fazendo com que devam consumir energia advinda da rede elétrica.

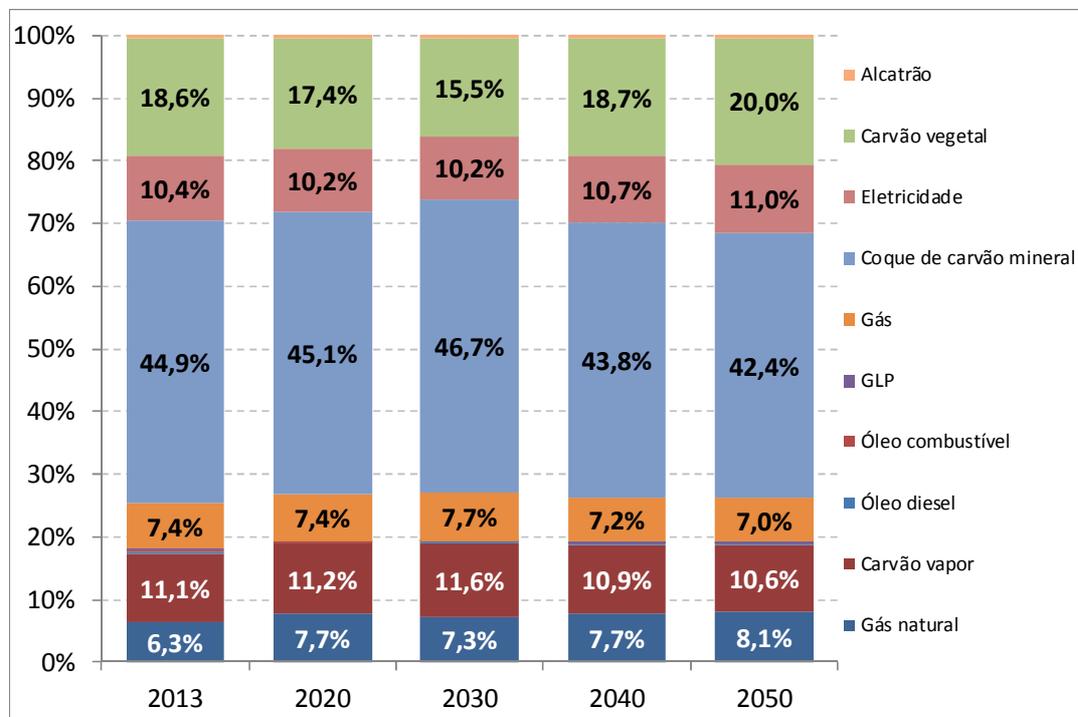


Figura 42- Ferro-gusa e aço: consumo final energético, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE

Cabe destacar, ainda que a taxa de crescimento da demanda de energia nesta indústria (1,8% ao ano) apresenta-se pouco inferior ao previsto para a variação média da produção física de aço bruto neste período (2,4% anuais), contribuindo para esses resultados, essencialmente, os ganhos de eficiência energética nesse período, que permitem reduzir o consumo específico de energia, que evolui de 0,48 para 0,39 tep por tonelada de aço bruto

⁹ Aciarias elétricas reciclam sucata para a produção de aço bruto. São eletrointensivas e têm consumo específico médio de 870 kWh por tonelada atualmente.

¹⁰ A partir da transformação do carvão metalúrgico, as coqueiras produzem coque metalúrgico, gás de coqueria e alcatrão. O carvão metalúrgico não existe no Brasil e deve ser importado.

entre 2013 e 2050. Nesse horizonte, o consumo específico de eletricidade reduz-se de 575 para 497 kWh por tonelada produzida de aço bruto. O comportamento desses indicadores é exibido na Figura 43.

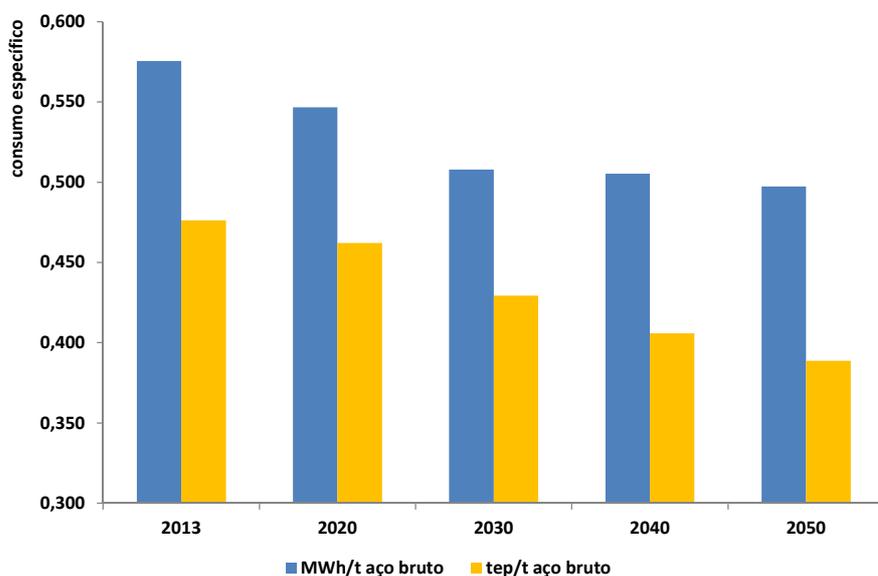


Figura 43- Ferro-gusa e aço: indicadores de consumo específico de energia (tep/t de aço e kWh/t de aço)
 Fonte: Elaboração EPE

Basicamente, a evolução desses índices está relacionada às expansões no período, observando-se queda mais acentuada do consumo específico de eletricidade no período entre 2020-2030, onde se concentram as expansões de plantas integradas a coque, com menor consumo específico de eletricidade, conforme se pode observar na Tabela 3. Outro aspecto que contribui para a redução dos indicadores de consumo específico ao longo do período são os ganhos de eficiência energética. Dentre esses ganhos no uso final, as opções incluem, entre outros, a substituição de finos no alto forno e na sinterização, a recuperação de energia térmica contida em gases residuais, a oxi-combustão e a otimização energética de fornos de reaquecimento e o uso de lingotamento contínuo (Contrucci, 2010). Exemplos de possíveis ganhos de eficiência identificados na indústria siderúrgica brasileira são apresentados na Figura 44, que ilustra os potenciais por medida específica em determinadas etapas do processo de produção para o ano de 2010, podendo haver mais de uma medida aplicável a determinada etapa.

Tabela 3- Consumo específico de eletricidade por tipologia de planta siderúrgica no ano base.

Rota	Consumo específico (kWh/t)
Planta integrada com produção de coque e sem laminação	387
Planta integrada com produção de coque	387
Planta integrada com aquisição de coque de terceiros	509
Semi-integrada, aciaria elétrica.	871
Usinas com fornos elétricos, mas com produção de gusa em AF a carvão vegetal	879
Usinas com fornos elétricos, mas com produção de ferro-esponja (redução direta)	594

Fonte: EPE (2009)

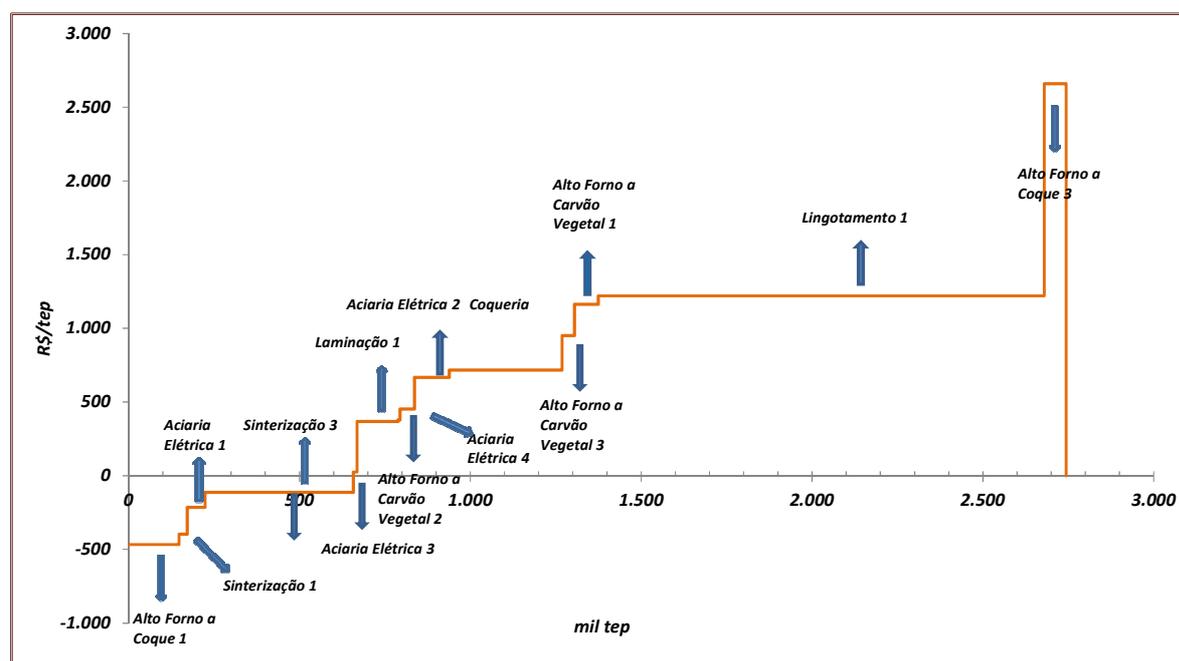


Figura 44- Ferro-gusa e aço: curva de oferta potencial de eficiência energética por medida
Nota: Potencial total estimado: 2,7 milhões de tep. Valores para o ano de 2010.

Fonte: Elaboração EPE a partir de Contrucci (2010)

3.3.1.2.3 Ferro-ligas

A indústria de ferro-ligas desempenha papel importante para a cadeia de produção siderúrgica, uma vez que estas ligas entram na composição de diversos tipos de aço, possibilitando a obtenção de propriedades especiais desejadas, conforme o tipo de ferro-liga utilizado. O parque industrial brasileiro de ferro-ligas tem composição bastante diversificada, englobando a produção de diversos tipos de liga, onde aquelas à base de manganês e silício respondem pelo maior volume da produção brasileira.

Assim, uma parte da produção de ferro-ligas tem vinculação direta com a produção de aço. A diversidade de ferro-ligas e de propriedades desejadas em cada caso reflete a existência de um segmento industrial bastante heterogêneo e, assim sendo, o consumo de ligas por

tipo de aço apresenta grande dispersão de valores. Neste estudo, essa heterogeneidade é tratada a partir da utilização de uma relação média de consumo nacional de ferro-ligas variando de aproximadamente a de 24 kg de ferro-ligas por tonelada produzida de aço nos últimos anos, decrescendo para 22 kg de ferro-ligas por tonelada de aço em 2050.

Além do atendimento ao mercado siderúrgico doméstico, outro componente que impacta a produção nacional de ferro-ligas no horizonte engloba as exportações que, no horizonte de longo prazo, assume-se que manterão volumes expressivos, representando em torno de ¼ produção brasileira de ferro-ligas em 2050.

Para a estimativa da evolução da demanda de energia na indústria brasileira de ferro-ligas, um aspecto importante refere-se ao perfil de consumo de eletricidade na produção dessas ferro-ligas, o que varia bastante dependendo do tipo de liga produzida (Tabela 4). Por exemplo, dependendo da liga, este valor varia entre 1,6 a 13,5 MWh por tonelada (para o caso do ferro-níquel), valor este próximo ao consumo de uma planta de alumínio.

Tabela 4- Consumo específico de eletricidade por tipo de ferro-liga.

Tipo	Consumo Específico Médio (kWh/t)
Ferro-ligas ao manganês	1.600 - 4.200
Ferro-ligas ao silício	4.500 - 14.000
Ferro-ligas ao cromo	1.800 - 5.600
Ferro-ligas ao níquel	12.500

Fonte: Adaptado de METALDATA (2009)

O cenário de evolução do “mix” de produção de ferro-ligas assume um cenário de participação relativamente estável comparado à situação corrente, com variações ocasionais para um ou outro determinado tipo de liga. No horizonte decenal há uma elevação deste indicador devido à entrada de algumas plantas de produção de ferro-ligas específicas bastante eletro-intensivas, não sendo estimado se propagar esse tipo de expansão no longo prazo. Como resultado dessa premissa, após essa elevação do indicador, o mesmo se reduz ao longo tempo, atingindo aproximadamente 9,3 MWh/t de ferro-ligas em 2050. Comportamento similar é observado para o consumo específico de energia, como se pode observar na Figura 45.

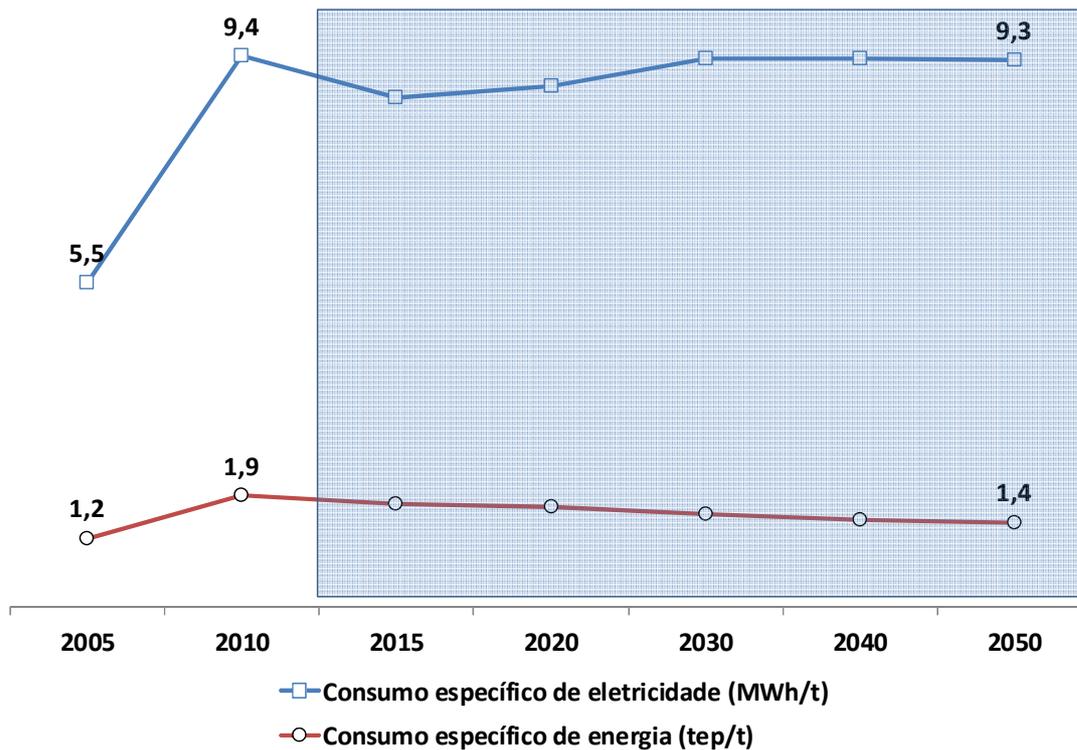


Figura 45- Ferro-ligas: Evolução de consumos específicos de energia e eletricidade.
 Fonte: Elaboração EPE

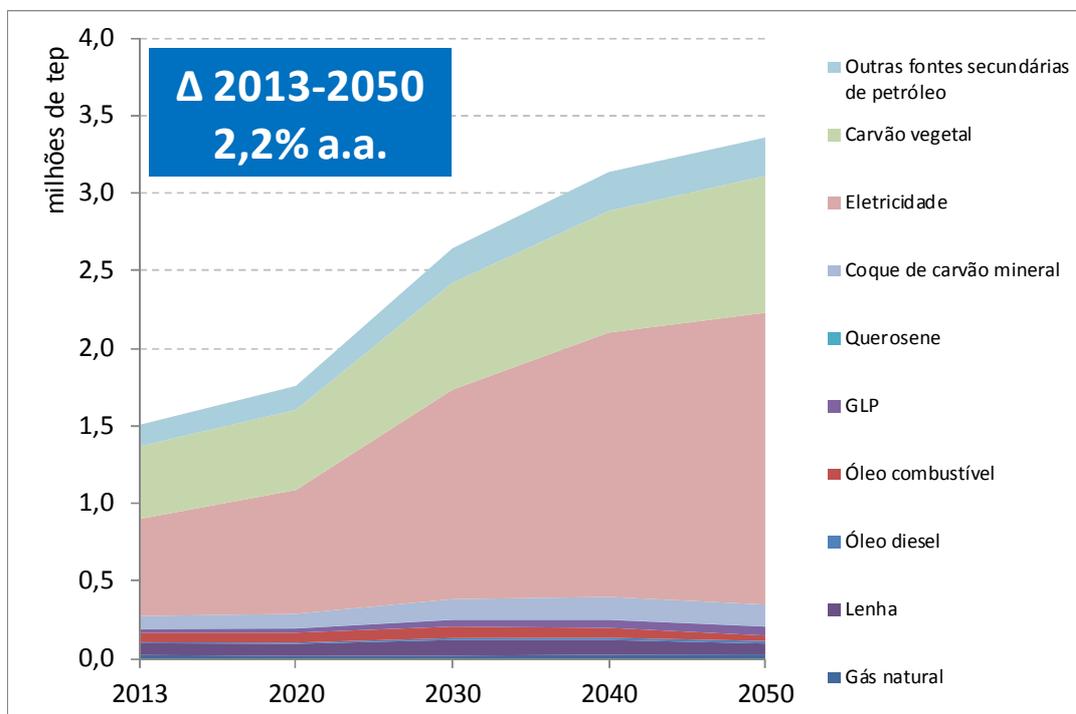


Figura 46- Ferro-ligas: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
 Fonte: Elaboração EPE

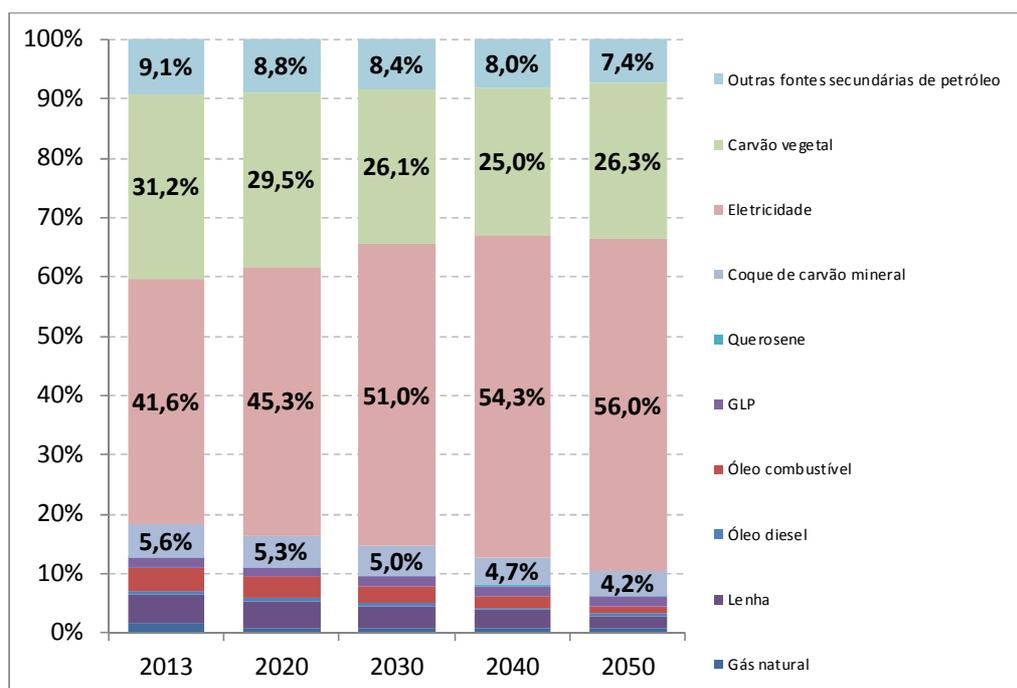


Figura 47- Ferro-ligas: consumo final energético, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE

3.3.1.2.4 Mineração e Pelotização

O segmento industrial de mineração e pelotização responde por aproximadamente 3,5% do consumo final energético industrial brasileiro. No longo prazo, há um cenário favorável para a produção física de minério de ferro, de bauxita e de pelotas, fazendo com que este segmento tende a aumentar a sua importância na indústria, tanto em termos de valor adicionado quanto de consumo de energia. Desta forma, sua participação no consumo final energético industrial alcança 5% em 2050. Para alcançar este nível de importância, este segmento cresce à taxa anual de 3,2% entre 2013 e 2050, acima da média industrial, saltando de 3,3 para 10,3 milhões de tep neste período.

Apesar de tal incremento, espera-se que haja uma gradual redução da intensidade energética ao longo do período em estudo. Entre 2013 e 2050, este indicador passa de 72 para 47 tep por milhão de reais, devido a ganhos de eficiência energética nessa indústria. É de particular importância a expectativa do consumo de gás natural neste segmento, por conta das unidades de pelotização. Muitas dessas plantas industriais são intensivas em gás natural, sendo que há a expectativa de que as plantas que utilizam óleo combustível possam ser convertidas proximamente para o uso de gás natural. No cenário adotado, há forte expansão do cenário produtivo de pelotização, considerando um consumo específico de gás natural em torno de 16 m³ por tonelada produzida de pelotas. Como resultado desse cenário, espera-se um elevado incremento da participação do gás natural no segmento industrial de mineração e pelotização, que sai dos atuais 22% para 46% em 2050, período em que há uma massiva entrada de novas plantas pelotizadoras, mais que duplicando o percentual atual. De forma oposta, o óleo combustível perde participação gradualmente no período 2013-2050, sendo substituído por outras fontes, notadamente o gás natural.

A eletricidade é o principal energético utilizado em mineração e pelotização e cresce acompanhando o consumo de energia global do segmento. Desta forma, mantém-se com uma participação pouco superior a 30% em todo o período, refletindo o crescimento médio anual de 3,1%.

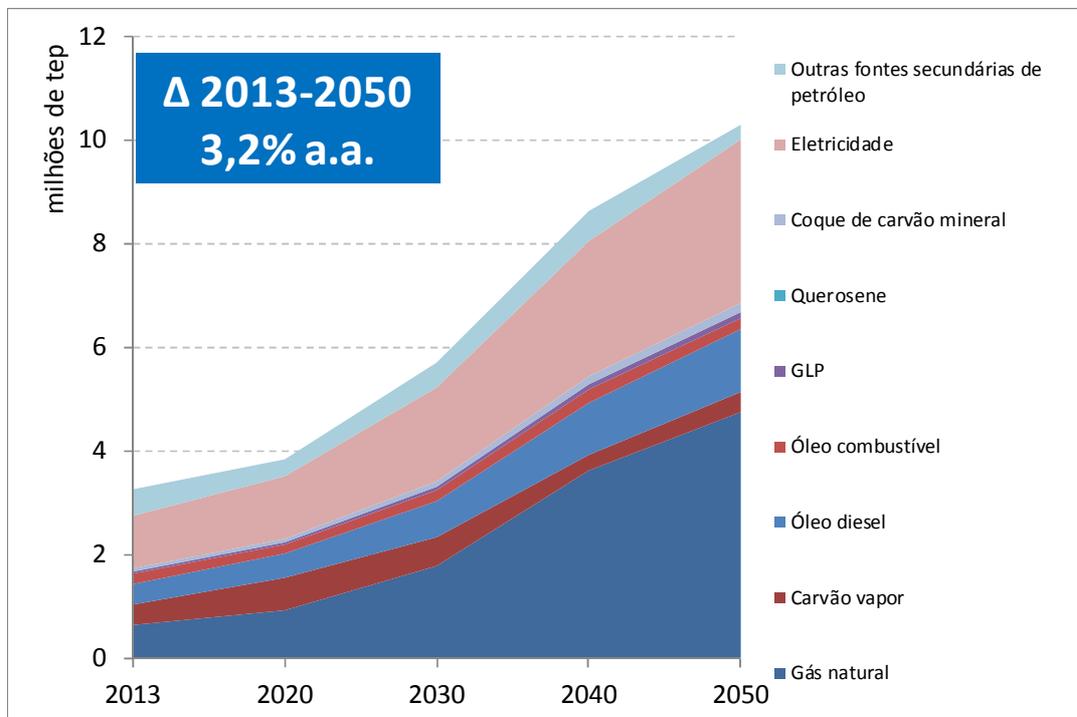


Figura 48- Mineração e pelotização: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
Fonte: Elaboração EPE

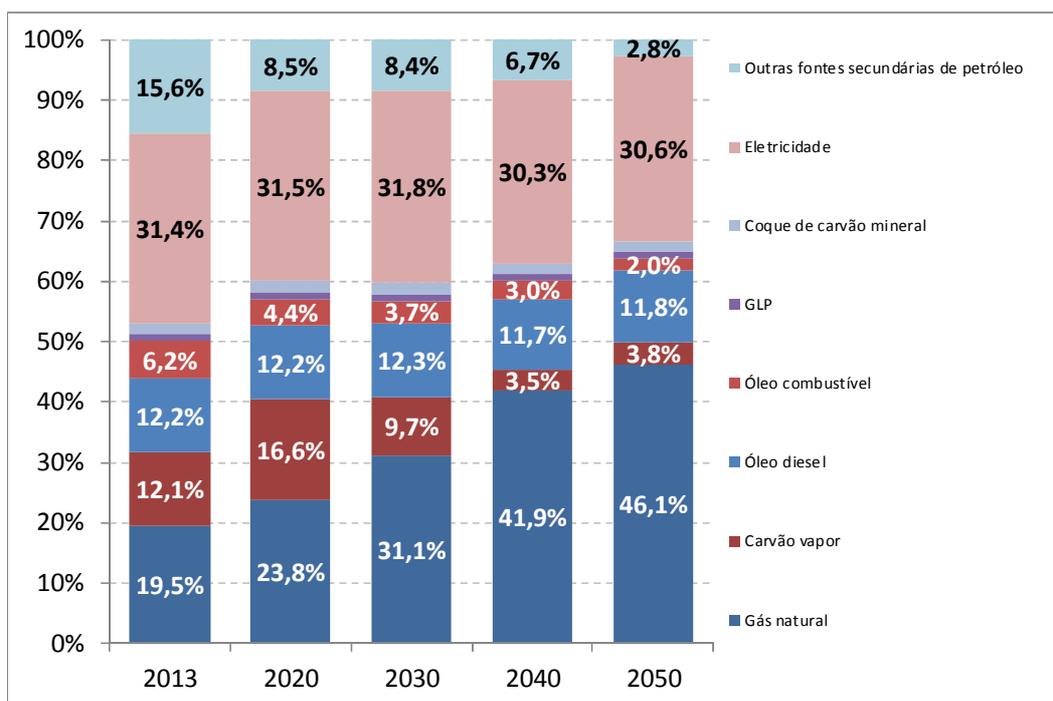


Figura 49- Mineração e pelotização: consumo final energético, por fonte (%)
Fonte: Elaboração EPE

3.3.1.2.5 Não-ferrosos e outros da metalurgia

O segmento industrial de não-ferrosos e outros da metalurgia inclui diversos subsegmentos, como a cadeia do alumínio¹¹ (composta por alumina, alumínio primário e alumínio secundário¹²), a produção de cobre, zinco, entre outros produtos metálicos.

A produção de alumínio é muito importante no montante do consumo energético, por ser altamente eletrointensiva. O consumo específico de eletricidade da produção primária deste metal situa-se atualmente em torno de 14,5 MWh por tonelada, estimando-se que esse indicador atinja cerca de 12,5 MWh por tonelada em 2050.

Ainda na cadeia do alumínio, a produção de alumina tem um consumo específico de eletricidade bem inferior ao do alumínio primário, com cerca de 300 kWh por tonelada atualmente. Além disso, também há um significativo consumo de óleo combustível neste processo, com um consumo específico em torno de 100 kg por tonelada produzida.

O cenário econômico adotado mostra um crescimento da produção de alumina bem superior à de alumínio, apontando uma tendência de primarização da cadeia, onde a produção de alumina e de bauxita ganha importância, em detrimento da produção de alumínio.

Adicionalmente, por conta principalmente da reduzida perspectiva de expansão da produção de alumínio, este segmento tende a expandir a sua demanda energética a uma taxa bem inferior à média industrial, com apenas 0,9% ao ano entre 2013 e 2050, saindo de 6,8 para 9,4 milhões de tep. Cabe ressaltar que também contribui para o baixo crescimento do consumo final energético deste segmento uma intensidade energética decrescente ao longo do período, por conta tanto da penetração de eficiência energética quanto de um gradual aumento de importância de setores menos energo-intensivos, no lugar da produção de alumínio.

¹¹ A cadeia do alumínio considerada no segmento de não-ferrosos e outros da metalurgia não inclui a extração da bauxita. Esta atividade é integrante do segmento de mineração e pelotização.

¹² O alumínio secundário é obtido a partir do processamento de sucata.

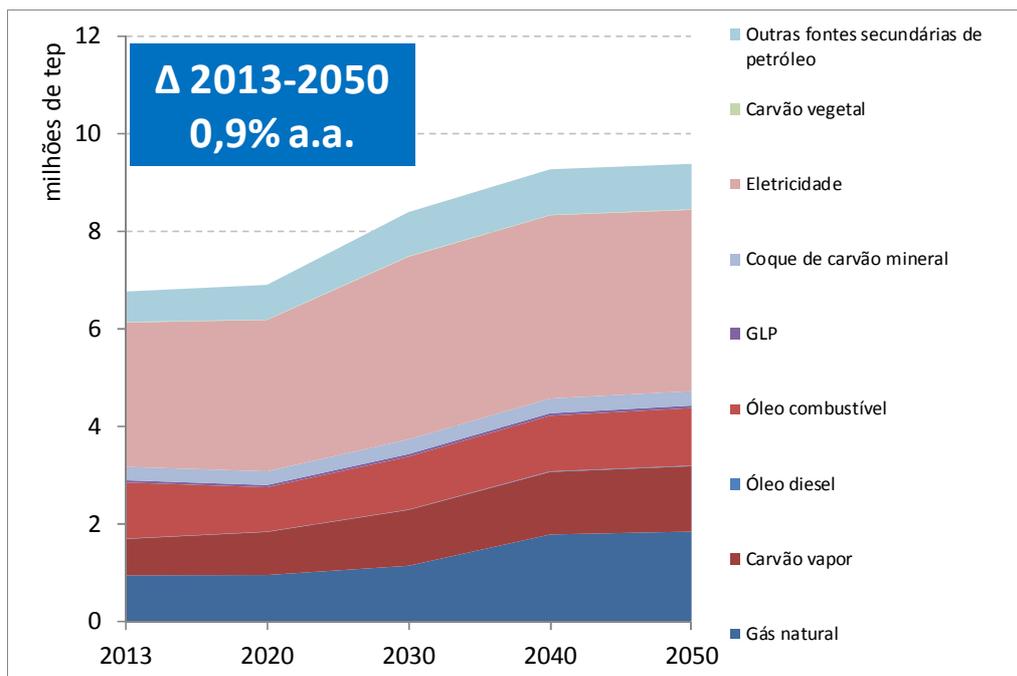


Figura 50- Não-ferrosos e outros da metalurgia: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)

Fonte: Elaboração EPE

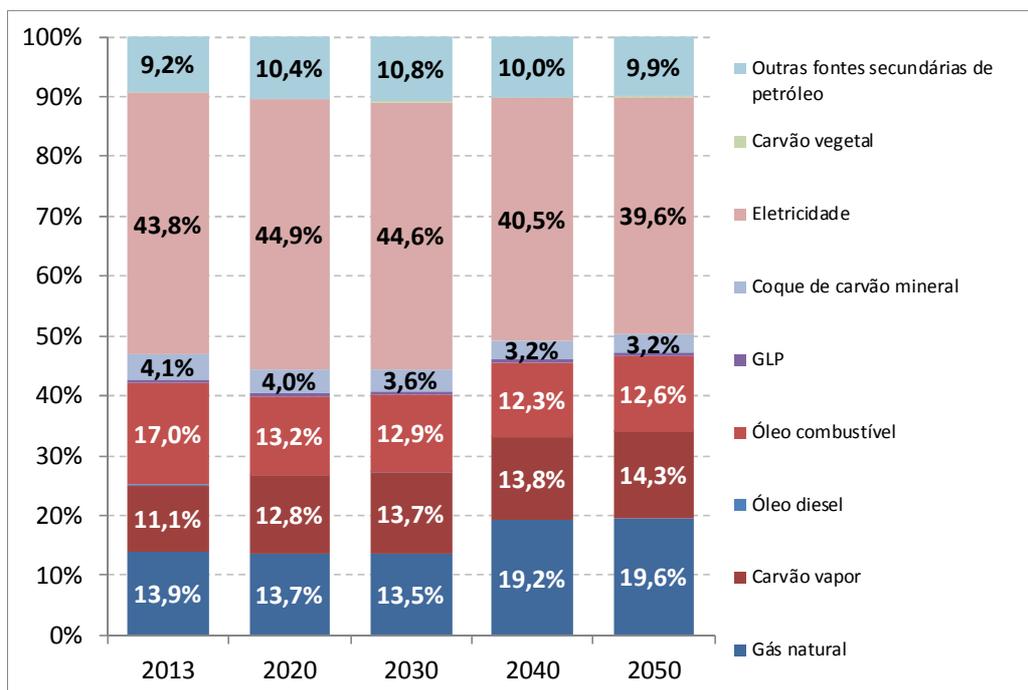


Figura 51- Não-ferrosos e outros da metalurgia: consumo final energético, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE

3.3.1.2.6 Química

Dentro da indústria química, segmentos tais como petroquímica, produção de fertilizantes e de cloro-álcalis despontam como os principais consumidores de energia. No cenário

adotado, o segmento químico como um todo ganhará importância, alcançando cerca de 19 milhões de tep em 2050, tendo partido em 2013 de somente 7 milhões de tep, quase triplicando o consumo energético. Tal fato se deve a um crescimento de outros segmentos industriais que alavancam a atividade da indústria química¹³.

O setor de soda-cloro é relevante em termos de planejamento energético devido à sua alta intensidade elétrica¹⁴. Esse aspecto é bastante relevante na medida em que - diferentemente de outros segmentos tais como a produção de petroquímicos básicos, em que a autoprodução tem peso relevante -, na indústria de produção de soda-cloro a autoprodução elétrica se mostra menos competitiva, e a demanda é essencialmente atendida pela rede elétrica.

Muito embora o gás natural se destaque neste cenário como insumo da indústria petroquímica e de fertilizantes, pelo seu valor econômico (substituição de importação de produtos de alto valor agregado) e estratégico (por exemplo, na agricultura minimizando a dependência externa) respectivamente, seu uso como combustível industrial mostra significativo crescimento ao longo do período (Figura 53). Os segmentos da indústria química mais relevantes sob o ponto de vista energético serão mais bem detalhados a seguir.

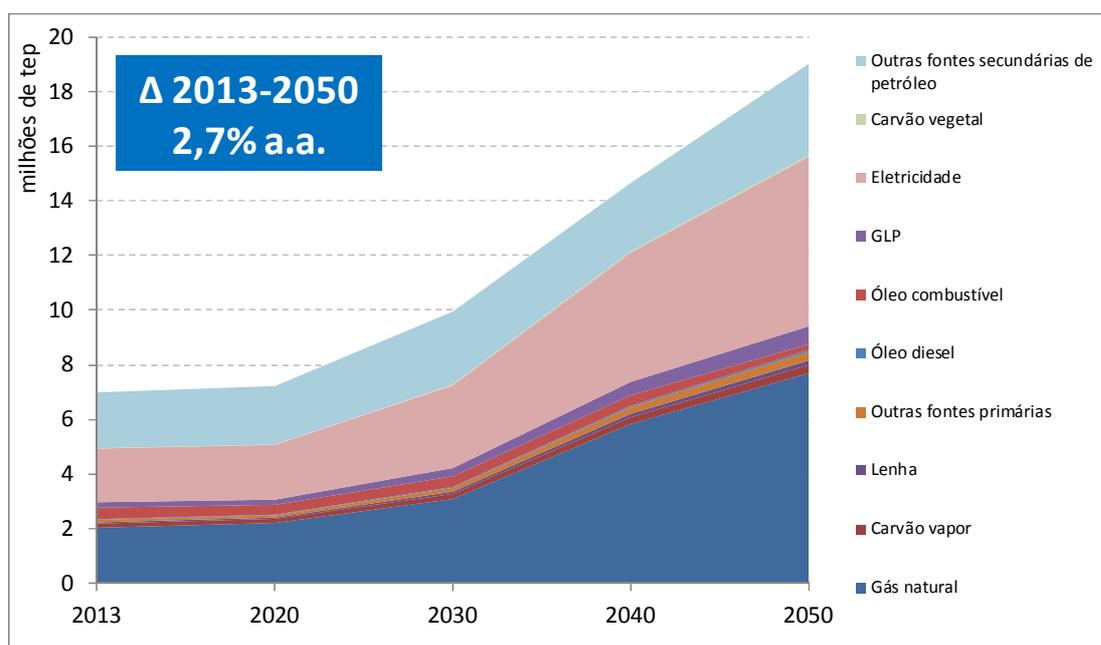


Figura 52- Química: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
Fonte: Elaboração EPE

¹³ Elevado consumo de petroquímicos e de cloro atribuído a indústria de construção civil muito aquecida no período (por exemplo, PVC e demais resinas, saneamento básico, etc.), assim como o crescimento da agropecuária que permite uma evolução na indústria de fertilizantes (destacando os nitrogenados com base em gás natural).

¹⁴ A produção concomitante de cloro e soda cáustica se baseia na eletrólise que apresenta um consumo específico de eletricidade elevado, e varia de acordo com a tecnologia de produção, se situando entre 2,9 e 3,6 MWh por tonelada de cloro produzido (ABICLOR, 2014b).

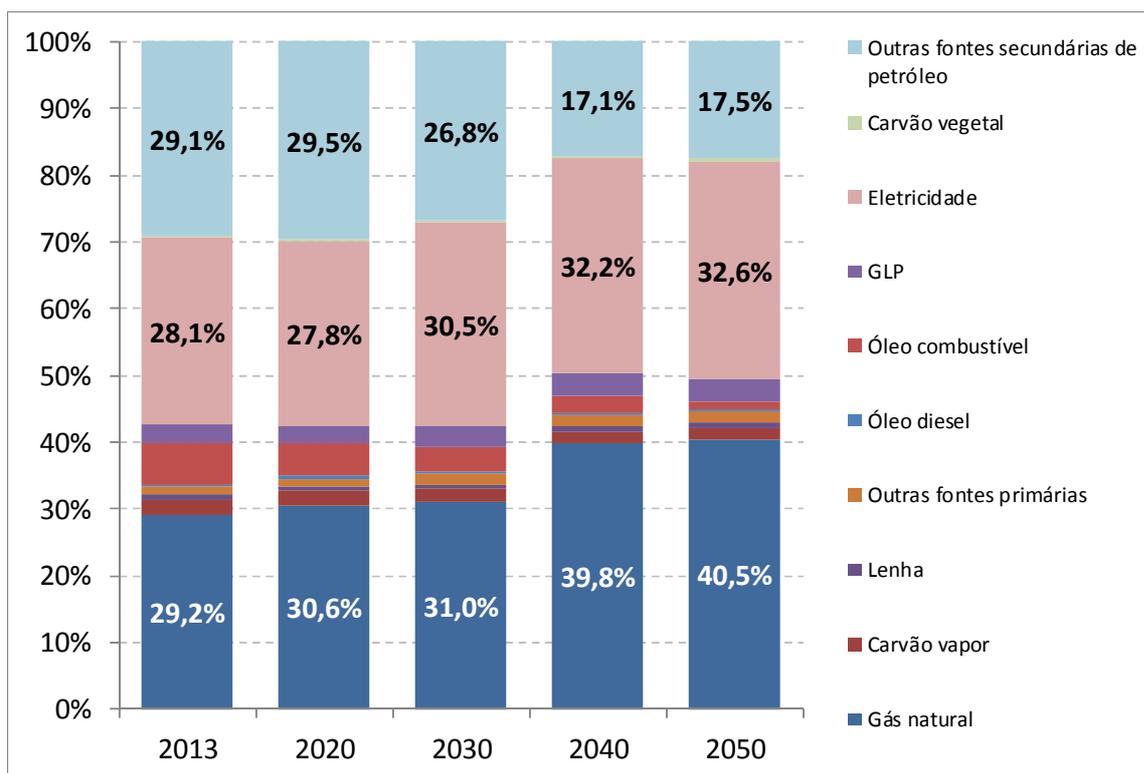


Figura 53- Química: consumo final energético, por fonte (%)
 Fonte: Elaboração EPE

- **Petroquímica**

Atualmente, a Indústria petroquímica brasileira tem a produção voltada basicamente para atendimento ao mercado interno brasileiro. Trata-se de uma indústria intensiva em tecnologia e em energia (normalmente com contribuição relevante da autoprodução), cuja competitividade relaciona-se com a garantia de insumos¹⁵. Atualmente, o atendimento à demanda do mercado doméstico tem apresentado déficit crescente na balança comercial, com importações substanciais de nafta. No horizonte de longo prazo, a capacidade da indústria química brasileira atender à demanda crescente de produtos tem como desafio a inserção competitiva desta indústria no país. O cenário futuro da petroquímica nacional apresenta incertezas quanto à influência do “shale gas” nos EUA - que confere grande competitividade à indústria daquele país -, quanto à inserção das exportações chinesas no mercado nacional, à oferta de matéria prima petroquímica e aos projetos para a produção de petroquímicos básicos.

Um dos principais produtos demandados dessa indústria são as resinas, cujos principais segmentos industriais que impulsionam sua demanda são setor de embalagens (alimentos e bebidas, agricultura, bens de consumo etc.), o setor automotivo, a construção civil, bem como bens de capital, que impulsionam, respectivamente, a demanda por PVC, polietileno, polipropileno e demais termoplásticos.

¹⁵ Matérias primas tais como nafta, gás natural e/ou etanol.

No cenário de longo prazo, a perspectiva da demanda por resinas é crescente (Figura 54). Atualmente, o consumo no Brasil é de cerca de 30 kg de plástico/habitante, nível semelhante ao de Argentina e México. Alcançando ao final de 2020, cerca de 40 kg e ampliando a cada década uma média de 20 kg por habitante. Assim em 2040, se encontraria em patamares semelhantes à Espanha e em 2050, se aproximando de Japão e Espanha (cerca de 85 kg/hab/ano de resinas termoplásticas). A expansão desse nível de consumo per capita inclui também a ampliação de seus usos em substituição a materiais tradicionais tais como metais e vidro, o maior uso de fibras sintéticas em substituição às naturais na indústria têxtil, assim como o desenvolvimento de novos plásticos e novas aplicações neste segmento.

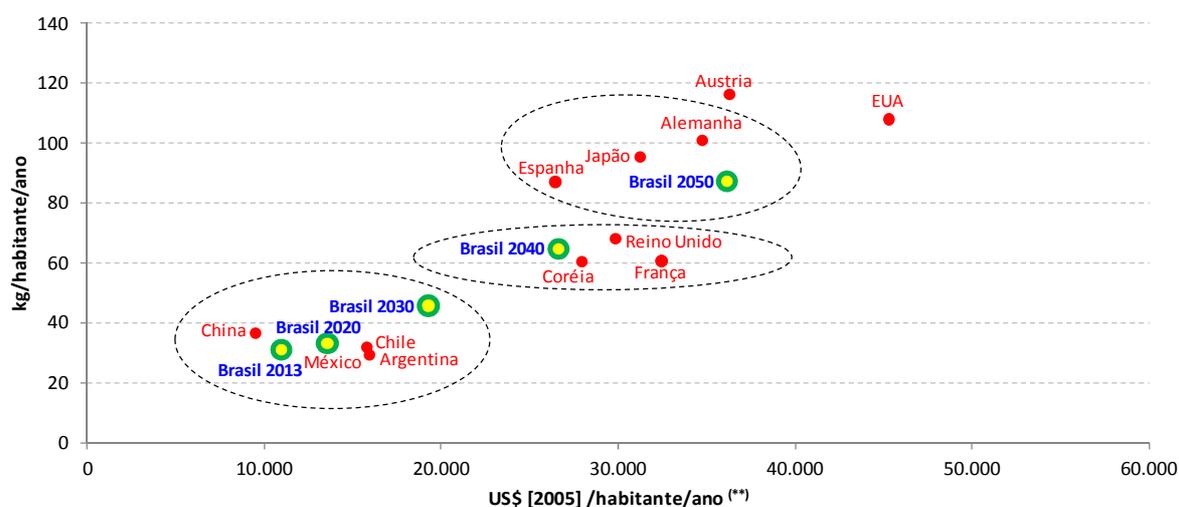


Figura 54- Evolução do consumo brasileiro per capita de resinas e comparação internacional.

(**)- PIB per capita referenciado a US\$ [2005] PPP. Os dados são relativos ao ano de 2010 para todos os países com exceção do Brasil.

Fontes: EPE, ABIQUIM e IEA, Key World Energy Statistics 2012. Elaboração EPE.

No horizonte do PNE 2050, a importância desses materiais para a economia brasileira, converge para esforços a serem realizados de modo a garantir o abastecimento interno mantendo certo nível de importação, em especial dos produtos disponibilizados abundantemente no mercado pelos grandes “players” mundiais de polietilenos e de polipropilenos provenientes dos novos “crackers” (cuja expansão recente tem se dado primordialmente à base gás natural). Nesse sentido, o balanço oferta interna-demanda esperado neste horizonte exibe um equilíbrio administrável de importações ao longo do período, conforme se pode observar na Figura 55.

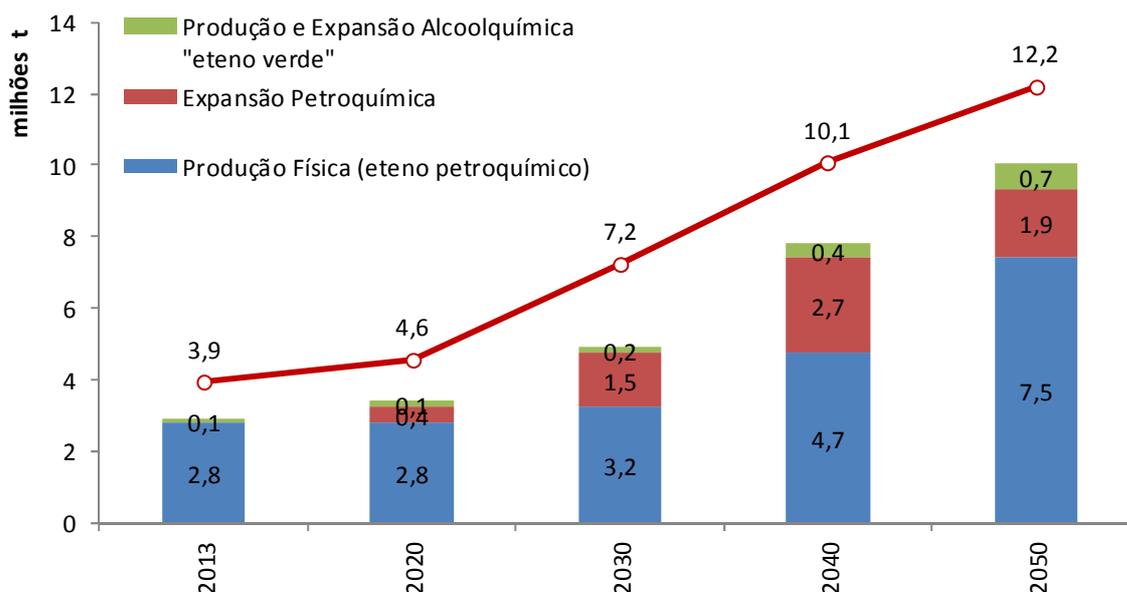


Figura 55- Produção física e demanda interna petroquímica (base eteno).

Fonte: Elaboração EPE

Uma discussão importante nesse horizonte refere-se às matérias primas para abastecer a produção dessas resinas no longo prazo. Neste horizonte, não se espera que as tecnologias convencionais atualmente empregadas devam apresentar grandes modificações, com exceção das rotas renováveis que ainda se encontram em fase de amadurecimento e devem ganhar importância ao longo do horizonte com as restrições ambientais e a demanda crescente da sociedade por produtos com menor impacto ambiental. Nesse sentido, pode-se citar a implantação de planta de produção de polietileno a partir de etanol, instalada em Triunfo/RS, com capacidade de produção de 200 mil toneladas anuais de polietileno. Esse mercado pode explorar, por exemplo, nichos específicos como o mercado europeu, onde se observam políticas tais como o “Green new deal”. Ademais, o consumo de etanol registraria avanços significantes na logística de abastecimento do etanol e ganhos de escala ao longo do período. O etanol, neste caso de uso energético como combustível, seria disponibilizado em parte pela forte entrada de veículos elétricos e híbridos na frota automotiva a partir de 2040.

No cenário de expansão considerado para o segmento petroquímico, as matérias primas de origem fóssil mantêm sua preponderância no abastecimento da produção de resinas e o uso de etanol explora nichos específicos derivados desse mercado de resinas que se convencionou denominar “verdes”. Neste cenário, ainda, o gás natural (na realidade, as frações mais pesadas constituintes da sua composição) mantém-se como a matéria-prima mais competitiva a partir da década entre 2020-2030 em diante, resultado da oferta oriunda das reservas do pré-sal e do gás “on shore”. A oferta de nafta, possível a partir do processamento do óleo produzido no pré-sal brasileiro, por sua vez, permitiria atender parte da demanda para produzir resinas, além de possibilitar a produção de aromáticos, não possibilitada a partir do uso do gás natural e etanol. Como resultado desse cenário, as

matérias primas alternativas à nafta ganham participação em termos de capacidade instalada (Figura 56).

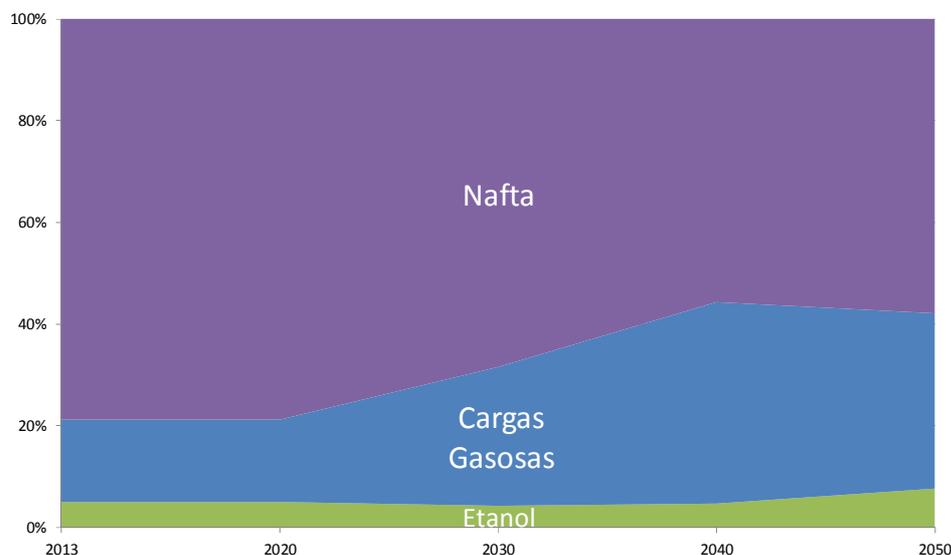


Figura 56-Petroquímica: participação das matérias primas (em %) na produção de eteno
Fonte: Elaboração EPE

- *Fertilizantes Nitrogenados (Base Amônia e Ureia)*

O Brasil consome, em média, 30 milhões de toneladas de fertilizantes por ano¹⁶, se posicionando em quarto lugar em consumo. A produção interna responde por apenas 27% do consumo - comparado com cerca de 77% na Argentina e 81% nos EUA (ANDA,2015) -, o que equivale a uma produção de fertilizantes em torno de 9 milhões de toneladas por ano. Assim, a oferta nacional é insuficiente para atender a demanda e o país torna-se cada vez mais dependente de importação. O cenário de expansão da produção agrícola nacional no longo prazo acarretará um aumento significativo na demanda por fertilizantes e consequentemente a necessidade aguda de ampliação desta oferta.

Devido ao aumento da participação do agronegócio na economia brasileira e do consumo de fertilizantes, o setor torna-se estratégico, e, portanto, a produção doméstica de fertilizantes ganha outra dimensão. Hoje, o consumo *per capita* dos fertilizantes nitrogenados (basicamente amônia e ureia) é em torno de 25 kg/habitante, nível semelhante ao de Argentina e China. Entre 2030 e 2040, a renda per capita se aproxima à de países mais desenvolvidos, como a França. Enquanto isso, o consumo de amônia e ureia atinge cerca de 40 kg por habitante. Ao final do horizonte, ainda espera-se aumento desse consumo elevando o país a um patamar próximo da Austrália, em termos da sua renda e do seu consumo atuais conforme pode ser visto no gráfico a seguir.

¹⁶ No Brasil, o setor de fertilizantes totalizou vendas de 32,2 milhões de toneladas de produtos em 2014 (ANDA,2015).

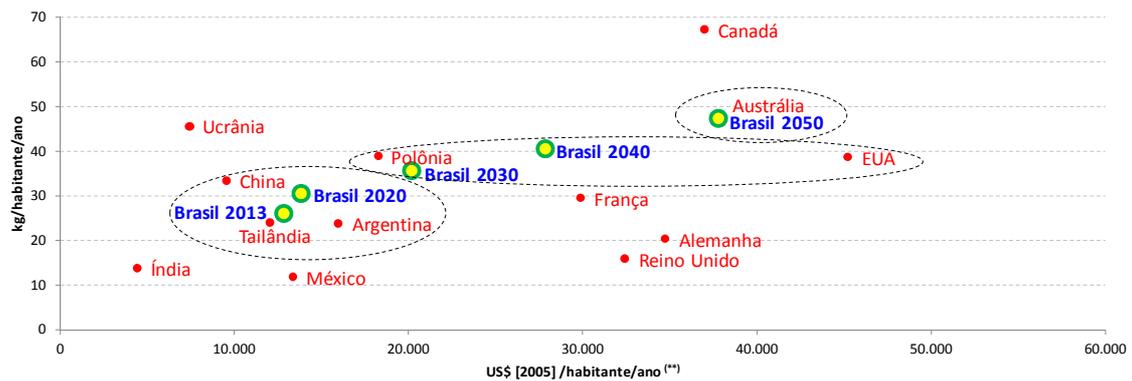


Figura 57- Evolução do consumo brasileiro per capita de fertilizantes nitrogenados e comparação internacional.

(**)- PIB per capita referenciado a US\$ [2005] PPP. Os dados são relativos ao ano de 2012 para todos os países com exceção do Brasil.

Fontes: EPE, ABIQUIM e IEA, Key World Energy Statistics 2012. Elaboração EPE.

O desenvolvimento da indústria nacional é possível com a atuação dos grandes “players” nacionais existentes neste setor e através da substituição de importações de fertilizantes. A manutenção das culturas predominantes, assim como da maior parcela do consumo de fertilizantes nas culturas de cana, milho e café¹⁷ permite considerar as expansões de ureia e de amônia amplamente utilizadas nestes cultivos e prioriza-se o uso do gás natural como matéria prima para produzir estes fertilizantes nitrogenados. O cenário de crescimento da demanda de fertilizantes nitrogenados aponta para a necessidade de expansão da sua produção. As curvas de demanda e de produção de amônia e ureia são apresentadas na Figura 58 e Figura 59.

¹⁷ Em 2010, tais culturas representaram aproximadamente 71% do total de fertilizantes consumidos no país (Lucena, 2010). A NT Recursos energéticos - 2050 apresenta maiores detalhes sobre a expansão das culturas agrícolas no país.

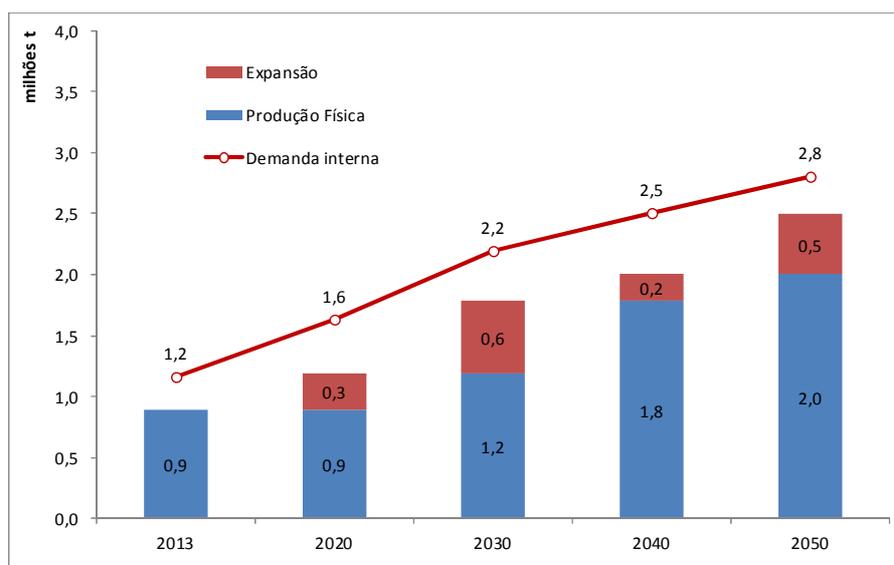


Figura 58- Fertilizantes: Balanço produção doméstica-demanda interna de amônia.
 Fonte: Elaboração EPE

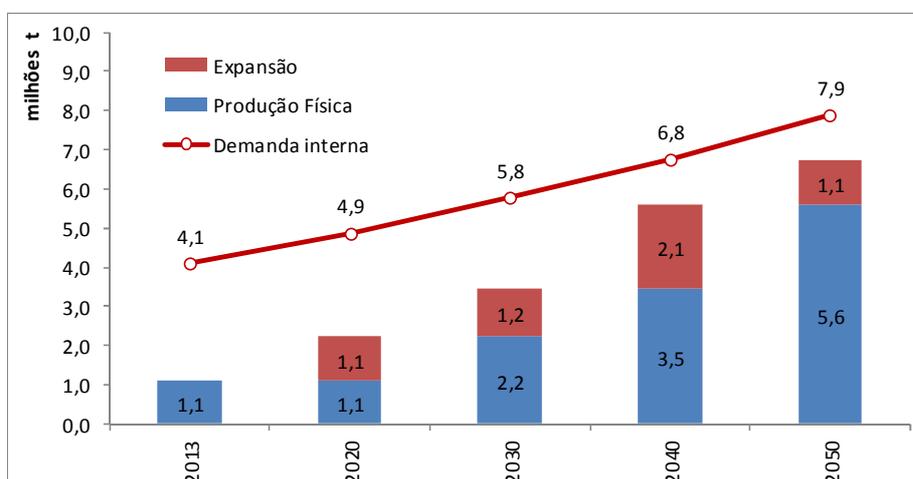


Figura 59- Fertilizantes: Balanço produção doméstica-demanda interna de ureia.
 Fonte: Elaboração EPE

- Soda-cloro

A indústria de cloro-álcalis pode ser considerada estratégica para o país no longo prazo, uma vez que o cenário de crescimento econômico e de renda no PNE 2050 indica a necessidade crescente de derivados de cloro para atendimento de diversos usos, entre eles, saneamento básico, construção civil e expansão dos usos do PVC. Nesse sentido, cabe também destacar o ainda reduzido patamar de consumo per capita de cloro comparado a outros países (Figura 60). Espera-se que o consumo brasileiro per capita de cloro, atualmente em torno de 9 kg/hab/ano, evolua nesse horizonte, porém continuaria não atingindo a média observada nos países desenvolvidos.

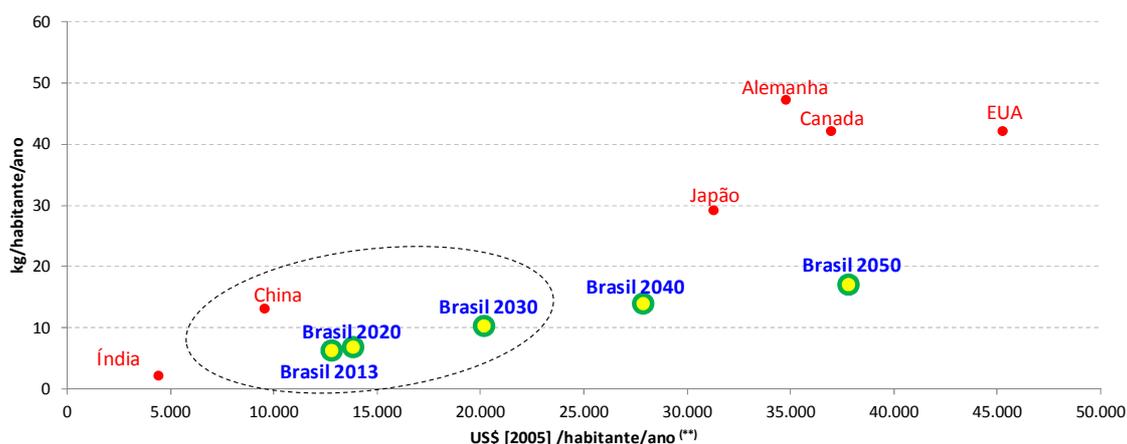


Figura 60- Comparação internacional: consumo per capita de cloro x renda per capita
 Fonte: Elaboração EPE

Em termos de perspectivas de expansão de capacidade neste segmento industrial, os gastos com energia elétrica têm influenciado fortemente nas decisões de implantação de novas plantas, de modo que o atendimento da demanda interna de cloro tem sido realizado através da importação dos seus derivados¹⁸. No caso da soda, o excesso de oferta no mercado mundial proporciona elevado grau de importação deste produto no país¹⁹.

Apesar da oferta abundante de soda no mercado mundial, quadro que não deve ser reverter no longo prazo, a produção nacional de soda-cloro sinaliza expansões de capacidade instalada desta indústria ainda no curto prazo, assim admite-se que considerando plantas de escala global (em torno de 240 mil toneladas) também seriam possíveis adições de capacidade ao longo do horizonte para atender a demanda de cloro cativo e de outros usos direcionada ao crescente mercado de saneamento básico, distribuição/revenda e de produção de celulose, por exemplo. A implicação, nesse caso, é a crescente dependência do mercado brasileiro quanto à soda e também de cloro equivalente, isto é, o cloro contido em produtos derivados.

Considerando o cenário petroquímico adotado e o atendimento somente da demanda interna de cloro, mantém-se elevado nível de importação do cloro equivalente (neste caso, derivados de cloro importados). Tal projeção com base em implantação de novas unidades permitirá a substituição parcial da soda importada e visa reduzir o déficit no setor garantindo o abastecimento dos segmentos demandantes de cloro. Os balanços entre oferta e demanda de soda e cloro são apresentados na Figura 61 e na Figura 62.

¹⁸ A produção de cloro-álcalis normalmente encontra-se associada à produção do ácido clorídrico, hipoclorito de sódio, dicloroetano (DCE) e PVC. Tais produtos são significativos nos diversos segmentos industriais e amplamente utilizados na indústria química.

¹⁹ A importação atende parcela relevante da demanda interna brasileira de soda. Nos últimos anos, em países desenvolvidos, a demanda de cloro tem comandado a produção das plantas de cloro-álcalis e a soda passou a ser um subproduto ofertado a preços reduzidos no mercado internacional.

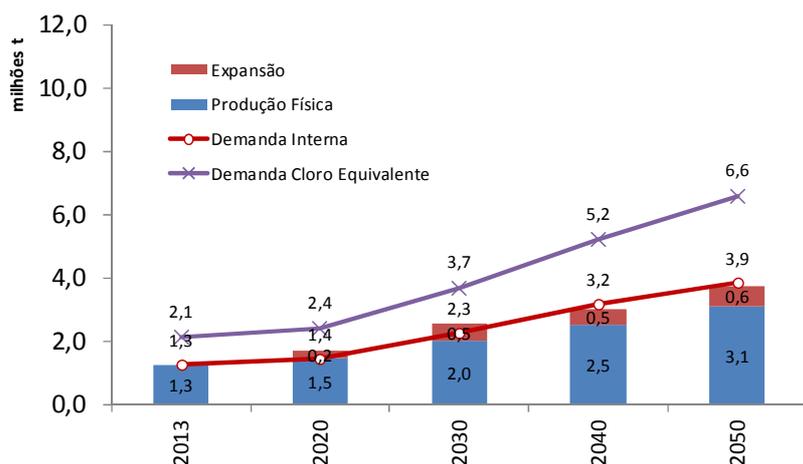


Figura 61- Produção física e demanda interna de cloro
Fonte: Elaboração EPE

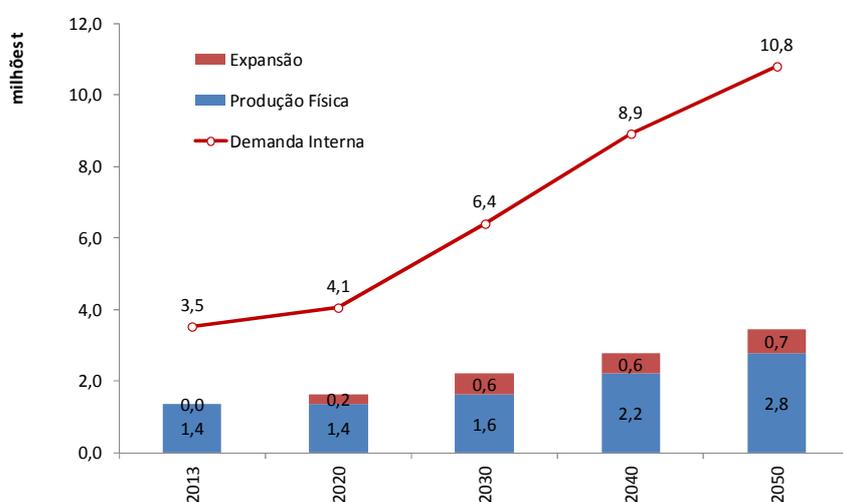


Figura 62- Produção física e demanda interna de soda cáustica
Fonte: Elaboração EPE

3.3.1.2.7 Alimentos e Bebidas

No Brasil, a elaboração de um cenário para o consumo final energético do segmento industrial de alimentos e bebidas deve, necessariamente, incorporar efeitos advindos da trajetória esperada da produção de açúcar, muito importante no país, e da produção de outros alimentos e bebidas.

O País tem uma grande vantagem comparativa internacional em termos de ATR²⁰ na produção de açúcar e etanol na indústria sucroalcooleira²¹, sendo referência mundial em tecnologia sucroalcooleira, por conta da alta produtividade da cana-de-açúcar nacional.

²⁰ ATR = Açúcar total recuperável.

²¹ Existem unidades dedicadas (destilarias), mistas (produção de açúcar e etanol) e usinas (dedicadas somente à produção de açúcar).

Desta forma, atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de açúcar e responde por quase metade das exportações mundiais.

A importância da produção de açúcar no Brasil reflete-se no consumo de energia dentro do segmento de alimentos e bebidas, que corresponde a aproximadamente $\frac{3}{4}$ do consumo final energético desta indústria atualmente, através do uso de bagaço de cana. Contudo, devido à eficientização das etapas de processo, a demanda por bagaço vem diminuindo ao longo do tempo. No cenário adotado, a produção de açúcar atinge 69 milhões de toneladas ao final do horizonte, com crescimento de 1,6% ao ano entre 2013 e 2050. Este incremento é inferior à variação média anual prevista para o valor adicionado de outros segmentos da indústria de alimentos e bebidas, 3,8% ao ano. Como consequência, há dois importantes efeitos no consumo de energia por fonte para este segmento industrial: redução da participação do bagaço de cana e crescimento do consumo final energético ao longo do horizonte em estudo a taxas inferiores à média industrial.

Desta forma, o consumo de energia do setor cresce à taxa de 1,9% ao ano, que pode ser segmentada em apenas 1,4% ao ano para a produção de açúcar e 3,2% ao ano para os demais alimentos e bebidas. Além disso, conforme esperado, os produtos da cana saem dos atuais 74% e chegam a menos de 59% do consumo final energético dos alimentos e bebidas em 2050.

Há também outros aspectos a serem considerados. Da mesma forma como ocorre com a indústria como um todo, há penetração adicional da eletricidade ao longo do horizonte em análise, que aumenta sua participação de 10,1% para 15,6%. Por outro lado, a lenha é substituída por gás natural na produção de alimentos e bebidas (exceto açúcar), fazendo com que ambas as fontes adquiram mais importância com o passar do tempo. Ainda assim, o consumo de lenha ainda cresce à taxa de 2,1% anuais, ultrapassando o montante de 16 milhões de toneladas consumidas em 2050, contra cerca de 7 milhões de toneladas em 2013.

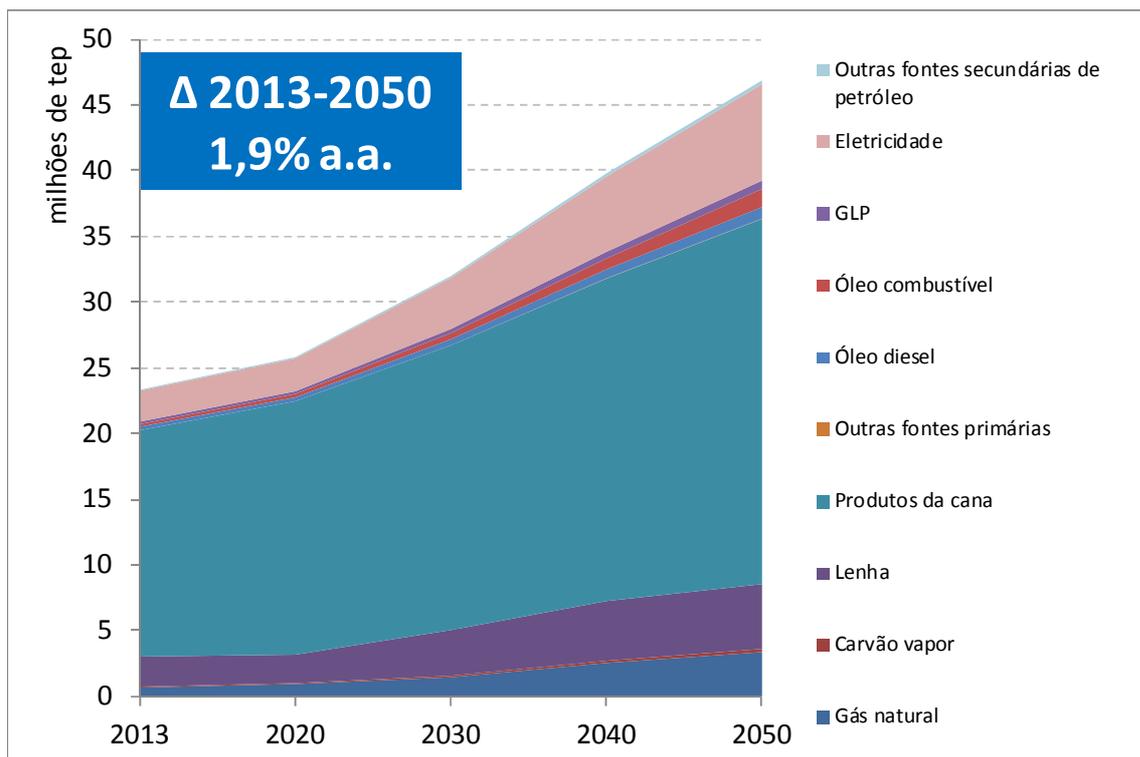


Figura 63- Alimentos e Bebidas: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
Fonte: Elaboração EPE

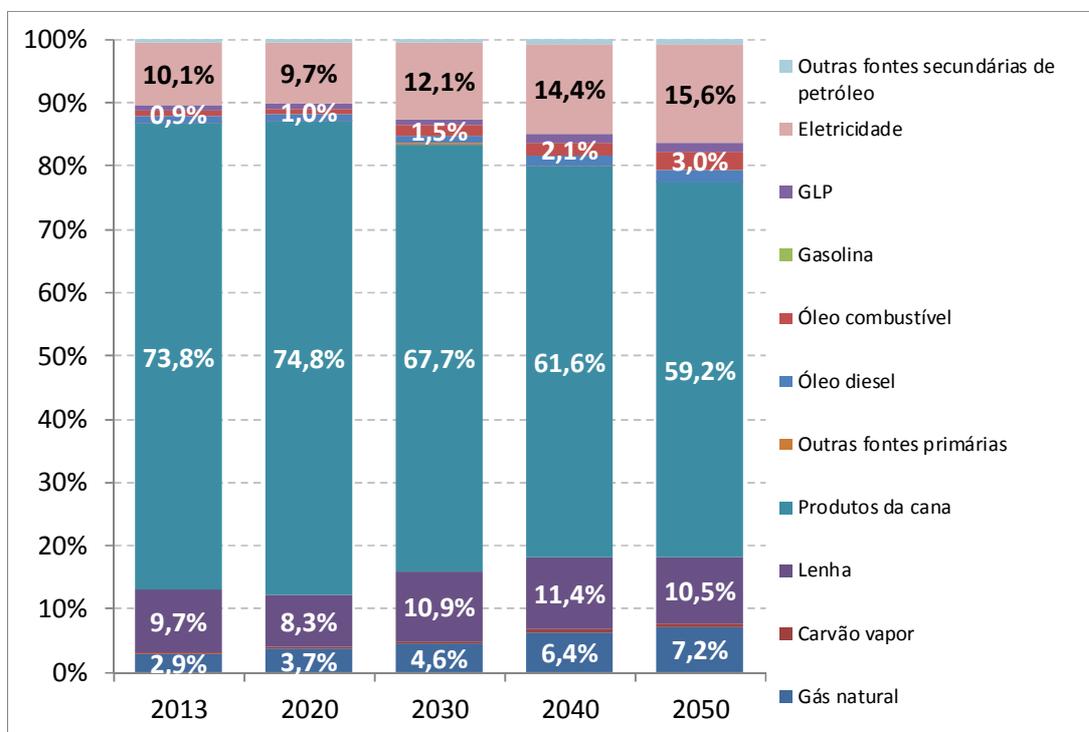


Figura 64- Alimentos e Bebidas: consumo final energético, por fonte (%)
Fonte: Elaboração EPE

3.3.1.2.8 Têxtil

O cenário econômico adotado para a indústria têxtil nacional segue uma tendência de crescimento pouco inferior à média industrial, com vocação principal de atendimento do mercado interno. Adicionalmente, este segmento deve lidar com a forte concorrência externa, dificultando ainda mais a sua expansão.

Há uma gradual tendência de eficientização da produção têxtil considerada neste cenário, refletida nos números de intensidade energética, que sai de 88 para 63 tep por milhão de Reais entre 2013 e 2050.

Desta forma, de acordo com as perspectivas de evolução do valor agregado e de intensidade energética, o consumo final energético do segmento industrial têxtil tem um cenário de incremento médio anual de 1,5%, saindo de 1,1 milhões de tep em 2013 para 1,9 milhões de tep em 2050.

A matriz energética deste segmento é concentrada em gás natural e, principalmente, em eletricidade, tendo participações menos expressivas de óleo combustível e lenha. Para o horizonte de 2050, a tendência é que o consumo de energia se concentre ainda mais nas duas principais fontes, em substituição às demais. Com isso, em 2050, a energia elétrica e o gás natural atingem as participações e 60,6% e 27,8% do consumo final energético, respectivamente.

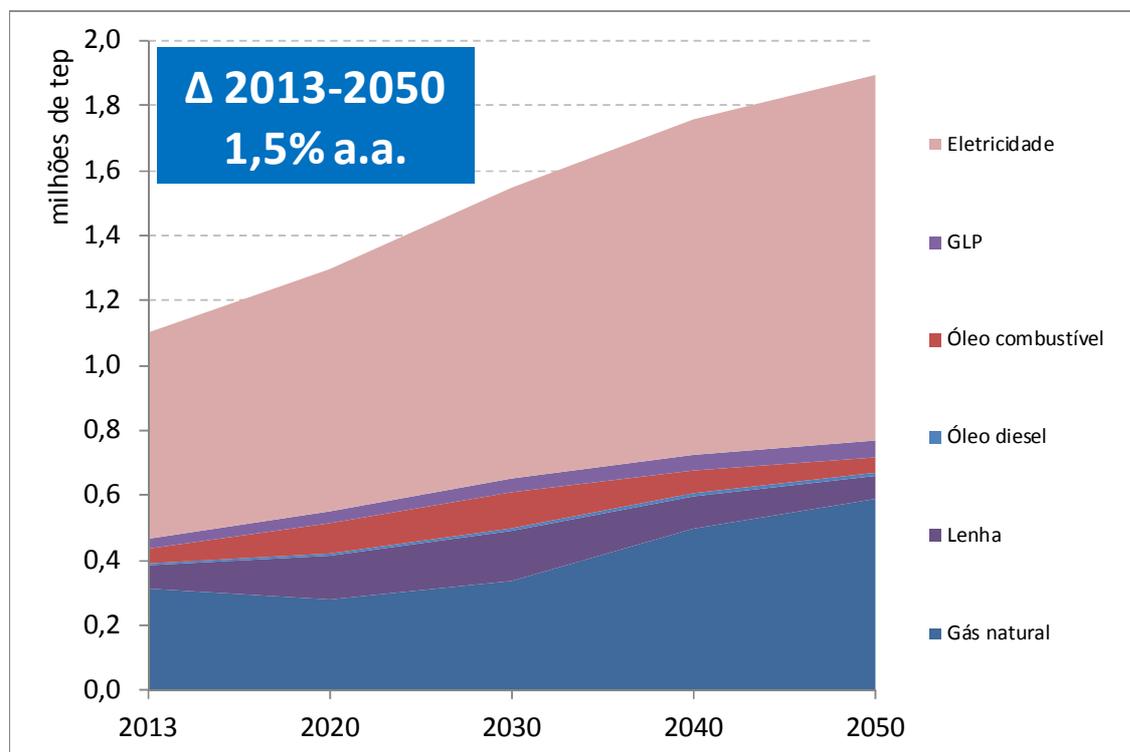


Figura 65-Têxtil: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
Fonte: Elaboração EPE

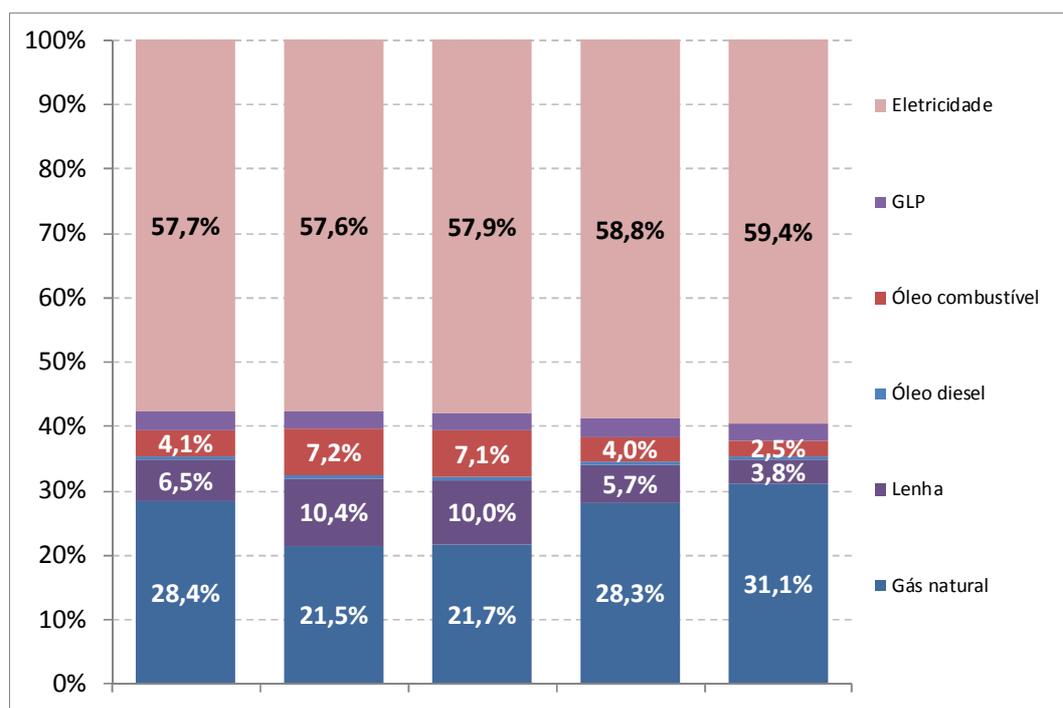


Figura 66-Têxtil: consumo final energético, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE

3.3.1.2.9 Papel e Celulose

O segmento industrial de papel e celulose é um dos que apresentam melhores perspectivas econômicas de longo prazo no País. Isso por conta da ótima adaptação do eucalipto ao solo e ao clima brasileiro, aliada a pesadas pesquisas em biotecnologia. Com isso, o IMA²² das florestas plantadas de eucalipto no País varia atualmente entre 35 m³/ha/ano e 55m³/ha/ano, com média em torno de 40 m³/ha/ano. Aliado a isso, o crescimento das florestas de eucalipto até o ponto de corte gira em torno de 7 anos após o plantio. Enquanto isso, os principais países concorrentes atingem índices IMA entre 10 e 30 m³/ha/ano e período de corte entre 8 e 15 anos. Estes fatores fazem com que o País seja uma dos principais “players” na produção de celulose de fibra curta. Atualmente, apenas 40% da celulose produzida no País são consumidos no mercado interno, sendo que os 60% restantes são destinados à exportação.

A Tabela 5 e a Tabela 6 mostram a comparação da produtividade florestal brasileira de folhosas e de coníferas com a de outros países importantes silvicultores.

²² IMA: incremento médio anual da madeira da árvore.

Tabela 5- Comparação da produtividade florestal de folhosas no Brasil com países selecionados

Folhosas	País	Idade (anos)	m³/ha.ano
Eucalyptus	Brasil	7	35 - 55
Eucalyptus	África do Sul	8 - 10	20
Eucalyptus	Chile	10 - 12	30
Eucalyptus	Portugal	12 - 15	12
Eucalyptus	Espanha	12 - 15	10
Bétula	Suécia	35 - 40	5,5
Bétula	Finlândia	35 - 40	4

Fonte: SBS (2008)

Tabela 6- Comparação da produtividade florestal de coníferas no Brasil com países selecionados

Folhosas	País	Idade (anos)	m³/ha.ano
Pinus spp	Brasil	15	30
Pinus radiata	Chile	25	22
Pinus radiata	Nova Zelândia	25	22
Pinus elliottii / taeda	EUA	25	10
Oregon Pine	Canadá (costa)	45	7
Picea abies	Suécia	70 - 80	4
Picea abies	Finlândia	70 - 80	3,6
Picea glauca	Canadá (costa)	55	2,5
Picea mariana	Canadá (leste)	90	2

Fonte: SBS (2008)

O cenário adotado neste estudo prevê a manutenção do País como líder neste segmento, com produção de celulose voltada para a exportação. Já a produção, mais voltada para o atendimento do mercado nacional, cresce pouco acima da demanda do País, tendo um excedente pouco maior ao final do horizonte, refletido em termos de exportações líquidas. Desta forma, o segmento industrial de papel e celulose ganha participação no valor agregado do setor industrial no horizonte de 2050.

O consumo de energia do segmento de papel e celulose acompanha o forte crescimento de sua atividade. Portanto, entre 2013 e 2050, o consumo final energético aumenta à taxa de 2,6% anuais.

A principal fonte energética deste segmento industrial é a lixívia²³, subproduto do processo de produção da celulose. Duas aplicações são dadas a esta fonte energética renovável: o consumo final para aquecimento direto no próprio processo e a autoprodução de eletricidade, consumida no próprio processo industrial. Assim, a lixívia gerada no próprio processo produtivo é atualmente responsável por mais de 50% do consumo energético do segmento de papel e celulose.

²³ A lixívia está incluída dentro da categoria “outras fontes primárias”.

As perspectivas para a lixívia são bastante favoráveis, acompanhando o crescimento da produção física de celulose. Por conseguinte, seu incremento médio anual para o intervalo temporal em estudo é de 2,6%, com participação saltando de 51,4% para 52,3% ao final do período. Seu ganho de importância se dá, em grande medida, através de otimização do processo produtivo, no sentido de se maximizar a obtenção de lixívia no processo, para que este segmento industrial tenha o máximo possível de independência energética.

Já a eletricidade, em grande medida advinda de autoprodução a partir de lixívia, também apresenta ligeiro ganho de importância, substituindo o uso de lenha no calor de processo de plantas integradas produtoras de papel e celulose. Assim sendo, seu crescimento médio é de 2,8% ao ano, chegando ao montante de quase 65 TWh em 2050. Cabe ressaltar que os consumos específicos atuais de eletricidade para a produção de papel e de celulose no País giram em torno de 0,8 e 1,0 MWh por tonelada, respectivamente, sendo considerada uma eficiência ao longo do período, que leva à redução destes valores.

Ainda no esforço da limitação do consumo de lenha, o gás natural também expande a sua importância no período em estudo, chegando a quase 8% do consumo final energético, com o equivalente a 6 milhões de m³ por dia em 2050.

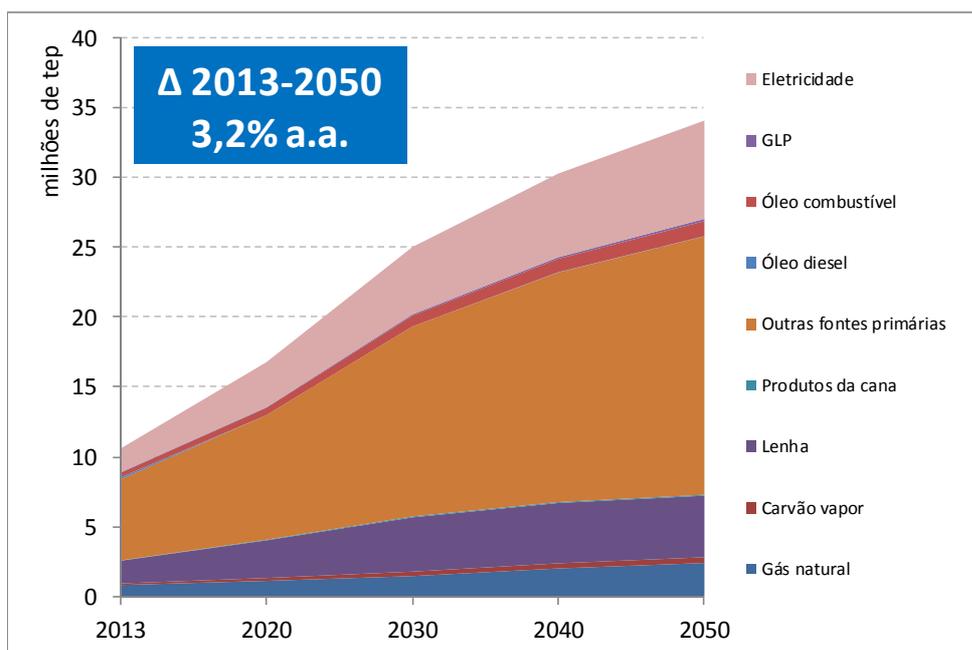


Figura 67- Papel e Celulose: consumo final energético, por fonte (%)
 Fonte: Elaboração EPE

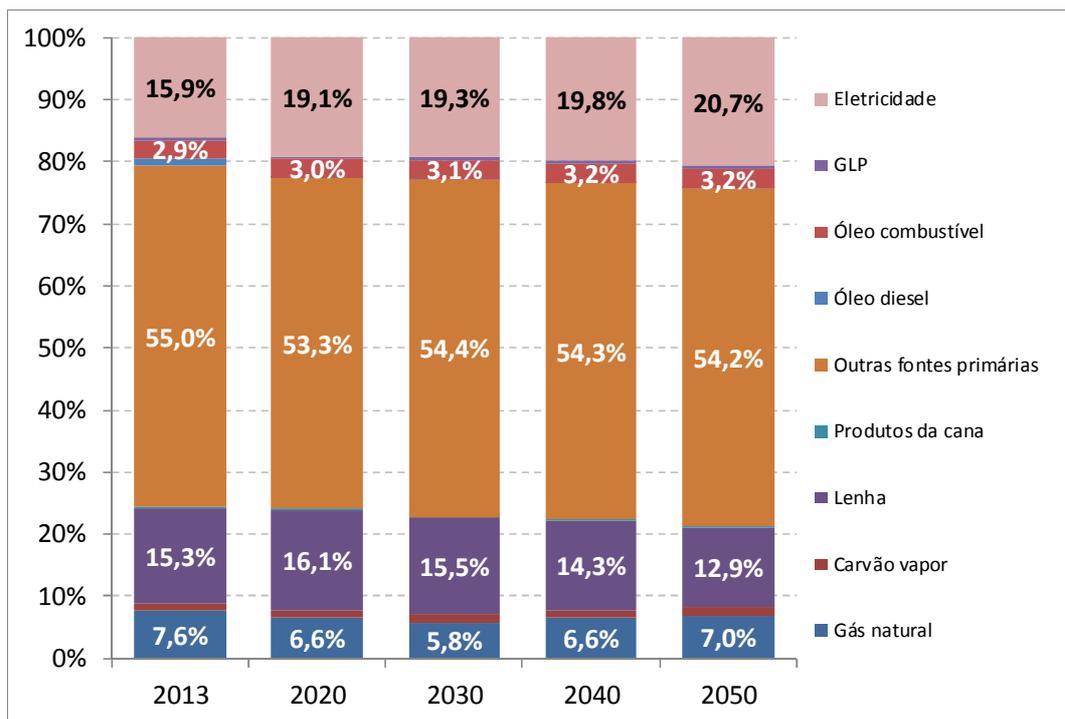


Figura 68- Papel e Celulose: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
 Fonte: Elaboração EPE

3.3.1.2.10 Cerâmica

A indústria cerâmica tem duas vertentes produtivas principais: a cerâmica vermelha e a cerâmica branca, também conhecidas como cerâmica estrutural e de revestimento, respectivamente. A cerâmica vermelha tende a acompanhar as perspectivas da construção civil, pois é usada em grande medida na construção de habitações ou mesmo de edificações comerciais. Já a cerâmica branca é um produto de revestimento, composto por azulejos e afins.

Este segmento industrial é um dos que têm maiores potenciais de eficiência do consumo de energia, destacadamente pelo uso pouco eficiente da energia térmica. Assim sendo, dado o cenário de penetração de edificações cada vez mais eficientes, com uso de estruturas pré-moldadas, considera-se um esforço da indústria nacional na produção deste tipo de estrutura, com maior escala e maior empenho em gerar economia advinda de conservação energética. Adicionalmente, o uso de edificações mais eficientes no uso de materiais fará com que se consiga gerar mais valor com uma economia de materiais e, conseqüentemente, de energia. Desta forma, o cenário adotado aponta uma redução da intensidade energética de cerca de 850 para 630 tep por milhão de reais entre 2013 e 2050.

Na matriz de consumo final energético da indústria cerâmica, destacam-se a lenha, o gás natural e o coque de petróleo²⁴, todas com a finalidade de aquecimento direto. No cenário para o horizonte de 2050, há certa alteração entre as importâncias destas fontes, uma vez

²⁴ O coque de petróleo está incluído dentro da categoria “outras fontes secundárias de petróleo”.

que haveria dificuldade crescente para a penetração da lenha, normalmente originária de florestas nativas. Por conta disso, o coque de petróleo e o gás natural limitam a expansão do uso da lenha neste segmento, ao substituí-la. Mesmo assim, dada a grande expansão da demanda por energia deste segmento, o consumo de lenha cresce à taxa média anual de 2,0%, praticamente dobrando o consumo atual. Como consequência o consumo de coque de petróleo tem um incremento de 6,3% ao ano.

No caso do gás natural, além da substituição do consumo de lenha, também influencia no seu consumo uma demanda incremental para a produção de cerâmica branca. O gás natural é essencial para a produção deste produto para revestimento, principalmente na fase de secagem. Com isso, o consumo de gás natural cresce à média de 4,3% anuais, alcançando montante superior a 19 milhões de m³ por dia em 2050.

A eletricidade também tem parcela importante na matriz energética da indústria cerâmica, com uso quase que totalmente voltado para força motriz. Sua participação chega a 9% no consumo final energético, quase 18 TWh ao final do período, contra os cerca de 4 TWh atuais.

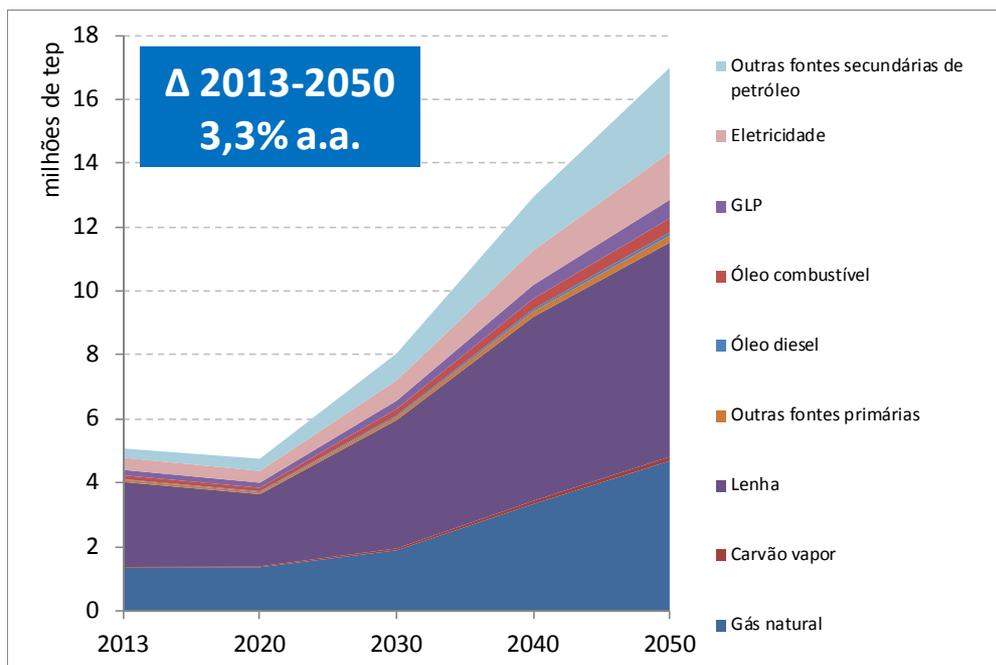


Figura 69- Cerâmica: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
Fonte: Elaboração EPE

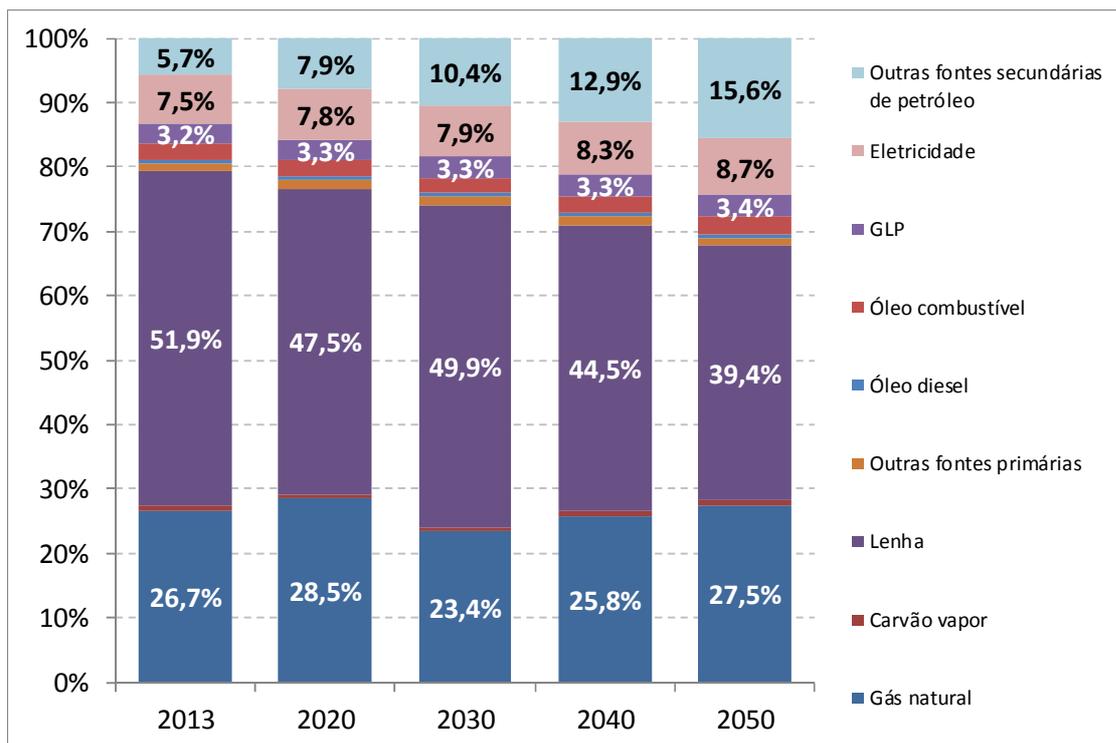


Figura 70- Cerâmica: consumo final energético, por fonte (%)
 Fonte: Elaboração EPE

3.3.1.2.11 Outras indústrias

O agrupamento industrial denominado “outras indústrias” compõe-se por um *mix* de segmentos industriais, bastante pulverizadas e diversos quanto aos processos produtivos utilizados. As outras indústrias são, em média, menos energointensivas que a indústria brasileira como um todo, atualmente com intensidades energéticas em torno de 0,02 e 0,12 tep/(10³ R\$ [2010]), respectivamente. A eficiência é um aspecto importante nas outras indústrias, fazendo com que a intensidade energética se reduza em torno de 20% ao longo do período em análise. Desta forma, espera-se que o consumo final energético deste segmento chegue a 19 milhões de tep, quase 150% superior ao nível atual, com incremento médio de 2,4% ao ano.

Dentre os subsegmentos das outras indústrias, destaca-se a indústria de vidro, onde o consumo de gás natural para o seu processo produtivo é de grande importância. E, por conta do forte cenário de construção civil para o longo prazo, a indústria de vidro adquire fundamental importância. Além disso, a alta disponibilidade de oferta de gás natural, proveniente tanto da produção oriunda do Pré-Sal quanto de reservas de gás natural não convencional fará com que esta fonte se mantenha com grande importância na matriz de consumo de energia das outras indústrias, atingindo um montante de 16 milhões de m³ diários em 2050, contra pouco menos de 8 milhões de m³ por dia hoje em dia, com acréscimo médio anual de 2,0%.

O principal energético utilizado nas outras indústrias é a eletricidade, com pouco menos da metade de seu consumo final energético. Para o horizonte de 2050, espera-se que tal

importância seja pouco alterada, chegando à participação de 48,6%, com o equivalente a 106 TWh, contra os 42 TWh em 2013. Este setor representa, atualmente, cerca de 20% do consumo de eletricidade da indústria brasileira. Entretanto, assim como é verificado com o consumo de energia total, a intensidade elétrica deste segmento é inferior à da indústria global, com respectivos 0,09 e 0,29 kWh/(10³ R\$ [2010]) atualmente.

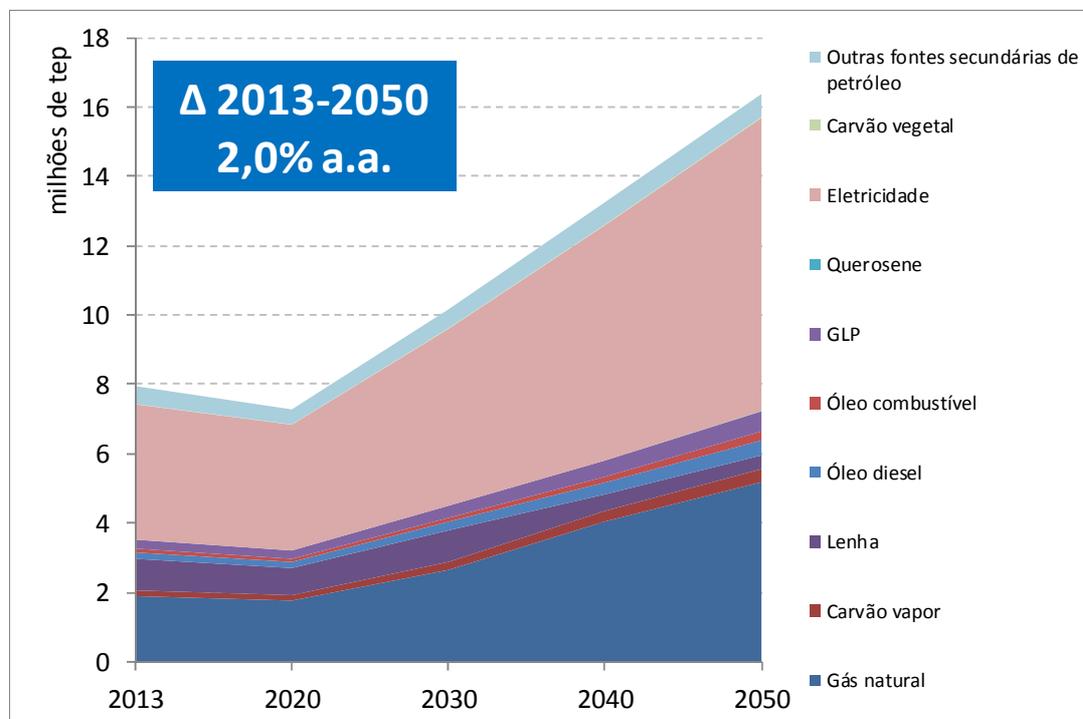


Figura 71- Outras indústrias: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
 Fonte: Elaboração EPE

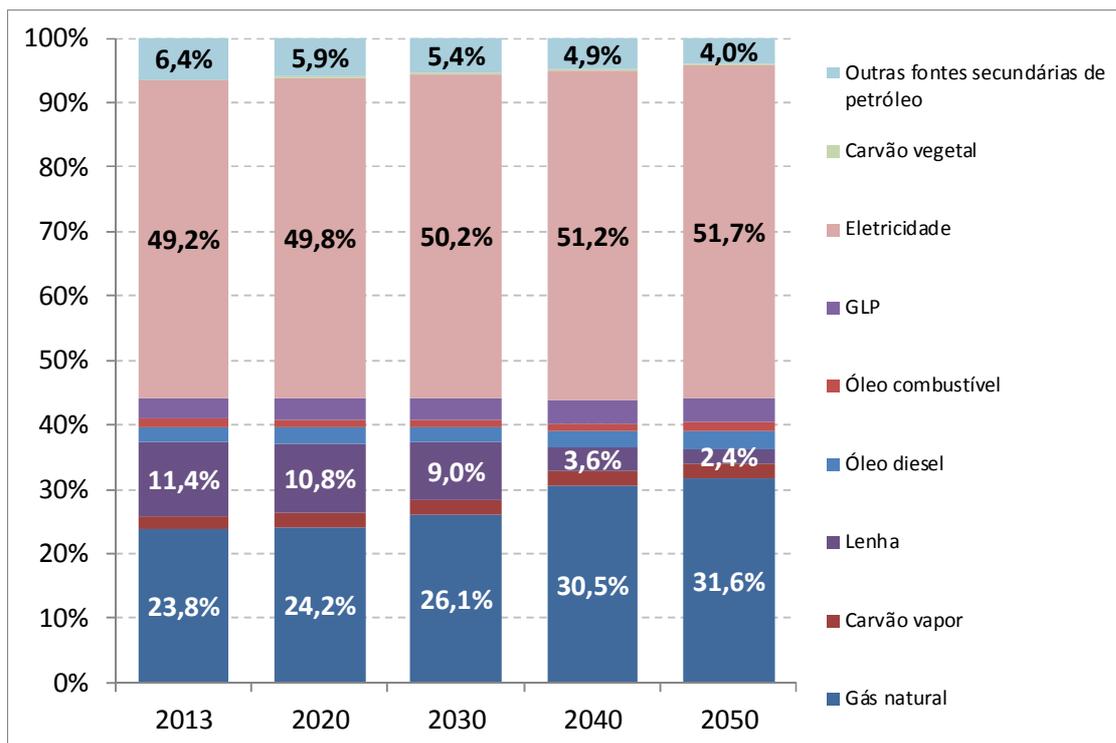


Figura 72- Outras indústrias: consumo final energético, por fonte (%)
 Fonte: Elaboração EPE

3.3.2 Setor energético

A despeito de ações estruturais que contribuem para reduzir a intensidade energética da economia (por exemplo, mudança da estrutura modal de transporte de cargas), bem como aquelas focadas na eficiência energética de equipamentos de uso final, o cenário de crescimento econômico do país para o período até 2050 ainda resulta em relevante aumento da demanda de energia. Como consequência, o setor energético deverá realizar um esforço crescente para a produção de um volume cada vez maior de energia, o que também vem acompanhado de aumento do auto-consumo de energia²⁵. No setor energético aqui considerado, incluem-se os seguintes segmentos: estruturas “on shore” e “off shore” de exploração de petróleo e gás natural, refinarias de petróleo, unidades produtoras de etanol, produção de biodiesel, coquearias, carvoarias, dutos de transporte e usinas de geração elétrica.

Neste estudo do PNE 2050, as principais considerações adotadas nos segmentos que compõem o denominado “setor energético” são apresentadas a seguir.

²⁵ Notar que o auto-consumo refere-se apenas ao consumo necessário para o funcionamento das instalações que compõem cada segmento. Exemplificando, no caso de uma usina de geração elétrica a gás natural, os valores apresentados nesta nota técnica referem-se ao consumo de eletricidade para o funcionamento dos equipamentos que compõem a planta. A parcela de consumo de gás natural para produção líquida de eletricidade não faz parte do escopo dessa nota técnica.

3.3.2.1 Considerações por segmento

3.3.2.1.1 *Exploração e produção de petróleo e gás natural*

A principal mudança esperada para o setor energético brasileiro no longo prazo é no setor de exploração e produção (E&P). O Pré-Sal brasileiro é uma das maiores províncias de óleo e gás descobertas do mundo nos últimos anos. Tal volume adicional a ser produzido, em relação aos patamares atuais do País, faz com que o esforço energético necessário seja também muito maior. Além disso, pela dificuldade adicional na extração desses recursos, em grandes profundidades, o consumo específico de energia para a produção do mesmo volume de óleo e gás é esperado ser maior, quando comparadas as produções do Pré-Sal e do Pós-Sal.

Estima-se que a produção brasileira de petróleo no longo atinja o patamar em torno de 4 milhões de barris/dia em 2050.

3.3.2.1.2 *Produção de etanol*

No que se refere às unidades produtoras de etanol, espera-se que este segmento cresça a taxas inferiores à média do setor energético, devido em grande parte à penetração de veículos híbridos e elétricos, fato que contribui para conter a demanda por etanol. Adicionalmente, há de se destacar o aproveitamento do potencial médio de eficiência existente nas unidades mistas e destilarias brasileiras, fato que gera influência na redução da participação do consumo de bagaço de cana no setor energético, ainda que esse consumo aumente em volume absoluto. Estima-se que o consumo de bagaço para produção de etanol reduza-se para 1,56 kg bagaço/l de etanol sobretudo devido à eficiência de unidades de produção de etanol de primeira geração.

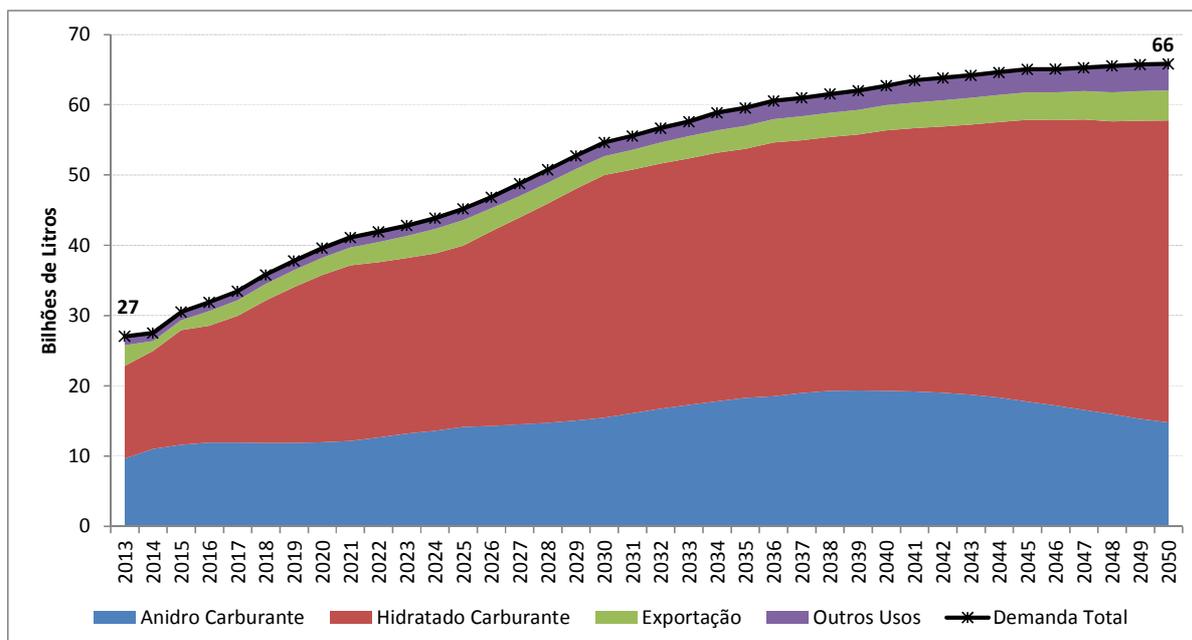


Figura 73- Expectativa de evolução da produção brasileira de etanol no longo prazo.
Fonte: Elaboração EPE

3.3.2.1.3 Produção de derivados de petróleo

O cenário de expansão do parque de refino nacional é traçado com o objetivo estratégico de atender da melhor maneira possível o incremento da demanda nacional por derivados de petróleo, analisando-se os custos e benefícios de manter ou minimizar eventuais dependências externas de derivados. Como resultado dessa estratégia, a expansão observada no parque brasileiro de refino busca autossuficiência do país no longo prazo, nos principais derivados. Em linhas gerais, cabe destacar que é esperado aumento do consumo específico de energia nas refinarias brasileiras, em virtude de maior esforço para especificação de maior qualidade em combustíveis (devido a restrições ambientais principalmente).

3.3.2.1.4 Produção de biodiesel

No horizonte de longo prazo, estima-se que a produção brasileira de biodiesel atual de 2,9 bilhões de litros (2013) alcance entre 8,5 e-12,3 bilhões de litros em 2050, decorrente da adição mandatória de percentual entre 7-10% ao diesel total no Brasil²⁶, conforme ilustra a Figura 74.

²⁶ O detalhamento da discussão sobre a evolução da demanda de energia do setor energético / produção de biodiesel pode ser encontrada na NT de Oferta de Biocombustíveis - 2050.

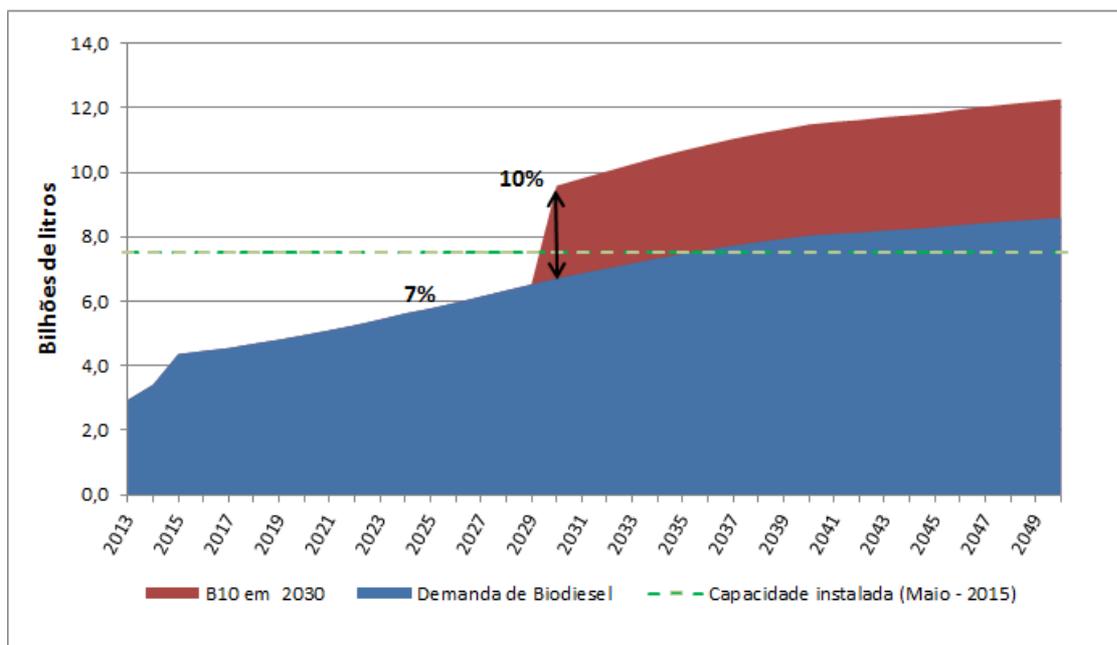


Figura 74- Expectativa de evolução da produção brasileira de biodiesel no longo prazo.

Fonte: Elaboração EPE

3.3.2.1.5 Coqueiras e carvoarias

A expansão de unidades de produção de coque e carvão vegetal relaciona-se majoritariamente ao cenário de crescimento da indústria siderúrgica. Nesse sentido, o cenário de interesse do PNE 2050 para esta indústria exhibe uma expansão de aproximadamente 46 milhões de toneladas/ano adicionais até 2050, das quais 27 milhões de toneladas/ano se devem a unidades com produção própria de coque. Esse cenário de expansão pode ser visualizado na Figura 75.

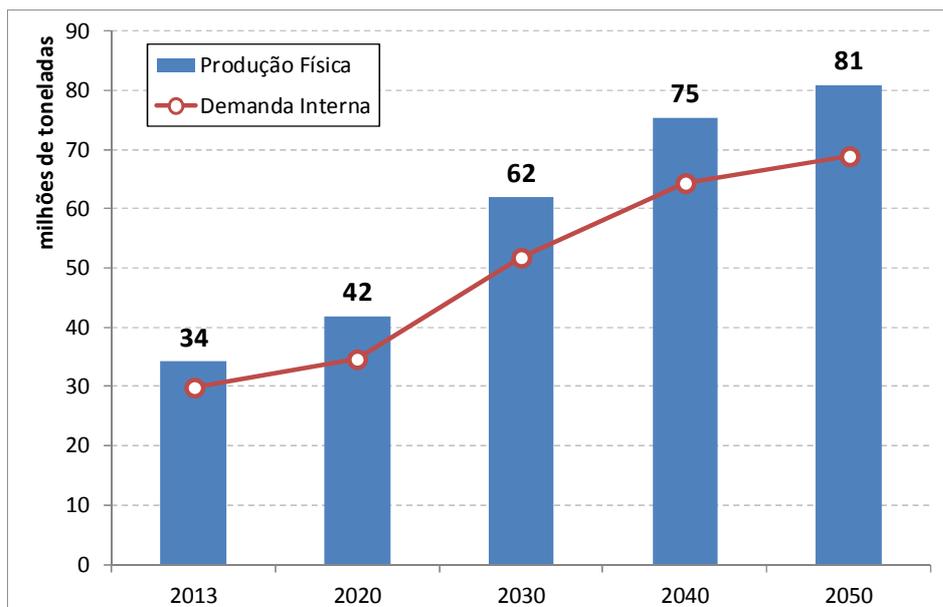


Figura 75- Produção física e demanda interna de aço bruto
 Fonte: Elaboração EPE

Unidades siderúrgicas com produção própria de coque têm consumo específico de energia em torno de 1 tep para cada tonelada produzida de aço bruto, contra consumo específico médio de 0,7 tep por tonelada em plantas que adquirem o coque metalúrgico de terceiros. Por outro lado, a capacidade de autoprodução a partir de subprodutos do processo é bem superior no caso das plantas siderúrgicas com coqueiras próprias²⁸. No cenário referencial do PNE 2050, em função da expansão estimada para a indústria siderúrgica brasileira, o auto-consumo das coqueiras e carvoarias situa-se em torno de 16,2 milhões de toneladas equivalentes de petróleo em 2050.

3.3.2.1.6 Dutos de transporte

Estima-se que a demanda total de gás natural, incluindo uso energético e como matéria prima, evolua de 62 milhões de m³/dia (2013) para 218 milhões de m³/dia em 2050, como se pode observar na Figura 76. Além disso, estima-se que a demanda termelétrica possa atingir cerca de 70 milhões de m³/dia em condição média e 170 milhões de m³/dia em condição crítica. Nesse sentido, o consumo de energia em instalações de transporte, por exemplo, devido às estações de compressão de gás natural, deve impactar correspondentemente a demanda por gás natural para acionamento desses equipamentos.²⁹

²⁸ Para maiores detalhes, consultar: “Nota técnica DEA 02/09: Caracterização do uso da Energia no Setor Siderúrgico Brasileiro”, disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

²⁹ O detalhamento da discussão sobre a expansão da malha de transporte de gás natural pode ser encontrada na NT Oferta de combustíveis - 2050.

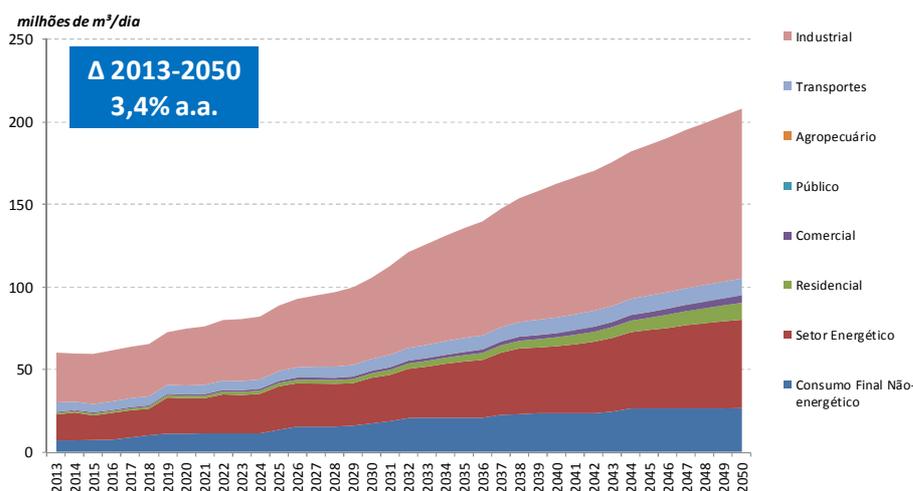


Figura 76- Cenário de expansão do consumo brasileiro de gás natural no horizonte de longo prazo.

Fonte: *Elaboração EPE*

3.3.2.1.7 Geração de eletricidade

No horizonte de longo prazo, estima-se que o parque gerador brasileiro apresente redução gradativa da participação da energia hidrelétrica na matriz de geração elétrica no longo prazo. Nesse sentido, estima-se que tal aspecto influenciará o aumento médio do auto-consumo de energia para geração de energia elétrica no longo prazo, tendo em vista o aumento esperado de participação de usinas termelétricas³⁰.

3.3.2.2 Resultados consolidados e indicadores de evolução do setor

A evolução da intensidade energética do setor energético no horizonte de longo prazo é exibida na Figura 77. No período entre 2013 e 2020, este indicador apresenta aumento, devido principalmente ao início da produção de petróleo no Pré-Sal, que requer um esforço energético maior para mesma geração de valor agregado e é exatamente neste período em que as taxas de aumento da produção apresentam-se em seu maior patamar. Após esse horizonte, contudo, com o avanço progressivo da penetração de ações de eficiência energética, proporcionado pela entrada em operação de unidades mais eficientes, leva à redução da intensidade energética ao longo do tempo.

³⁰ O detalhamento da discussão sobre a expansão da oferta de eletricidade pode ser encontrada na NT Oferta de energia elétrica - 2050.

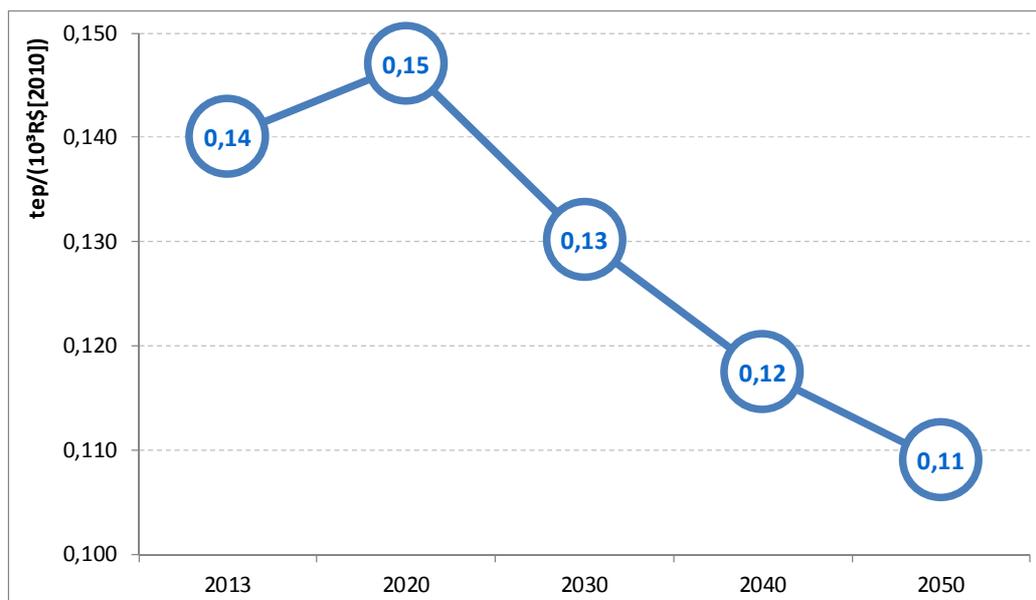


Figura 77- Setor energético: Intensidade energética (tep/10³ R\$ [2010])

Fonte: Elaboração EPE

A partir das premissas de expansão dos centros de transformação ao longo do período 2013-2050, estima-se a evolução do consumo final do setor energético, conforme apresentado na Figura 78 e na Figura 79.

A projeção para o gás natural tende a acompanhar as evoluções de atividade dos segmentos de refino e de E&P. Vale destacar que o aumento da disponibilidade de gás natural no país observada para o horizonte em estudo faz com que haja maior uso deste recurso em todos os setores da economia, inclusive no setor energético. Neste setor, há um expressivo incremento do uso do gás natural ao longo do período em estudo.

A expansão da atividade de refino de petróleo tem papel decisivo na projeção do consumo de outras secundárias de petróleo, parcela representada inicialmente apenas por gás de refinaria e, posteriormente, também por coque de petróleo. O consumo de bagaço de cana resulta da perspectiva existente para a produção de etanol em unidades mistas e destilarias. O consumo de eletricidade está diluído em todos os tipos de unidades do setor energético, mas concentrado principalmente no setor de petróleo e no setor elétrico, e ganha participação na matriz de consumo do setor energético, por conta desses setores crescerem mais que os demais no longo prazo.

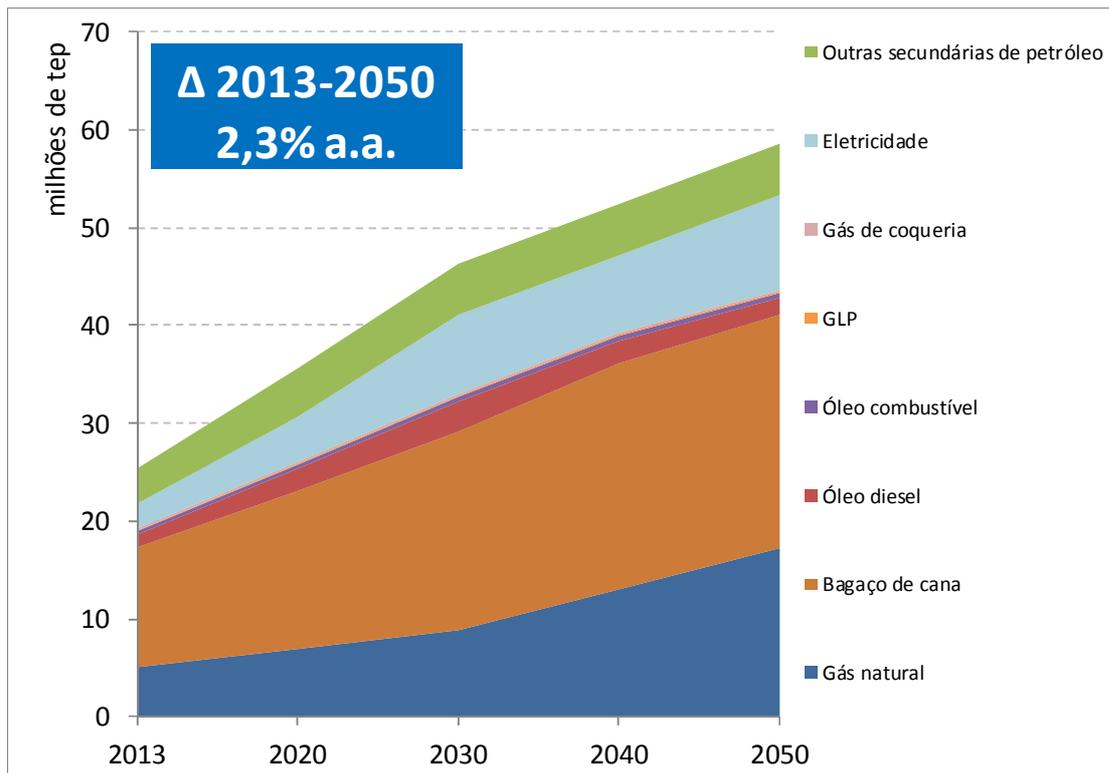


Figura 78- Setor energético: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
 Fonte: elaboração EPE

Como consequência, é possível elaborar a estrutura de participação das fontes na matriz de consumo final energético do setor energético. Destacam-se, portanto, os ganhos de importância relativa do gás natural e da eletricidade, em detrimento principalmente do bagaço de cana, por conta do crescimento baixo da produção de etanol em relação ao crescimento agregado do setor energético.

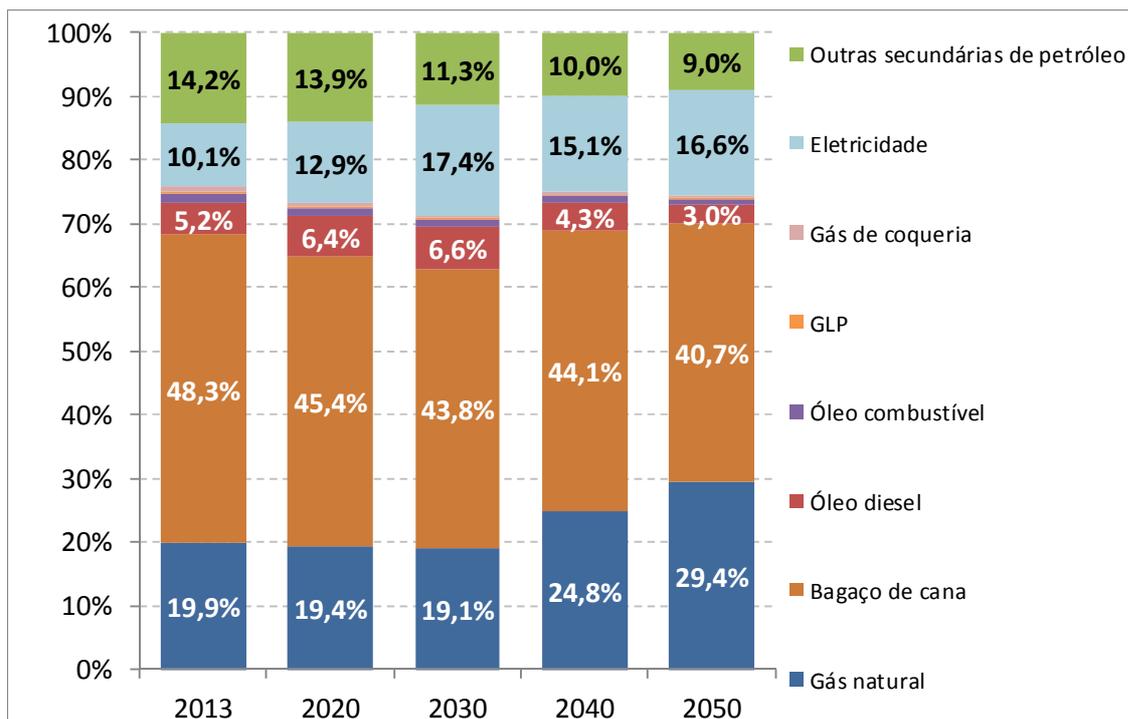


Figura 79- Setor energético: consumo final energético, por fonte (%)
 Fonte: Elaboração EPE

3.3.3 Setor de Transportes

Atualmente o setor de transportes brasileiro é o segundo maior consumidor de energia no Brasil (32%), atrás apenas do setor industrial (3,9%) (EPE,2015). Historicamente, a demanda de energia neste setor tem crescido a taxas próximas de 5% a.a., com grande contribuição do transporte rodoviário, seja ele para carga ou passageiros. Em termos ambientais, destaca-se que o setor de transportes tem sido responsável por cerca de 46% (222 MtCO₂) das emissões antrópicas de emissões de CO₂ equivalente, associadas à matriz energética.

Além de sua relevância no consumo energético e dos diversos impactos ambientais associados, o setor de transporte é estratégico dado a sua relevância e abrangência econômica e social, que engloba aspectos como a mobilidade de pessoas, o escoamento da produção agrícola, a logística de exploração do pré-sal, o abastecimento de insumos para indústria etc.

O setor de transportes apresentará importantes transformações no horizonte de 2050, influenciado em grande parte, pela evolução de variáveis socioeconômicas neste período. No caso do transporte de passageiros, o aumento da população urbana, que terá acréscimo de cerca de 30 milhões de pessoas em 2050, aliado ao aumento da renda per capita e ao elevado potencial de crescimento do mercado consumidor repercutirá em nova demanda por mobilidade e no perfil da distribuição modal ao longo do período de estudo.

Enquanto o aumento da densidade populacional nos centros urbanos favorece a economicidade dos meios de transportes de massa, como o ônibus e o metrô, o aumento

do poder aquisitivo da população estimula a aquisição de bens duráveis, como o automóvel. Por outro lado, o desenvolvimento do planejamento urbano, bem como a crescente preocupação com a sustentabilidade das cidades, trazem novos incentivos para o uso de transportes não motorizados, como a bicicleta. Assim, dentre os fatores que influenciam o consumo de energia no transporte de passageiros, o planejamento da mobilidade urbana e a penetração de novas tecnologias terão papel crucial no horizonte de 2050.

No transporte de cargas, a expansão da renda e da população brasileira e mundial repercute no aumento do fluxo de mercadorias e, conseqüentemente na atividade do setor. Neste ponto, a redução dos gargalos de infraestrutura e a efetivação de investimentos que privilegiem modais de transporte mais eficientes, como o hidroviário e o ferroviário são desafios que terão impactos tanto na produtividade e na competitividade da economia como para o consumo energético do setor.

3.3.3.1 Transporte de Cargas

De acordo com o cenário do PNE 2050, o aumento e a maturação dos investimentos previstos em infraestrutura contribuem para a sustentação de uma perspectiva de crescimento econômico nacional acima da média mundial no longo prazo. Nesse contexto, assume-se no cenário referencial do PNE 2050 que os programas voltados para o setor de logística e as políticas de concessões obterão êxito na melhoria da eficiência do setor transportes, permitindo uma ampliação na participação de modais de transporte menos energo-intensivos, sobretudo no que tange ao transporte de cargas.

Dentre os programas governamentais já em execução, destacam-se, para o transporte de cargas, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançado em 2007, e o Programa de Investimentos em Logística (PIL), que dá continuidade aos investimentos do PAC para o setor. O PIL prevê uma série de ações para desenvolver e integrar os modais de transporte e totaliza mais de R\$ 200 bilhões de investimentos ao longo de 35 anos, sendo a maior parte desse montante concentrada nos primeiros cinco anos.

Apesar dos recentes avanços nos investimentos em logística, ainda há muitos entraves para uma mudança rápida na matriz de transportes de cargas. A ausência de um planejamento integrado, de que se ressentia o setor, tem sido superada, nos últimos anos, pelos estudos do Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT), desenvolvido pelo Ministério dos Transportes, e, mais recentemente, pela criação da Empresa de Planejamento e Logística S.A (EPL), responsável por estruturar o processo de planejamento integrado da logística do país. No entanto, ainda há carência de alguns projetos e, principalmente, subsistem certas deficiências na capacidade de execução das obras programadas. Desta forma, o cenário desenvolvido para o PNE 2050 considera a entrada dos projetos previstos pelo governo federal, embora com pequenos ajustes em sua velocidade de implementação.

Para o modal ferroviário, estão considerados todos os projetos previstos no PAC e no PIL lançado em 2012, possibilitando que a malha ferroviária ultrapasse os 45 mil quilômetros de extensão até 2030. Após esse período, considera-se ainda, como premissa, um incremento na extensão da malha, embora num ritmo menos intenso, que permitirá chegar a uma extensão próxima a 60 mil km em 2050. Os investimentos propostos para esse modal também preveem que as novas ferrovias tenham uma produtividade maior, com instalação de vias de bitola larga, alta capacidade de transporte e traçado geométrico otimizado, que permitirão reduzir as passagens de nível críticas e aumentar a velocidade operacional. Dessa forma, a atividade ferroviária, mensurada em tonelada-quilômetro³¹, crescerá a uma taxa média anual de 5%.

No modal rodoviário, as vendas de caminhões devem crescer a uma taxa média anual de 3,3% entre 2013 e 2025, em função dos atrasos na implementação de algumas obras ferroviárias e da necessidade de atender ao aumento da movimentação de cargas. À medida que os projetos ferroviários e aquaviários entram em operação, a necessidade de aumento das vendas de caminhões tende a diminuir, ocorrendo também uma pequena mudança em seu perfil. Assim, após 2025, espera-se que as vendas de caminhões passem a crescer a uma taxa média em torno de 1,3% ao ano até 2050, com uma gradual redução da participação nas vendas dos caminhões pesados e semipesados, pois o transporte de longa distância será realizado crescentemente por outros modais. Com esta expectativa de vendas, a frota circulante de caminhões crescerá de 1,9 milhões de veículos em 2013 para 6,2 milhões em 2050, com uma taxa média anual de 3,3%.

O modal aquaviário, que abrange cabotagem e navegação interior³², deve aumentar sua importância no horizonte projetado. A cabotagem nos portos brasileiros deve se expandir, principalmente em função da logística associada às atividades de exploração, produção e refino, em expansão, sobretudo em áreas do Pré-sal. Desta forma, a atividade de cabotagem e navegação interior deverá se expandir em cerca de 4,2% ao ano, de 2013 a 2050.

Apesar do forte crescimento do transporte aéreo de cargas (3,2% a.a. até 2050), sua participação na matriz de transportes, mensurada em tonelada-quilômetro, deve continuar extremamente reduzida, uma vez que o transporte aéreo de cargas é mais caro e é utilizado principalmente para o transporte de produtos com baixo peso e volume e com maior valor agregado.

Diante do cenário de melhoria da infraestrutura logística do país, estima-se que a participação do modal rodoviário diminua de 62% para 47%, devido, principalmente, ao grande aumento da movimentação de cargas pelo modal ferroviário. A atividade total do transporte de cargas (medida em toneladas-quilômetro) deve crescer, em média, 3,8% ao ano, de 2013 a 2050, sendo que, até 2025, em um maior ritmo de crescimento (4,5% a.a.).

³¹ É uma unidade que apresenta o trabalho relativo ao deslocamento de uma tonelada à distância de um quilômetro.

³² A demanda de energia para a navegação de longo curso é avaliada separadamente, conforme indicado em EPE (2012).

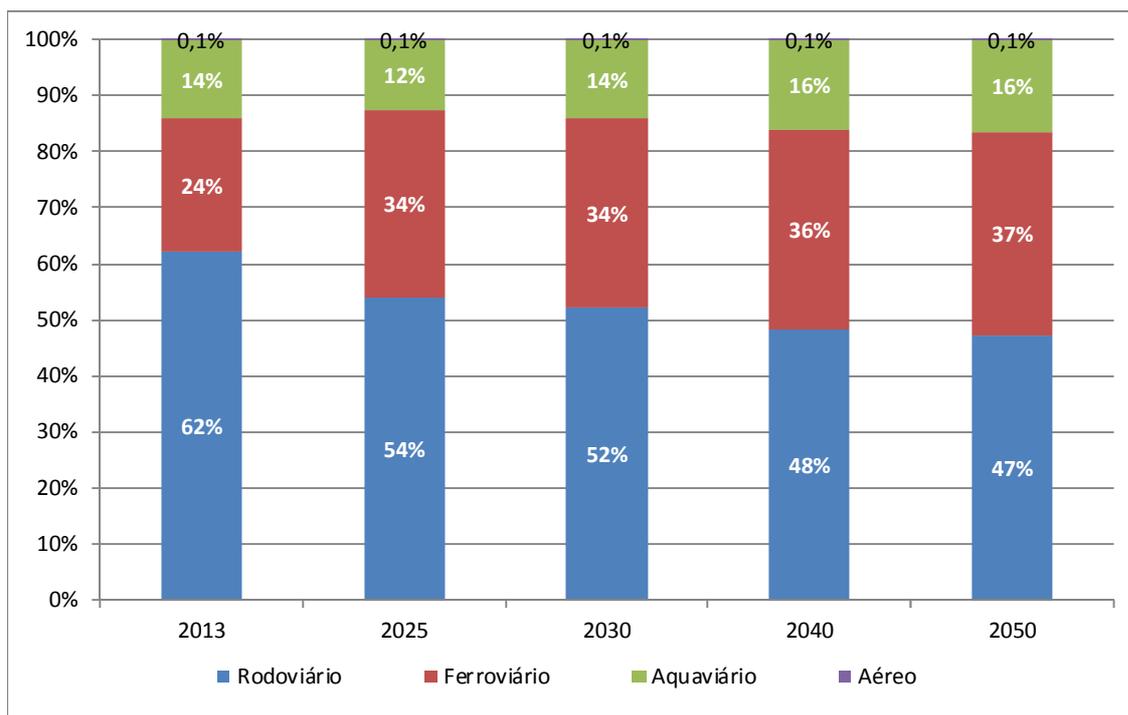


Figura 80- Participação dos modais na atividade do transporte de cargas.

Fonte: Elaboração EPE

A demanda energética dos modais ferroviário e aquaviário é estabelecida a partir das projeções de atividade e de intensidade energética (relação da energia demandada sobre atividade). Considera-se que o transporte ferroviário de cargas continuará utilizando exclusivamente óleo diesel e terá ganhos de eficiência em torno de 1% ao ano. O transporte aquaviário de cargas consome “*bunker*”, que é composto de diesel marítimo e óleo combustível. Apesar do crescente viés ambiental, traduzido em especificações mais rigorosas também para o “*bunker*”, considera-se que o percentual do diesel na composição do “*bunker*” permanecerá constante. No modal aquaviário, também é considerado um ganho de eficiência em torno de 1% ao ano.

Para o modal rodoviário, que concentra a maior demanda de diesel do transporte, foi estabelecida uma abordagem metodológica do tipo “*bottom up*”. Em linhas gerais, são projetadas variáveis-chaves como frota de caminhões, consumo específico (l/km), quilometragem média anual e fator de ocupação. No caso da projeção de frota, foi utilizada uma curva de sucateamento, que teve como premissa básica uma vida útil média de 30 anos para os caminhões. As projeções de vendas foram estabelecidas em consonância com as expectativas para o transporte rodoviário de cargas, consideradas as taxas históricas de crescimento e a perspectiva de atendimento da demanda por outros modais de transporte. Os caminhões permanecerão com o uso predominante do diesel em motorização a combustão interna, devido à dificuldade para uma mudança tecnológica em função de seu perfil de uso (i.e. distâncias e cargas maiores). Considerou-se um incremento 1,0% ao ano no rendimento médio dos veículos novos.

A demanda de querosene de aviação no Brasil, para a primeira década do estudo, foi elaborada a partir de uma correlação com o PIB brasileiro, considerando também variáveis *dummies* para explicar fatores exógenos, em períodos determinados, não captados pelo modelo base. A separação entre o consumo de QAV para o transporte de cargas e passageiros é feita em função das respectivas participações na atividade total equivalente³³. Para o resto do período, a demanda foi estabelecida a partir das projeções de atividade e de intensidade energética.

A demanda total de energia para o transporte de cargas crescerá, em média, 2,3% ao ano, até 2050, conforme indicado na Figura 81. A menor taxa de crescimento da demanda de energia em relação à da atividade de transporte de cargas (3,8% a.a.) é explicada pelos avanços tecnológicos dos modais, com reflexos nos ganhos de eficiência, e pela melhor infraestrutura logística, o que permite uma crescente participação de modais menos enorgo-intensivos.

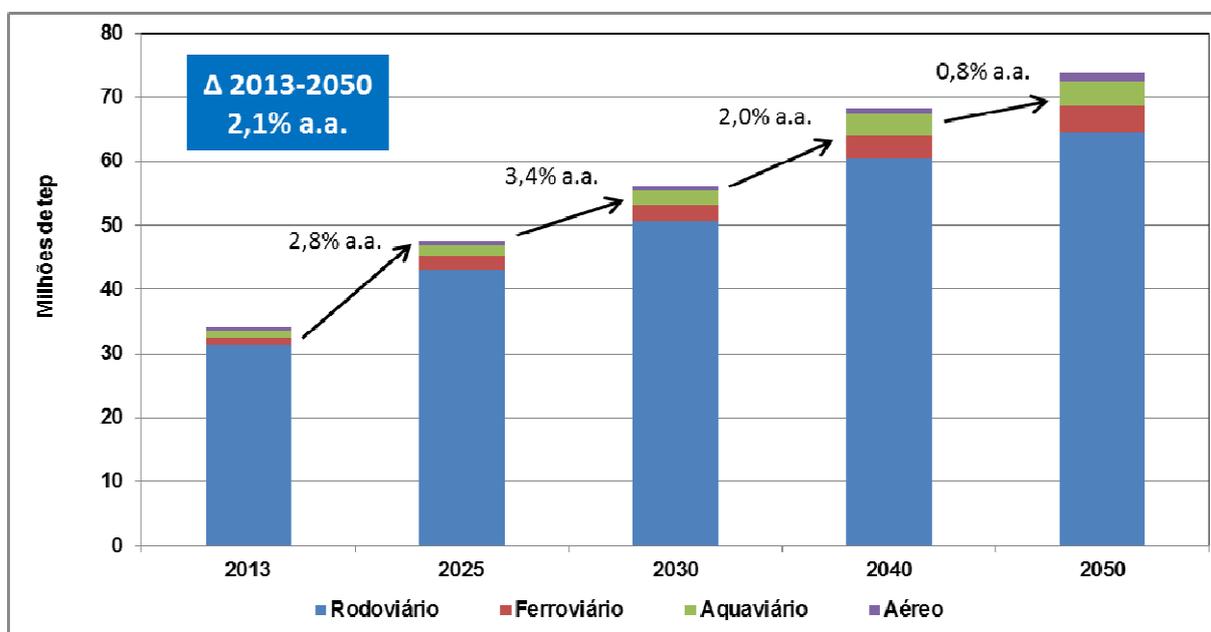


Figura 81- Demanda de energia no transporte de cargas.

Fonte: elaboração EPE

3.3.3.2 Transporte de Passageiros

3.3.3.2.1 Resultados globais

A situação atual do transporte de passageiros reflete uma série de desafios a serem superados. As cidades em geral apresentam um grande volume de veículos particulares e reduzida oferta de transporte público de qualidade.

³³ Segundo EPE (2012), é possível converter o passageiro em carga equivalente considerando seu peso médio (75 kg) adicionado ao peso médio de sua bagagem (15 kg).

No cenário adotado para o PNE, espera-se um aumento da renda per capita da população e da taxa de urbanização das cidades, o que se reflete no aumento da posse de veículos. No entanto, há uma perspectiva de ampliação dos investimentos em transporte público e de ações políticas que melhorem o trânsito das cidades, de forma que haja melhoria na mobilidade urbana e diminuição na taxa de utilização de uso do transporte individual.

Nas áreas urbanas, são considerados investimentos na ampliação dos sistemas sobre trilhos de alta e média capacidade, como metrô, trens urbanos, veículos leves sobre trilhos (VLTs) e mon trilhos, e melhorias na qualidade e na capacidade de transporte dos sistemas já em operação. Com isso, a movimentação de passageiros no modal ferroviário, nas áreas urbanas do país, mensurada em passageiro-quilômetro, deve quadruplicar até 2050. Também é esperado que o transporte interurbano de passageiros pelo modal ferroviário cresça em função da implantação dos trens de alta velocidade³⁴ e dos trens.

No modal rodoviário, destacam-se os sistemas de BRT (“*Bus Rapid Transit*”), formados por corredores exclusivos por onde trafegam ônibus de alta capacidade, articulados e biarticulados, e com pagamento antecipado em estações ao longo dos corredores. Também há uma tendência a se priorizar a circulação do transporte coletivo nas vias urbanas através de corredores de ônibus. Com isso, espera-se que, junto com a melhoria do transporte de massa, haja também melhoria de eficiência energética relacionada a estas configurações, além dos ganhos de eficiência provenientes de avanços tecnológicos. Neste sentido, considera-se que os ônibus, sobretudo os urbanos, migrarão para a motorização híbrida ou elétrica até 2050, em ritmo semelhante ao dos veículos leves.

Para o modal aquaviário, foram considerados os passageiros transportados em áreas urbanas e nos rios da região amazônica. Segundo estudo divulgado pela ANTAQ (2013)³⁵, a movimentação de passageiros nos rios da região amazônica, medida em passageiro-quilômetro, deve crescer em média 1% ao ano na próxima década. Para as projeções do PNE, foram consideradas essas informações da ANTAQ para a região amazônica e uma análise da taxa histórica de crescimento do transporte aquaviário em áreas urbanas. Apesar de um crescimento esperado de 2,9% ao ano até 2050, a atividade do modal aquaviário de passageiros continuará com uma pequena participação na matriz de transporte, em torno de 0,1%.

O alto crescimento na movimentação de passageiros no modal aéreo, observado na última década, vai permanecer no horizonte de projeção do PNE, devido ao aumento da renda per capita da população e aos investimentos em melhorias na infraestrutura aeroportuária. Assim, a participação deste modal na matriz de transporte de passageiros aumentará, como pode ser observado na Figura 82.

³⁴ Para o PNE, é considerada a entrada de quatro linhas de trens de alta velocidade, todas incluídas no Programa de Aceleração do Crescimento: Rio de Janeiro - São Paulo - Campinas, Campinas - Triângulo Mineiro, Campinas - Belo Horizonte e São Paulo - Curitiba.

³⁵ Caracterização da oferta e da demanda do transporte fluvial de passageiros da região amazônica / Agência Nacional de Transportes Aquaviários. - Brasília: ANTAQ, 2013.

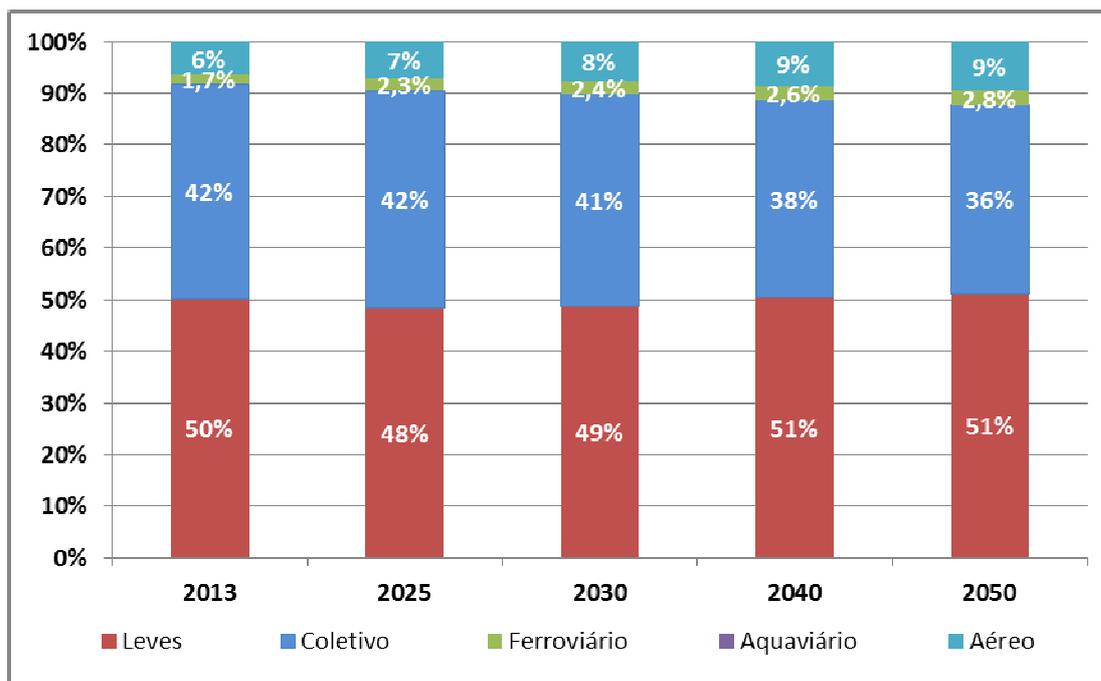


Figura 82- Participação dos modais na atividade do transporte de passageiros

Fonte: Elaboração EPE

Ressalta-se que, apesar do expressivo crescimento da frota de veículos leves a participação do transporte individual na matriz cresce apenas 1%, principalmente em virtude das melhorias do transporte urbano de massa e da menor quilometragem média dos veículos leves.

A demanda energética dos modais ferroviário e aquaviário foi estabelecida a partir das projeções de atividade e de intensidade energética (relação da energia demandada sobre atividade). Considera-se que os transportes ferroviário e aquaviário de passageiros terão ganhos de eficiência em torno de 1% ao ano.

Para a demanda de energia da frota de ônibus, que representa o transporte coletivo do modal rodoviário, foi estabelecida uma abordagem metodológica do tipo “*bottom up*”. Em linhas gerais, segue a mesma forma utilizada para a projeção do modelo rodoviário de cargas, ou seja, considera variáveis-chaves como frota circulante, consumo específico (l/km), quilometragem média anual e fator de ocupação. No caso da projeção de frota, foi utilizada uma curva de sucateamento, que teve também, como premissa básica, uma vida útil média de 30 anos para os ônibus. As projeções de vendas foram estabelecidas em consonância com as expectativas para o transporte rodoviário de passageiros, consideradas as taxas históricas de crescimento e a perspectiva de atendimento da demanda de mobilidade por outros modais de transporte. É considerada uma forte penetração de novas tecnologias mais eficientes, como os ônibus híbridos e elétricos, sobretudo os do primeiro tipo, de forma que a participação dessas tecnologias na frota de ônibus atinja 42% e 8%, em 2050, respectivamente.

Como já mencionado, a demanda de querosene de aviação no Brasil, para a primeira década do estudo, foi elaborada a partir de uma correlação com o PIB brasileiro, considerando também variáveis “*dummies*” para explicar fatores exógenos, em períodos determinados, não captados pelo modelo base. A separação entre o consumo de QAV para o transporte de cargas e passageiros é feita em função das respectivas participações na atividade total equivalente³⁶. Para o resto do período, a demanda foi estabelecida a partir das projeções de atividade e de intensidade energética.

É importante destacar que o potencial de ganhos de eficiência energética em aeronaves por inovações em tecnologia de turbinas, aperfeiçoamentos aerodinâmicos e reduções de peso é estimado em 1 a 2,2% ao ano na literatura especializada. Como os voos regionais deverão aumentar no Brasil, optou-se por uma abordagem conservadora no ganho de eficiência das aeronaves, pois voos regionais são mais curtos e realizados com aeronaves menores (ou com menor fator de ocupação), o que piora a eficiência energética média da frota de aeronaves. Além disso, no curto/médio prazo, as dificuldades de gerenciamento do espaço aéreo e dos aeroportos poderão reduzir o ganho de eficiência energética na aviação (tempos de espera para pouso e decolagem consomem combustível, mas não geram o serviço energético principal, qual seja, o deslocamento). Assim, é considerado um incremento de aproximadamente 1% ao ano na eficiência energética.

A demanda total de energia para o transporte de passageiros crescerá, em média, 1,7% ao ano até 2050, com um ritmo mais forte nos primeiros 20 anos, como pode ser observado na Figura 83. Após esse período, destaca-se a entrada de veículos híbridos e elétricos, que são mais eficientes, e a melhor infraestrutura de transporte público, que fazem com que a demanda energética cresça apenas 2,0% ao ano, em média, entre 2030 e 2040. Finalmente, no último decênio do estudo, ocorre redução da demanda energética para transporte de passageiros.

³⁶ Segundo EPE (2012), é possível converter o passageiro em carga equivalente considerando seu peso médio (75 kg) adicionado ao peso médio de sua bagagem (15 kg).

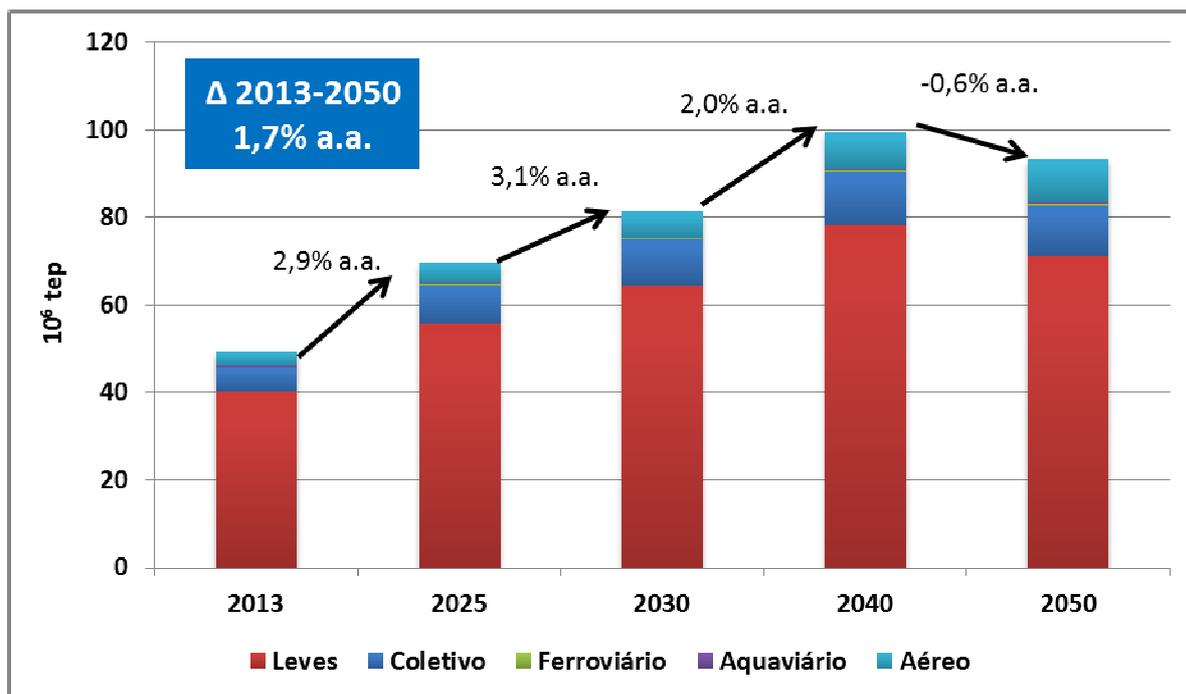


Figura 83- Demanda de energia no transporte de passageiros

Fonte: Elaboração EPE

3.3.3.2.2 Transporte individual

Nos últimos anos, a indústria automobilística mundial vem passando por um processo de reestruturação intensificado com a crise financeira que teve início nos EUA em 2008 e, mais recentemente, a crise financeira na Europa que aflorou grandes incertezas econômicas na região. Desta forma, a indústria automobilística vem reposicionando suas marcas e plantas em diferentes mercados regionais. Enquanto as tradicionais regiões produtoras (União Europeia, NAFTA e Japão) vêm reduzindo sua participação na produção mundial de carros, os denominados “BRICS” (Brasil, Rússia, Índia e China) vem aumentando rapidamente este percentual.

A China desponta como grande consumidor e produtor de veículos leves e o Brasil torna-se um expoente na América Latina e fortalece sua participação no mercado mundial, representando cerca de 5% da produção mundial de veículos leves (ACEA, 2012). Pelo lado da demanda, o Brasil também se posiciona como importante “*player*” do mercado global de veículos leves com participação de 5,3% e 1,2% do licenciamento mundial de automóveis e comerciais leves, respectivamente, em 2012 (ACEA, 2013).

Em termos econômicos, a indústria de autoveículos e máquinas agrícolas, com sua extensa cadeia de insumos, fornecedores e redes de comercialização, vêm consolidando sua importância no crescimento econômico do Brasil, sendo que, em 2012, representou cerca de 5% do PIB brasileiro e 21% do PIB industrial, além de gerar cerca de 25 bilhões em tributos (ICMS, IPI, PIS, COFINS) e 1,5 milhão de empregos (ANFAVEA, 2013).

Para os próximos anos, impulsionado por estímulos do governo como o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores - INOVAR-AUTO espera-se novos investimentos em ampliação, modernização e criação de novas fábricas, desenvolvimento de novos veículos, aumento da eficiência energética e de competitividade (ANFAVEA, 2013), implicando em importantes ganhos de qualidade para indústria automobilística brasileira, além da ampliação da atuação do Brasil como exportador de veículos.

O bom comportamento das vendas de veículos leves observado entre 2004 e 2012 teve como pano de fundo a presença de fatores econômicos favoráveis para o setor. Neste período, houve um acentuado crescimento da massa de renda (+5,5% a.a.), além de um salto no volume de concessões de financiamentos (+16,2% a.a.) e redução do patamar médio das taxas de juros cobradas para aquisição de veículos (de 44,8% a.a. em 2003 para 28,7% a.a. em 2011). Além disso, o aumento da concorrência no setor, acirrada pela presença de novas montadoras, estimulou o processo de redução de custos e do preço real dos veículos (Tendências, 2012). Em 2012, os incentivos do governo à venda de veículos novos, sobretudo a redução no IPI, garantiram o licenciamento de cerca de 3,6 milhões de unidades de veículos leves. Entre 2013 e 2014, observou-se retração deste mercado em virtude de condições não tão favoráveis de financiamento e crédito ao consumidor final, reajuste de preços dos veículos e deterioração da confiança do consumidor, dentre outros aspectos conjunturais.

No horizonte de 2050, as perspectivas de um cenário econômico favorável, com manutenção da oferta de crédito, redução da taxa de desemprego e crescimento da renda per capita, associado à indústria automobilística mais competitiva e ao nível de motorização relativamente baixo verificado no Brasil continuarão impulsionando a demanda por veículos leves.

De forma específica, considerando-se a premissa de crescimento da renda saindo de um patamar de US\$₂₀₁₂ 10,1 mil/ano/habitante para US\$₂₀₁₂ 30,0 mil/ano/habitante em 2050, ou seja, valor compatível com o observado atualmente nos países OCDE, a demanda por serviços de transporte de alta qualidade deve se destacar, onde de forma preponderante deve crescer a posse do veículo individual, resultando em nível de motorização de aproximadamente 0,6 auto veículo/habitante (ou 1,7 habitante/auto veículo) em 2050, semelhante ao observado em países tais como Espanha, Japão, França e Reino Unido como pode ser observado na Figura 84. Este patamar resulta numa frota de 136,7 milhões de unidades em 2050, valor que inclui automóveis, comerciais leves, ônibus e caminhões.

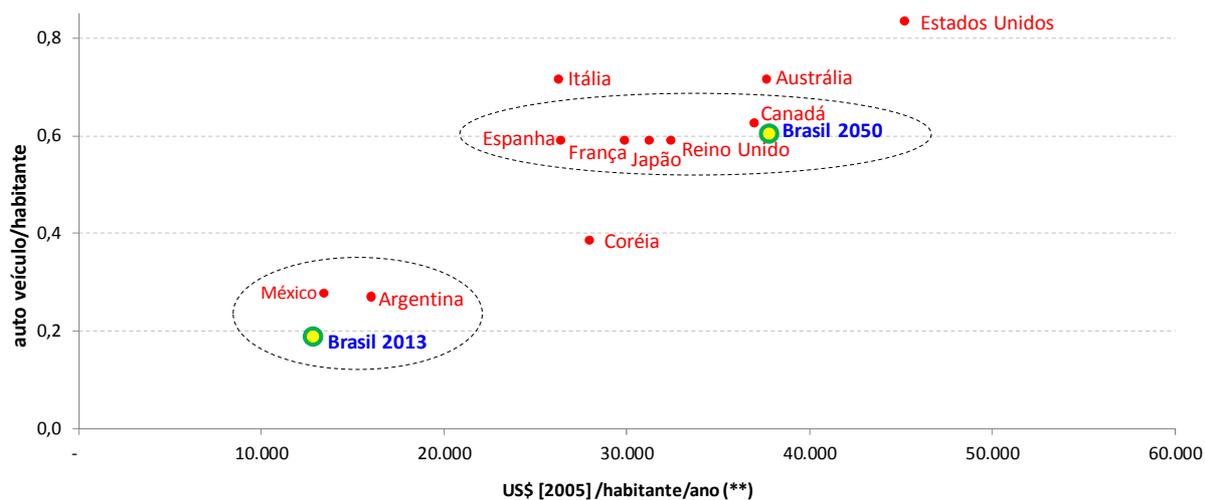


Figura 84- Evolução da taxa de motorização brasileira no PNE 2050.

(**) - PIB per capita referenciado a US\$ [2005] PPP. Os dados são relativos ao ano de 2013.

Fonte: IEA, Key World Energy Statistics 2012. Elaboração EPE (projeção Brasil).

Tais premissas de crescimento de venda estão em consonância com estudos internacionais especializados no setor. De acordo com pesquisa realizada pela KPMG (2013) sobre o mercado varejo mundial de automóveis, por exemplo, há uma mudança de “eixo” nas vendas, de mercados maduros como América do Norte, Europa Ocidental e Japão para mercados como China, Índia e Brasil, os quais, no horizonte de 2020, ainda apresentarão um grande potencial de vendas, dado que ainda não terão atingido o nível de maturidade comparável com o da tríade Europa Ocidental-EUA-Japão.

A expansão da frota de veículos leves no Brasil nas próximas décadas traz um grande desafio no que se refere a impacto ambiental, nomeadamente o aumento de emissões de gases do efeito estufa, além de questões relacionadas à mobilidade urbana. Tais desafios repercutem em duas questões centrais: penetração tecnológica na indústria automotiva e distribuição modal.

Embora o número de veículos híbridos e elétricos no Brasil ainda seja bem modesto (inferior a 2500 unidades) e que os desafios técnicos, econômicos e tributários sejam enormes, já há diversas iniciativas neste segmento de mercado. Um exemplo é a cooperação assinada pela Renault com a Itaipu Binacional, que prevê a montagem de veículos puramente elétricos no centro de pesquisa em Foz de Iguaçu (PR). O acordo contempla estudo para analisar a viabilidade de nacionalização de alguns componentes utilizados no carro, como as baterias, que respondem por aproximadamente 50% do custo do veículo (Valor Setorial, 2013). No longo prazo, a expectativa de disseminação tecnológica e redução de custos associados aos veículos híbridos e elétricos, além da implantação de infraestrutura necessária resultará na competitividade destes modelos, permitindo a penetração destas novas tecnologias em ritmo relativamente rápido no Brasil.

A estimativa da demanda de energia associado ao transporte individual de passageiros é realizada a partir de considerações relativas ao cenário econômico, perfil do licenciamento

de veículos leves e à oferta interna de etanol, que determina a preferência do consumidor entre gasolina C e etanol hidratado, no abastecimento dos veículos “*flex fuel*”.

O licenciamento de veículos leves no país é coerente com o cenário socioeconômico adotado no estudo, de forte crescimento econômico, com aumento da renda da população, redução contínua da taxa de desemprego e manutenção da oferta de crédito. Desta forma, estima-se que seu crescimento será na ordem de 2,5% a.a., entre 2013 e 2050.

Esta trajetória de licenciamento resulta em um incremento considerável da frota nacional circulante, que cresce numa taxa média anual de 3,5%, alcançando 129 milhões de veículos leves (incluindo os comerciais leves a diesel) em 2050.

Cabe ressaltar que a entrada de um grande número de veículos novos configura-se como um fator importante na modificação do perfil da frota, seja em termos de redução da idade média, seja em termos de participação dos vários tipos de combustível utilizados.

No que tange às novas tecnologias veiculares, adotou-se, como premissa, que os veículos híbridos e elétricos terão uma participação crescente na frota nacional, no horizonte de estudo. Admitiu-se, também, que os carros híbridos serão comercializados no mercado brasileiro, a partir de 2018, em versão “*flex fuel*” e que, a partir de 2035, com a progressiva redução de seus custos de produção, passam a penetrar fortemente no mercado, substituindo paulatinamente o motor a combustão interna convencional, que tem sua participação no licenciamento reduzida a zero em 2045.

A evolução do perfil de licenciamento das diversas categorias foi definida em função dos avanços tecnológicos obtidos, do crescimento da economia e dos incentivos concedidos através de programas e políticas governamentais.

No horizonte até 2050, o cenário da EPE prevê um aumento significativo da frota mundial de veículos leves, principalmente nos países emergentes, com destaque para China, Índia e Brasil.

Nos países desenvolvidos, a frota crescerá de forma inercial. Em período mais recente, estas economias têm direcionado grandes esforços para a efficientização dos veículos e a introdução de novas tecnologias automotivas. Esta tendência deverá ser predominante no período de estudo e estima-se que ocorrerá uma mudança de paradigma com relação à propulsão automotiva, que acarretará uma forte substituição dos veículos tradicionais por veículos híbridos e elétricos, inicialmente impulsionada por incentivos econômicos e exigências legais e, mais futuramente, pela redução dos custos de produção, com ganho significativo de fatias do mercado consumidor.

No Brasil, ressalta-se que as políticas urbanas e ambientais adotadas, com foco na diminuição do consumo de combustíveis líquidos e na conseqüente redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) visarão essencialmente dois objetivos: incentivar investimentos em transportes de massa e definir o ritmo de incorporação de tecnologias mais avançadas nos veículos leves e pesados.

Em um primeiro momento, os ganhos de eficiência dos veículos leves serão impulsionados pelo INOVAR-AUTO, que estimula a introdução no mercado nacional de tecnologias já

disponíveis internacionalmente, tais como o “*start stop*”, o uso de materiais mais leves e melhorias no sistema de propulsão.

Posteriormente, os investimentos em P&D para as tecnologias híbridas e elétricas tornarão as mesmas mais competitivas e acessíveis. Isto será possível a partir dos avanços tecnológicos, resultantes, principalmente, da consolidação das novas tecnologias de fabricação e uso das baterias, o que poderá promover a diminuição dos custos de produção, com a consequente redução do preço de aquisição dos automóveis e comerciais leves híbridos e elétricos.

A tecnologia híbrida com motorização “*flex fuel*”, a ser desenvolvida principalmente para o mercado brasileiro, será a primeira a impactar de forma significativa o perfil de licenciamento de novos veículos leves. Note-se, porém, que esta tecnologia híbrida deverá ter caráter transitório, na medida em que continuará mantendo algumas ineficiências inerentes ao motor de combustão interna.

Inicialmente, o perfil nacional de licenciamento de veículos leves apresentará predominância de motorização “*flex fuel*” à combustão interna. Em meados da década de 2030, porém, assume-se que ocorrerá uma ruptura tecnológica, a qual propiciará uma mudança considerável neste perfil, com a entrada em massa das novas tecnologias automotivas.

Dado que a frota em 2050 será aproximadamente três vezes superior à atual, a disseminação destas tecnologias avançadas resultará em uma participação na frota nacional, em 2050, de 59% de híbridos e elétricos, com a consequente diminuição do consumo de combustíveis líquidos e redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE´s).

Cabe registrar que, além das premissas relacionadas ao perfil da frota, no estudo em curso, admitiu-se um crescimento de 1% a.a. na eficiência média dos veículos novos que entram em circulação no país e um teor de anidro obrigatório de 27% adicionado à gasolina A, no horizonte de estudo. Ademais, os automóveis serão os veículos leves predominantes no licenciamento, embora haja uma crescente participação dos comerciais leves (incluindo SUV´s).

De acordo com as premissas adotadas, a projeção adotada quanto ao perfil de vendas para o horizonte de estudo é apresentada na Figura 85.

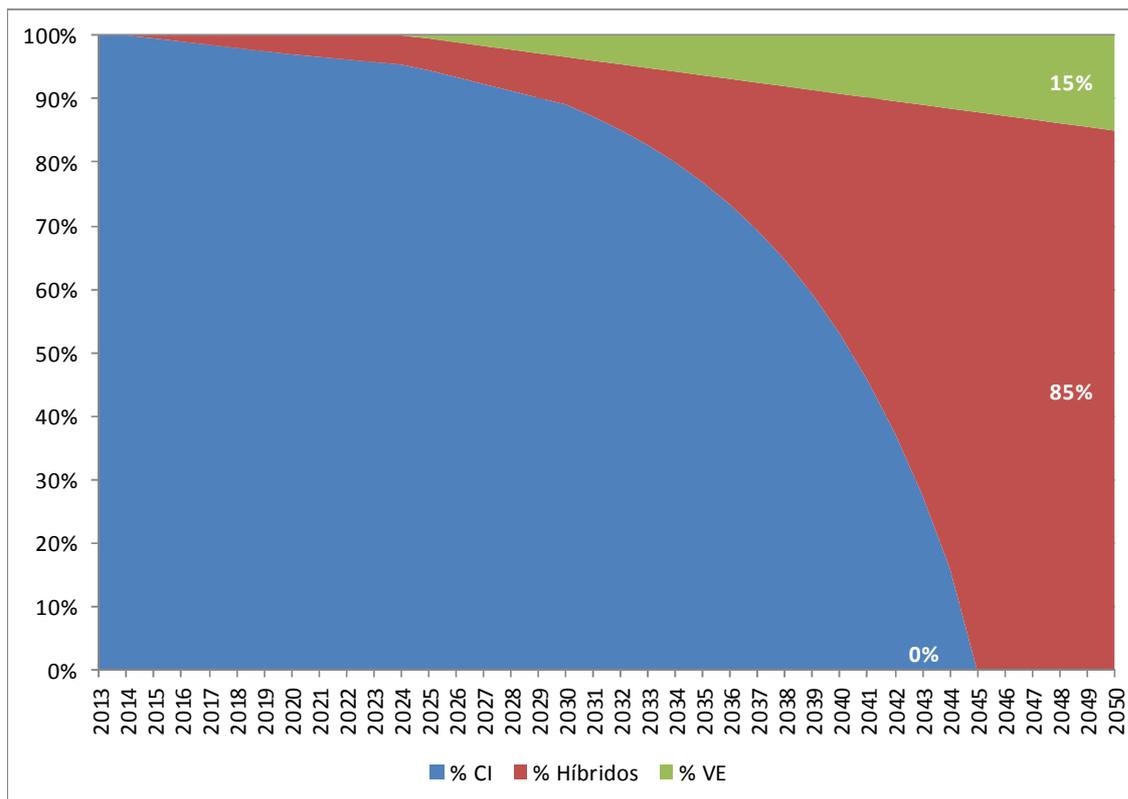


Figura 85- Brasil: Licenciamento de veículos leves

Fonte: elaboração EPE

Nesse horizonte, estima-se que a frota nacional de veículos leves do Ciclo Otto e elétricos deverá atingir 123 milhões de unidades em 2050. Lembra-se que a frota total de veículos leves ainda inclui os veículos leves a diesel, que se estima totalizar 6,5 milhões de unidades em 2050. Assim, a frota total estimada de veículos leves (ciclo Otto, elétricos e diesel) é de cerca de 129 milhões de unidades em 2050.

Os veículos híbridos representarão 50% desta frota, correspondendo a um total de 64,4 milhões de unidades e os veículos elétricos representarão 9,2%, totalizando 11,9 milhões de unidades, conforme ilustram a Figura 86 e a Figura 87.

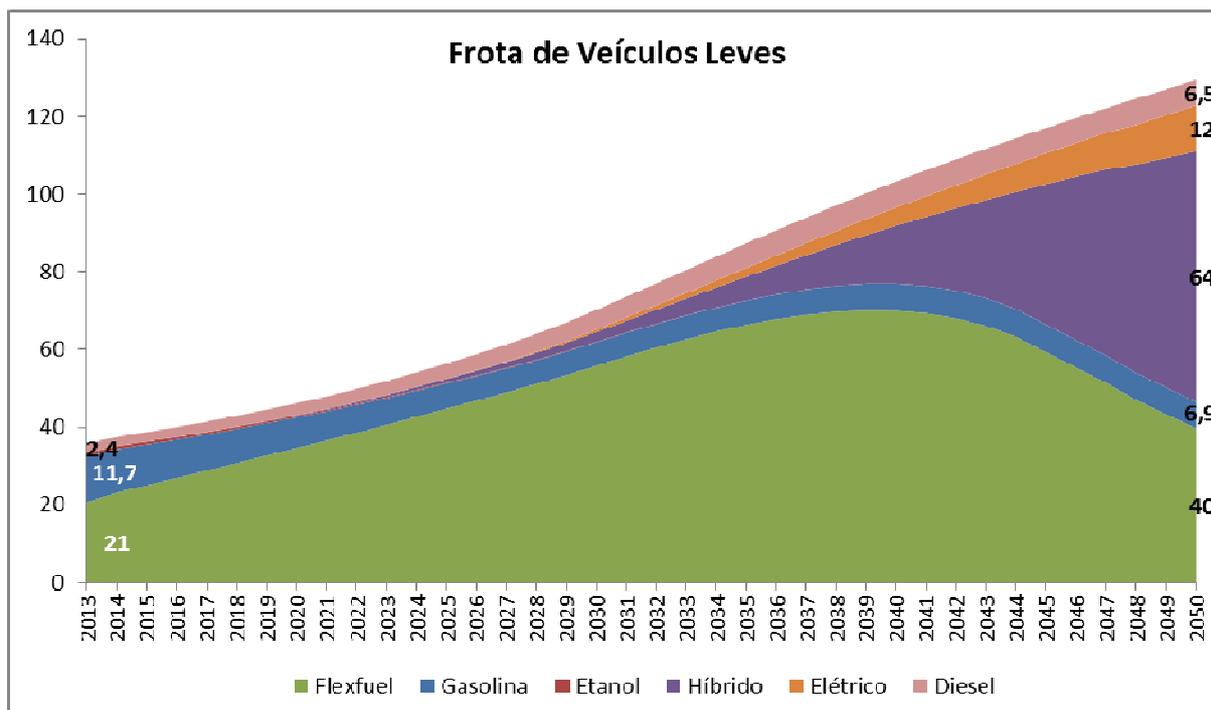


Figura 86- Brasil: Frota de veículos Ciclo Otto, elétricos e Ciclo Diesel
 Fonte: elaboração EPE

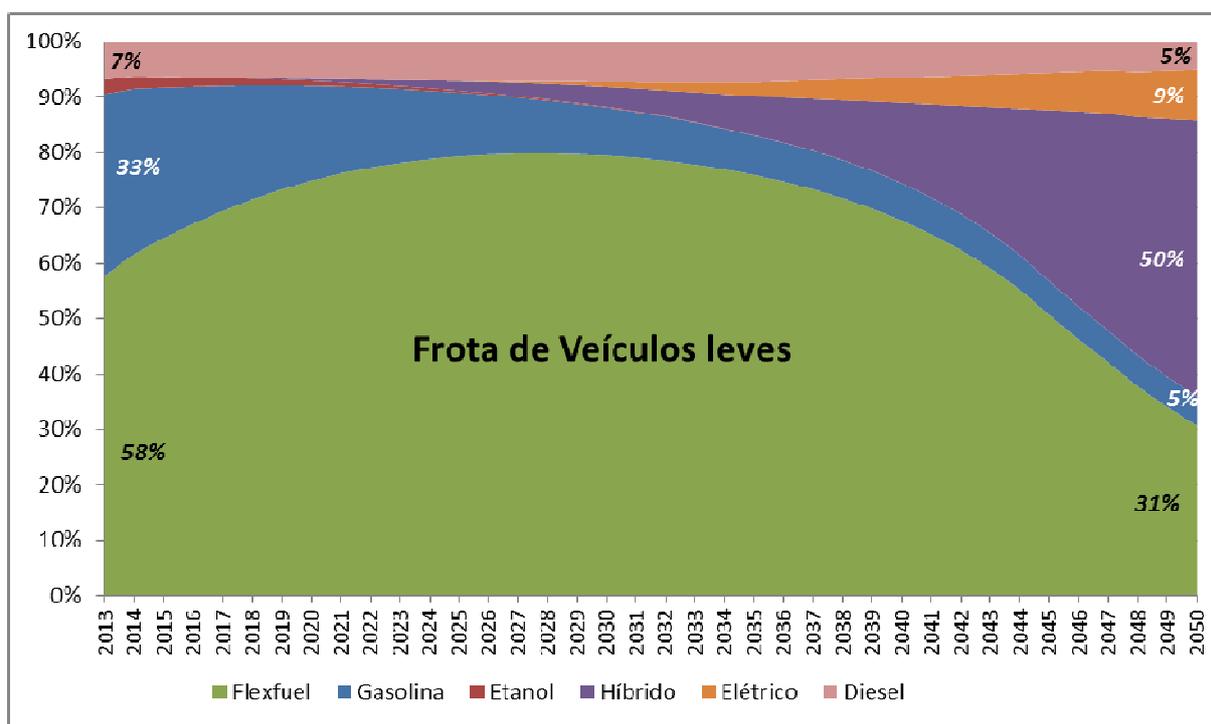


Figura 87- Brasil: Perfil da frota de veículos leves por combustível
 Fonte: elaboração EPE

Para o período de 2013 a 2050, estima-se um crescimento da demanda global de combustíveis para a frota total de veículos leves do Ciclo Otto³⁸, de 1,4% ao ano. Seu volume, após atingir um máximo de 102 milhões de m³ de gasolina equivalente em 2041, começará a decrescer, chegando a 90 milhões de m³ de gasolina equivalente em 2050, conforme ilustra a Figura 88.

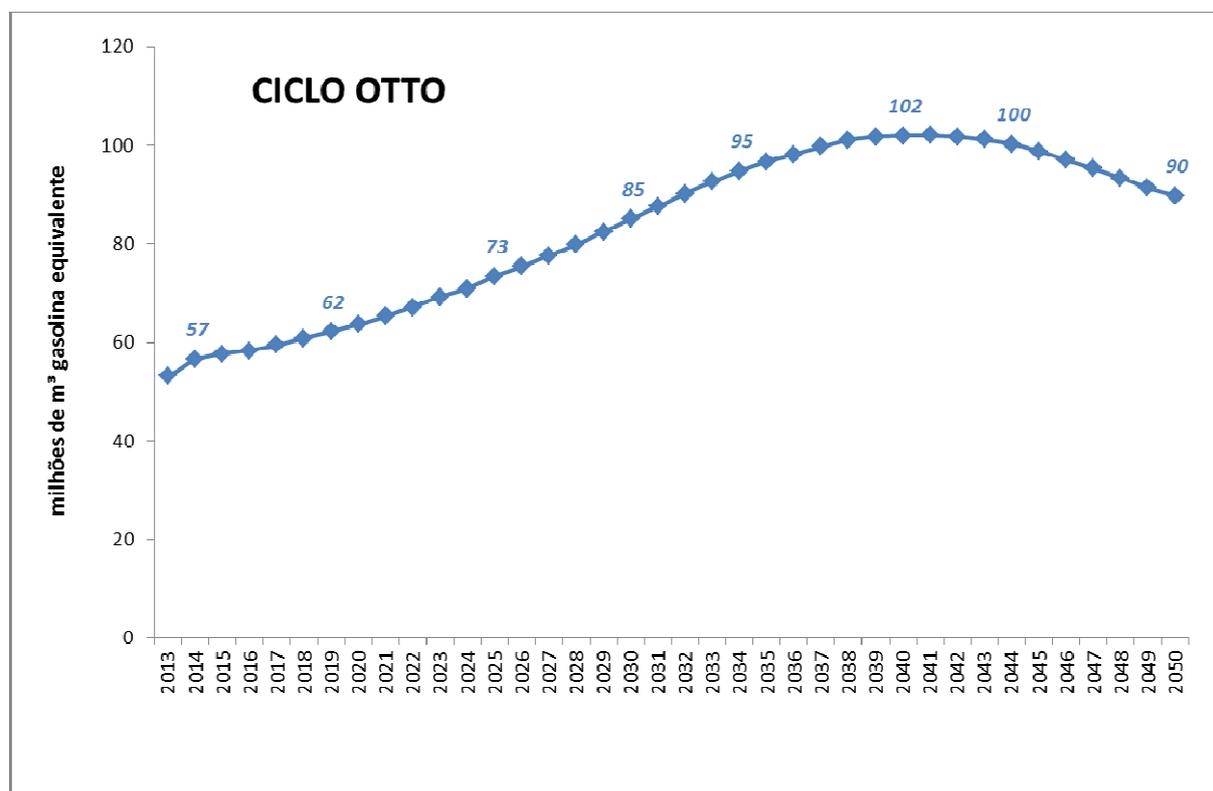


Figura 88- Brasil: Demanda final de energia para veículos leves do Ciclo Otto
Fonte: Elaboração EPE

A partir da projeção da oferta interna total de etanol carburante, calculada no Capítulo de Oferta de Etanol, estima-se a parcela da demanda de veículos “*flex fuel*” que será atendida por etanol hidratado e aquela que será atendida por gasolina C.

A demanda de gasolina A, no período avaliado, destina-se, quando misturada ao etanol anidro, tanto ao atendimento à frota dedicada a gasolina, quanto à parcela da frota “*flex fuel*” que consome este combustível. Em 2050, estima-se um volume de 40 milhões de m³ deste combustível, representando uma taxa de crescimento de 0,6% a.a. entre 2013 e 2050, como pode ser observado na Figura 89. Também aqui, a demanda de gasolina A passa por um máximo de 52 milhões de m³ em 2039.

³⁸ Inclui GNV.

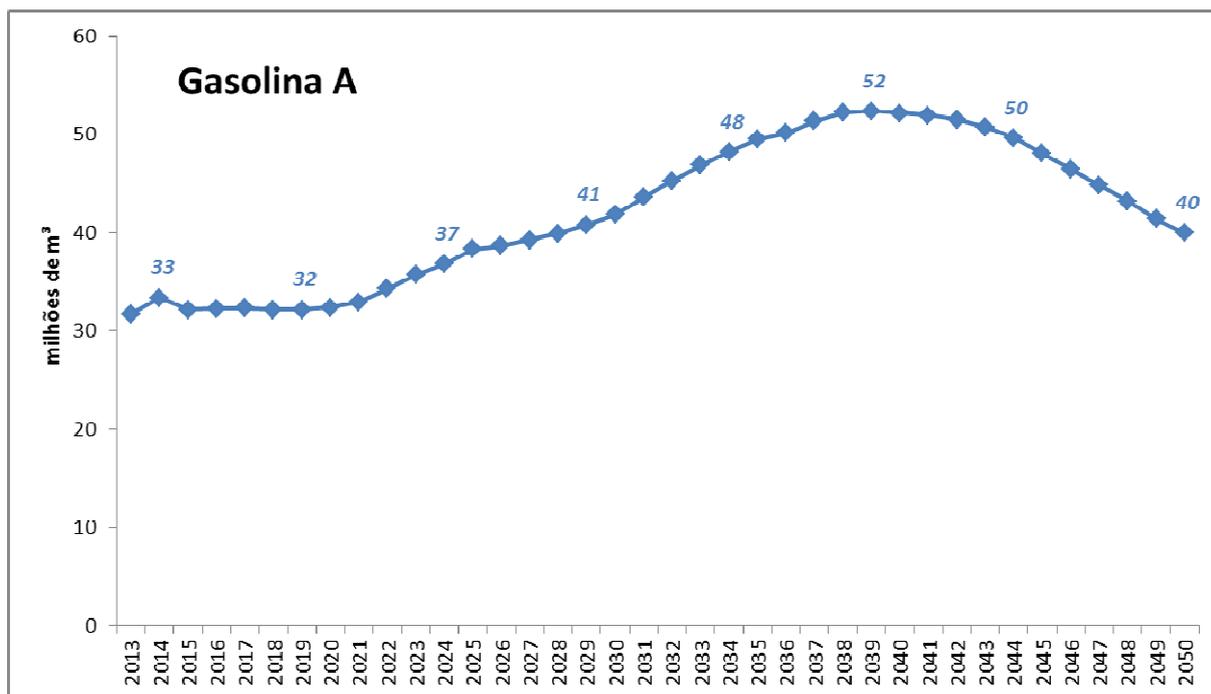


Figura 89- Brasil: Demanda de Gasolina A

Fonte: Elaboração EPE

Quanto à demanda brasileira de etanol anidro, assumiu-se que o teor de anidro obrigatório adicionado à gasolina A, estipulado em 27% a partir de março de 2015⁴⁰, será mantido neste valor em todo o horizonte de estudo. Projeta-se uma taxa média de crescimento de 1,2% ao ano entre 2013 e 2050. Deste modo, a demanda de etanol anidro atingirá o valor de 14,8 milhões de m³ em 2050, conforme a Figura 90, depois de passar por um máximo de 19,4 milhões de m³, em 2039.

⁴⁰ Através da Portaria MAPA nº 75, de 5 de março de 2015, fixou-se, a partir da zero hora do dia 16 de março de 2015, o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina em 27% na Gasolina Comum e 25% na Gasolina Premium.

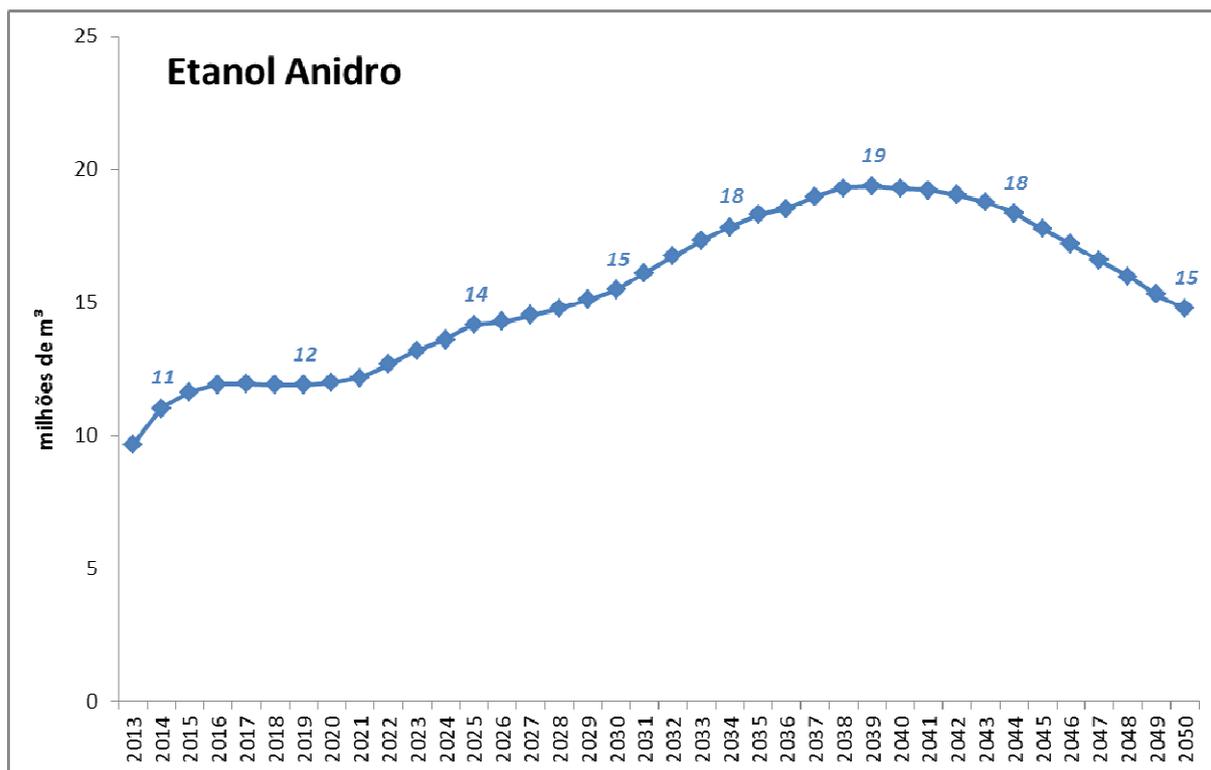


Figura 90- Brasil: Demanda de Etanol Anidro

Fonte: Elaboração EPE

A evolução da demanda de Gasolina C (mistura de gasolina A com etanol anidro), para o período de 2013 a 2050, pode ser visualizada na Figura 91.

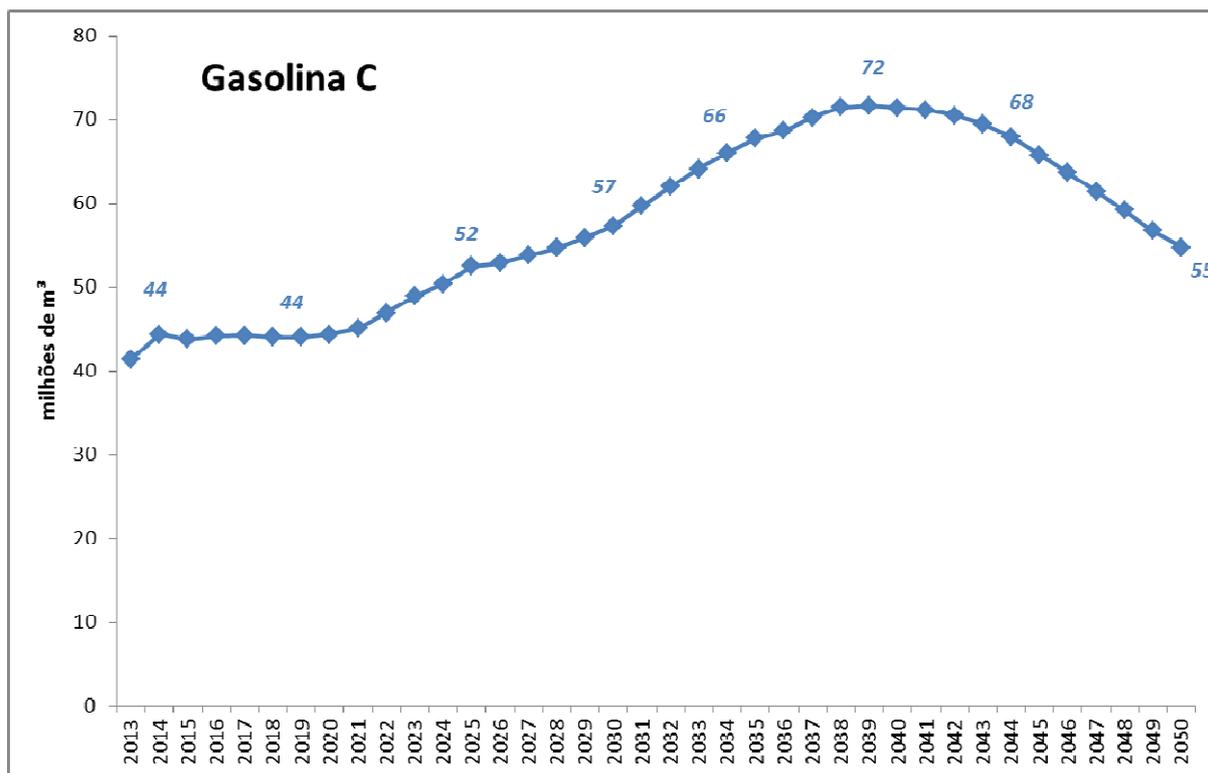


Figura 91- Brasil: Demanda de Gasolina C

Fonte: Elaboração EPE

Em 2015, projeta-se que a demanda de etanol hidratado alcance 16 milhões de m³. Para o período de 2013 a 2050, estima-se um crescimento de 3,2% ao ano, atingindo um volume de 42 milhões de m³ em 2050, conforme apresentado na Figura 92.

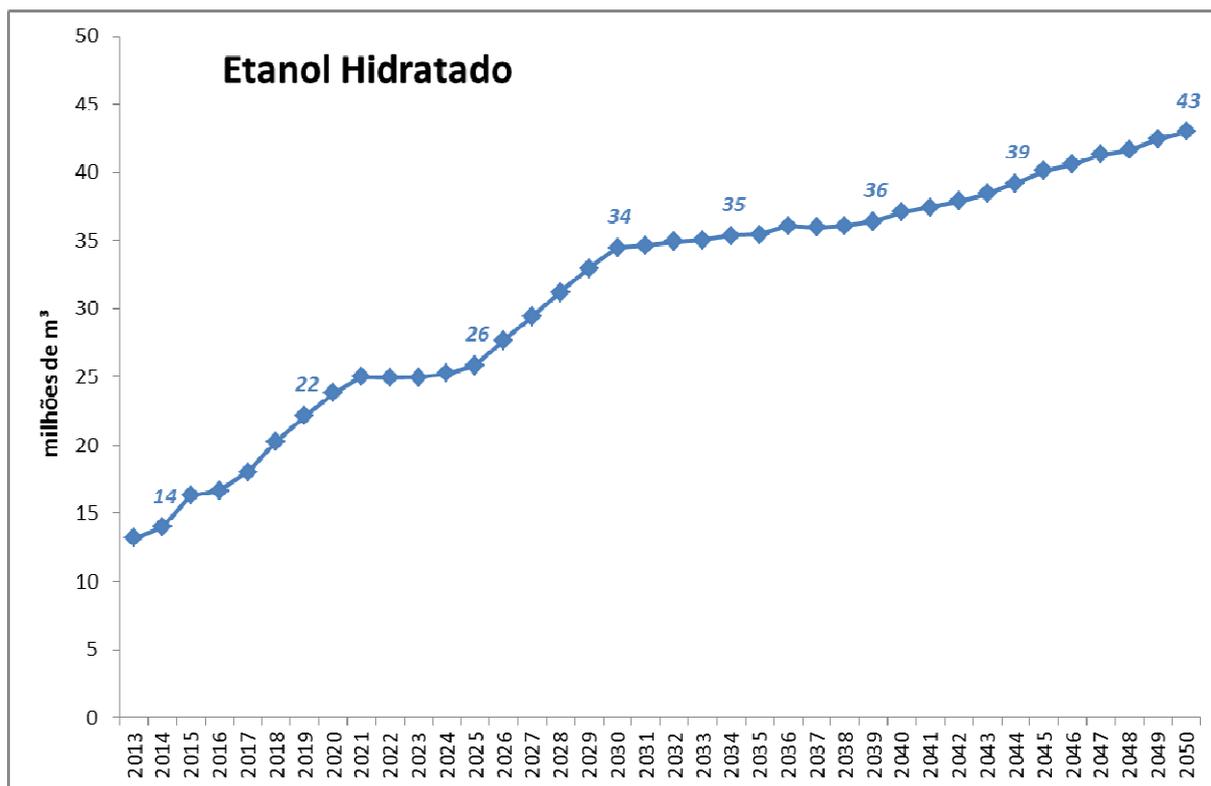


Figura 92- Brasil: Demanda de Etanol Hidratado

Fonte: Elaboração EPE

Admitiu-se nesse estudo que a entrada dos veículos elétricos no mercado nacional ocorrerá em 2025, quando representarão 0,5% do licenciamento de leves. Em 2050, essa participação alcançará 15% de todos os veículos leves licenciados. A demanda de eletricidade da frota elétrica é apresentada na Figura 93, alcançando 30 MWh em 2050.

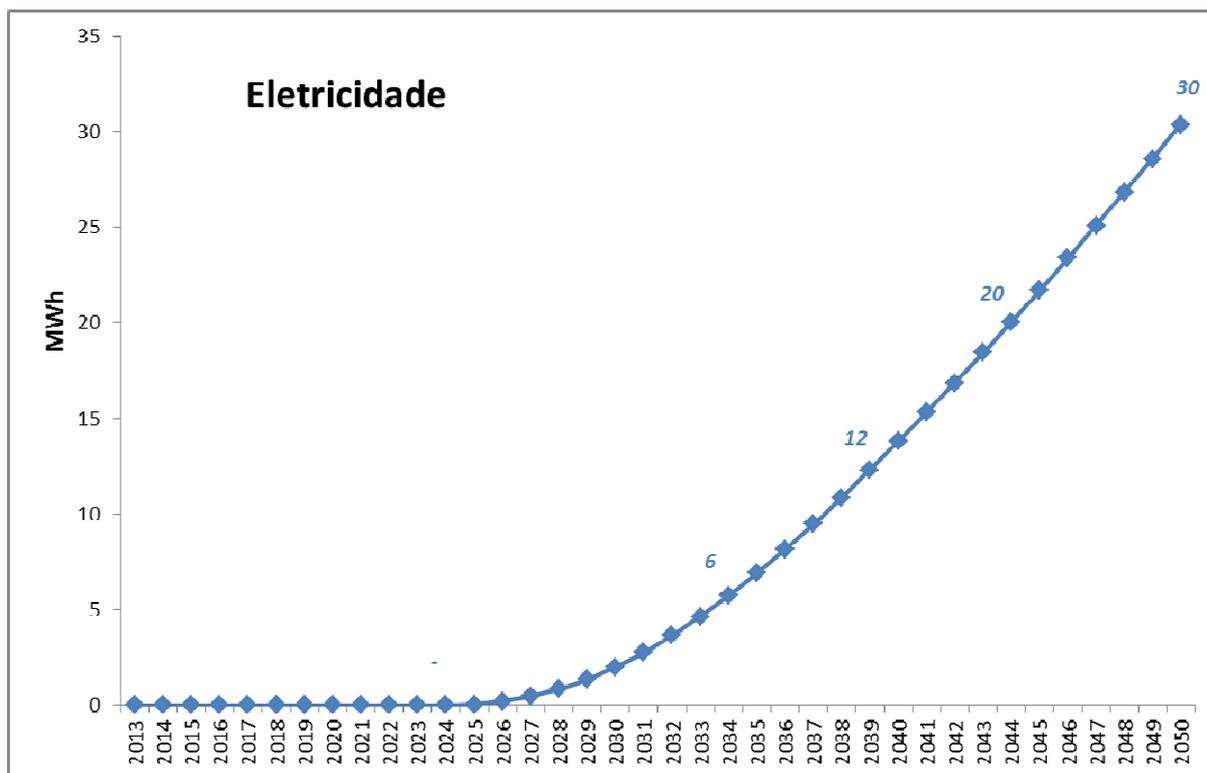


Figura 93- Brasil: Demanda de Eletricidade para veículos leves

Fonte: elaboração EPE

A partir das considerações realizadas, a demanda total consolidada de energia no setor brasileiro de transportes crescerá, em média, 1,9% ao ano até 2050, com destaque para o crescimento da demanda de diesel, QAV, etanol hidratado e eletricidade, conforme indicado na Figura 94.

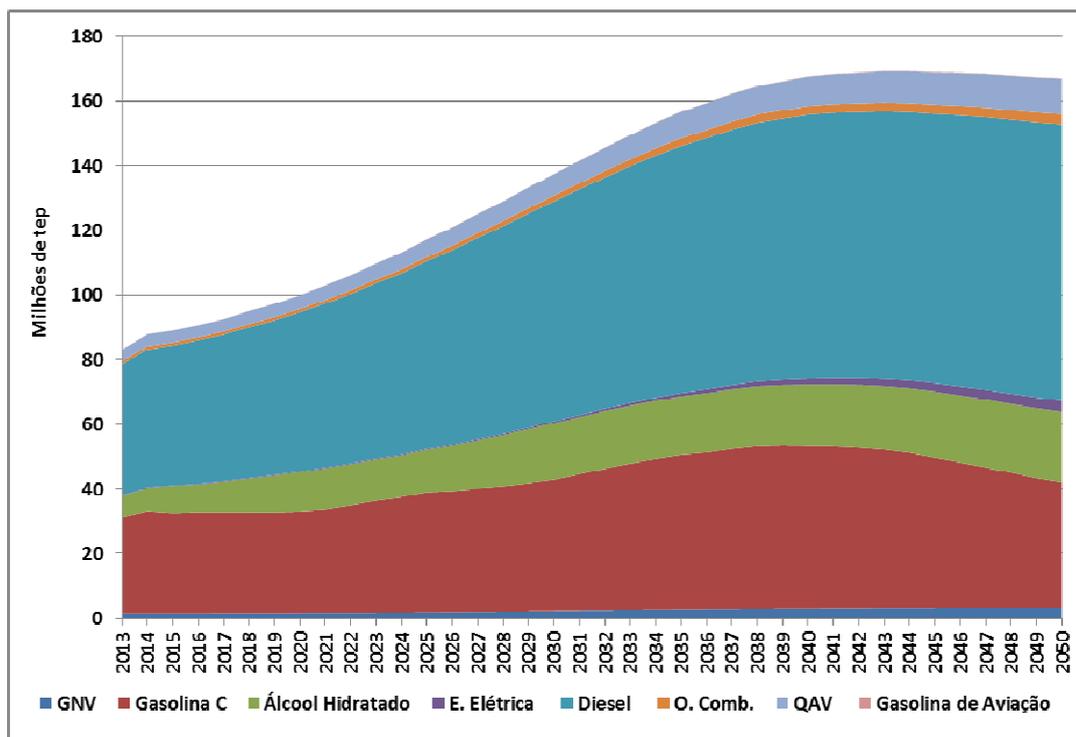


Figura 94- Demanda total de energia do setor transporte

Fonte: Elaboração EPE

A demanda de eletricidade se torna mais relevante a partir da maior entrada de veículos elétricos (automóveis e ônibus). Já a demanda de gasolina C crescerá, em média, 0,7% ao ano, como resultado do maior uso do etanol hidratado, dos ganhos de eficiência e da forte penetração de novas tecnologias, como os veículos híbridos e elétricos.

Por fim, destaca-se o transporte de cargas que, apesar da crescente participação do modal ferroviário, mantém elevada representatividade do transporte rodoviário, com manutenção do grau de dieselização da frota. Desta forma, estima-se que a demanda de diesel para atender o transporte de cargas representará mais de 40% da demanda energética total do setor transporte em 2050.

Tabela 7- Demanda de energia no setor de transportes por modal (mil tep).

Modal	Fonte	2013	2020	2030	2040	2050
Rodoviário	GNV	1.647	1.740	2.330	3.000	3.245
	Gasolina A	24.393	24.920	32.198	40.146	30.763
	Etanol Anidro	5.172	6.392	8.259	10.298	7.891
	Etanol Hidratado	6.717	12.134	17.587	18.910	21.919
	Óleo Diesel	39.077	46.992	64.777	77.050	80.150
	Eletricidade	-	-	196	1.350	3.018
Ferroviário	Óleo Diesel	1.019	1.815	2.695	3.628	4.183
	Eletricidade	162	265	331	426	502
Aquaviário	Óleo Diesel	341	372	596	928	1.099
	Óleo Combustível	959	1.052	1.794	2.641	3.096
Aéreo	QAV	3.608	4.234	6.598	9.122	11.014
	Gasolina de Aviação	58	66	98	123	123
Total		83.155	99.982	137.460	167.621	167.002

Fonte: Elaboração EPE

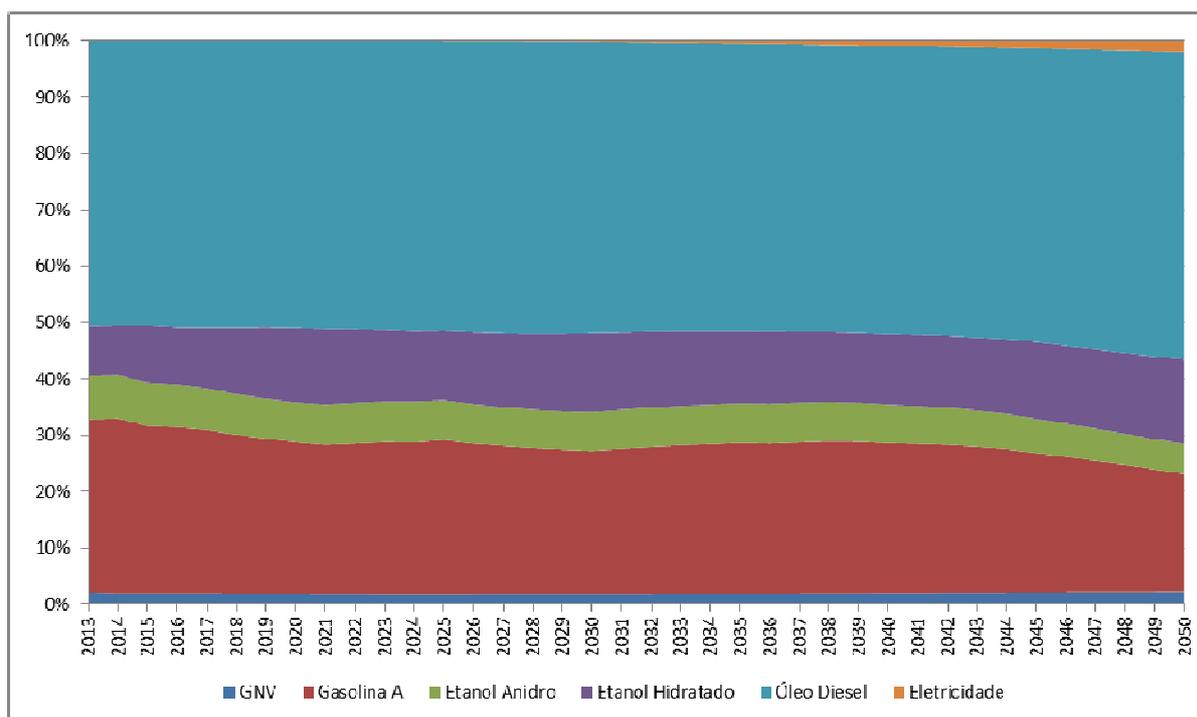


Figura 95- Demanda de energia do setor transporte: modal rodoviário (inclui transporte de carga e passageiros)

Fonte: Elaboração EPE

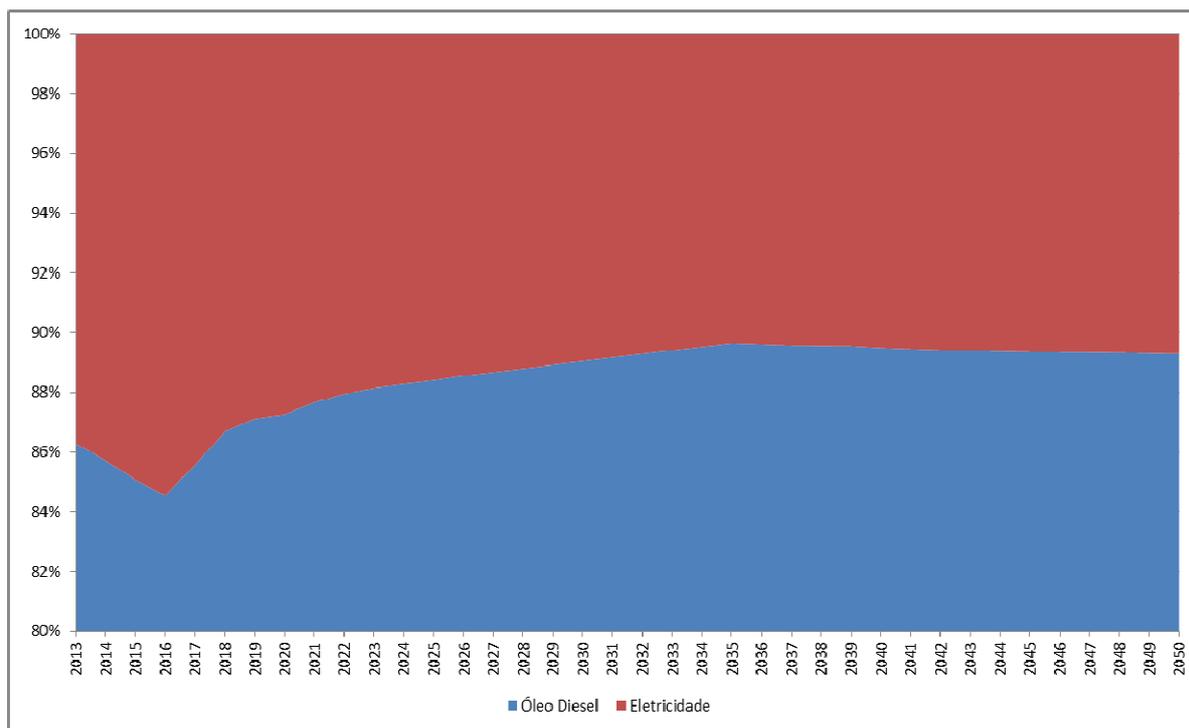


Figura 96- Demanda de energia do setor transporte: modal ferroviário (inclui transporte de carga e passageiros)

Fonte: Elaboração EPE

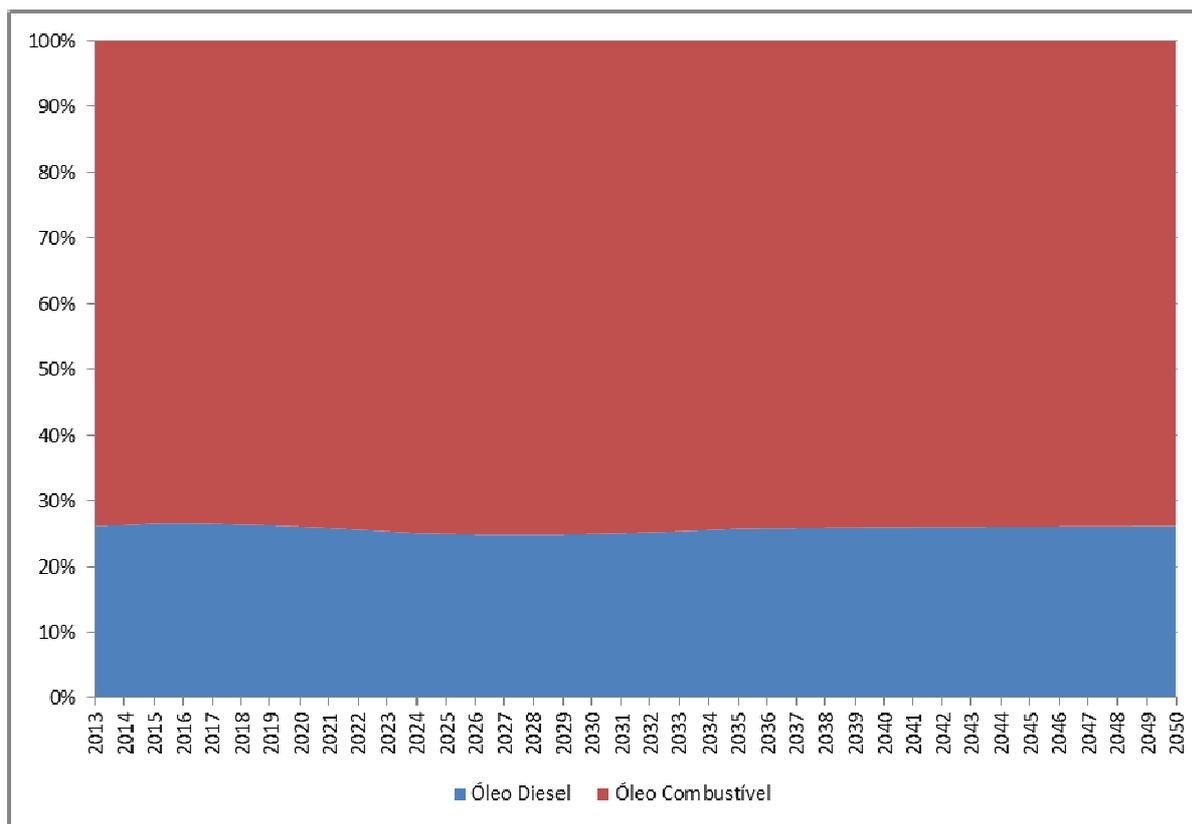


Figura 97- Demanda de energia do setor transporte: modal aquaviário (inclui transporte de carga e passageiros)

Fonte: Elaboração EPE

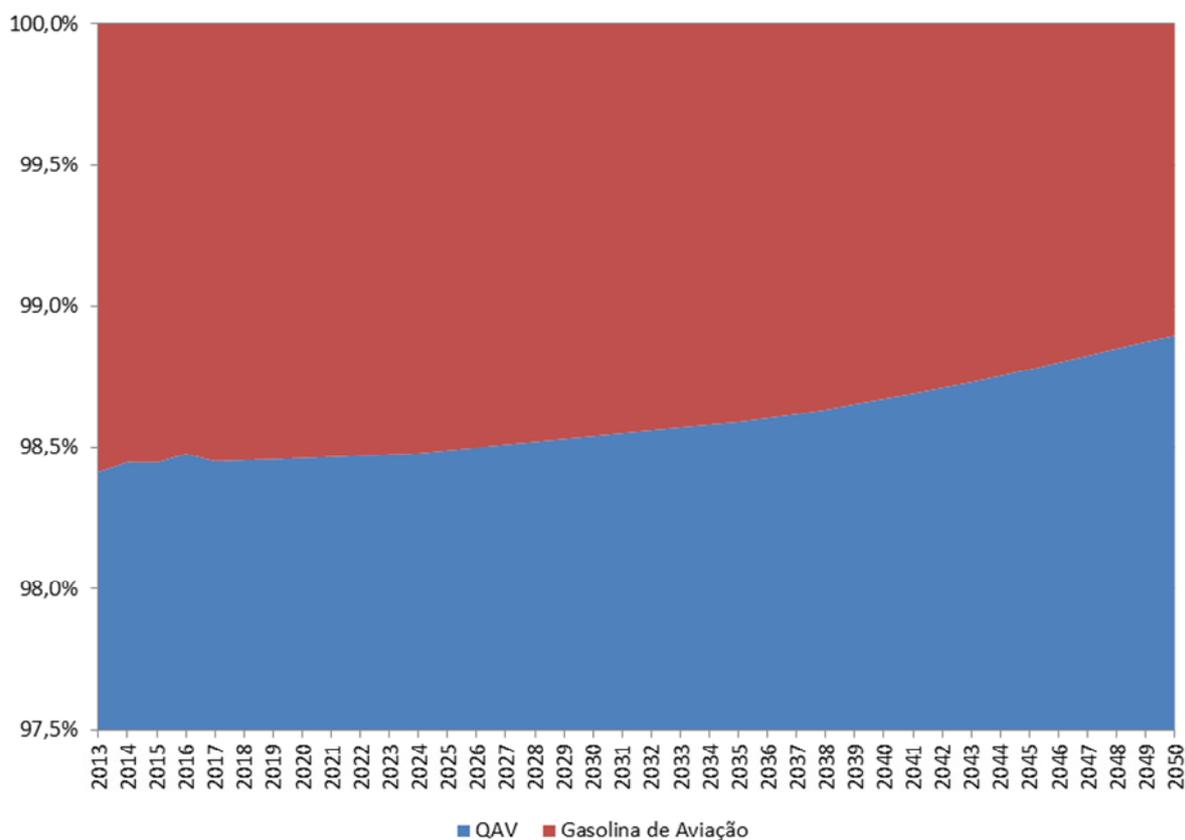


Figura 98- Demanda de energia do setor transporte: modal aeroviário (inclui transporte de carga e passageiros)

Fonte: Elaboração EPE

Vale destacar que esses resultados derivam de um cenário possível, considerado como referência para o PNE 2050, mas que outros igualmente possíveis poderiam conduzir a resultados diferentes. Assim, por exemplo, poder-se-ia considerar cenários com taxas de penetração tecnológica nos veículos leves distintas das que foram admitidas. Desta forma, se poderia elaborar um cenário em que prevalecesse a tecnologia baseada em combustão interna ou, ao contrário, um cenário em que ocorresse uma penetração mais acelerada dos veículos de motorização elétrica.

No primeiro caso, o licenciamento de veículos novos seria preponderantemente de combustão interna, “flex fuel” e a penetração de veículos híbridos e elétricos estaria restrita a nichos específicos de renda e aplicações específicas como, por exemplo, em projetos de mobilidade urbana em algumas cidades. Como consequência, a demanda de energia no ciclo Otto (medida em gasolina equivalente) seria maior no longo prazo, devido à menor eficiência energética dos motores a combustão interna comparativamente aos veículos híbridos/elétricos. Tal aspecto refletir-se-ia, por sua vez, na demanda de combustíveis no longo prazo. Já no cenário oposto, de penetração tecnológica de

motorização elétrica mais acelerada, a demanda de combustíveis no longo prazo seria mais reduzida, sendo compensada, em parte, por um aumento da demanda de eletricidade.

Neste sentido, apenas a título de análise de sensibilidade, foi feito um exercício simplificado para se estimar o impacto que poderia ser causado, na oferta total de eletricidade do país, por uma demanda adicional proveniente do setor de transporte, em uma hipótese extrema e pouco provável de que, a partir do início da década de 2040, todos os veículos leves licenciados no país fossem híbridos ou elétricos, o que poderia resultar em uma frota, em 2050, em que quase 90% dos automóveis e comerciais leves fossem desse tipo. Como resultado, a demanda estimada de eletricidade para estes veículos seria de aproximadamente 122 TWh em 2050, consumo na mesma ordem de grandeza observada no setor residencial brasileiro em 2013.

3.3.4 Edificações

3.3.4.1 Edificações residenciais

No setor residencial brasileiro, as fontes energéticas mais relevantes são a eletricidade, o gás liquefeito de petróleo (GLP) e a lenha, conforme podemos observar na Tabela 8, sendo estes dois últimos destinados principalmente à cocção de alimentos e ao aquecimento de água para banho.

Tabela 8- Consumo final energético no setor residencial brasileiro em 2012

Fonte	Consumo (10 ³ tep)	%
Eletricidade	10.118	42,6
Lenha	6.472	27,2
GLP	6.393	27,0
Carvão vegetal	478	2,0
Gás natural	295,5	1,2
Querosene	4,5	0,0
Total	23.761	100,0

Fonte: EPE (2013)

Nesse setor, variáveis como o número de domicílios e o perfil de posse de equipamentos têm importante impacto na determinação do consumo de energia. Enquanto o consumo de eletricidade é significativo para o uso de eletrodomésticos e outros equipamentos de uso em residências, como chuveiros e lâmpadas, o consumo da lenha, do gás natural e do GLP

tem uma aplicação importante no atendimento da demanda por cocção e aquecimento de água.

Sendo assim, a evolução desse consumo dependerá da combinação de efeitos tais como o crescimento do número de domicílios, a evolução da posse e uso dos equipamentos eletrodomésticos e térmicos, a potência de consumo de cada equipamento e a evolução dos índices de eficiência energética dos mesmos.

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

Uma vez calibrados os modelos e os parâmetros básicos de projeção, aplicou-se a metodologia “*bottom up*”, através desses cálculos chega-se à desagregação da variação de energia por efeito conforme veremos adiante. É importante destacar ainda que o cálculo da energia conservada nos dois modelos teve por referência uma mesma base de número de domicílios e sua distribuição por faixa, assim como o atendimento pela rede elétrica, que atinge 100% no curto prazo através do sucesso do programa “Luz para todos”.

Observe-se que a metodologia permite que seja considerada - e assim se fez - eventual substituição entre fontes. Por exemplo, a substituição da eletricidade por gás ou por sistemas de aquecimento solar no caso do aquecimento de água. Contudo, pela abordagem adotada, tal redução em alguns casos foi contabilizada como consumo evitado, embora muitos autores defendam que alguns casos específicos deveriam ser considerados como energia conservada⁴². Na sequência deste texto, serão apresentadas algumas variáveis relacionadas às características estruturais do setor residencial que merecem ser mencionadas.

No horizonte do PNE 2050, estima-se que sejam adicionados cerca de 35 milhões de novos domicílios no país, sendo atingido um grau de 100% de atendimento do serviço de fornecimento de energia elétrica. Nessa situação, o número de domicílios particulares

⁴²De fato, aqui se adota o entendimento de que a substituição por energia solar apenas desloca o atendimento para outra fonte de energia, ou seja, não representa necessariamente eficiência energética.

permanentes com energia elétrica passará de 63 milhões em 2013 para cerca de 98 milhões de unidades em 2050. Esse aumento é previsto tanto para o atendimento do déficit habitacional existente, quanto para comportar o crescimento populacional esperado para o período.

Outro fato importante a ser destacado refere-se ao aumento da renda per capita, ao longo do horizonte até 2050, acompanhado por um processo de distribuição de renda, que impulsionará a inclusão de um número expressivo de consumidores que demandarão cada vez mais bens de consumo, serviços e energia, com impactos positivos sobre diversos setores da economia.

Este aumento de renda per capita acompanhado da queda da desigualdade social no país é um movimento que vem ocorrendo mais intensamente desde 2001, conforme vemos na Figura 99 apresentada abaixo, e está previsto como tendência no horizonte do estudo.

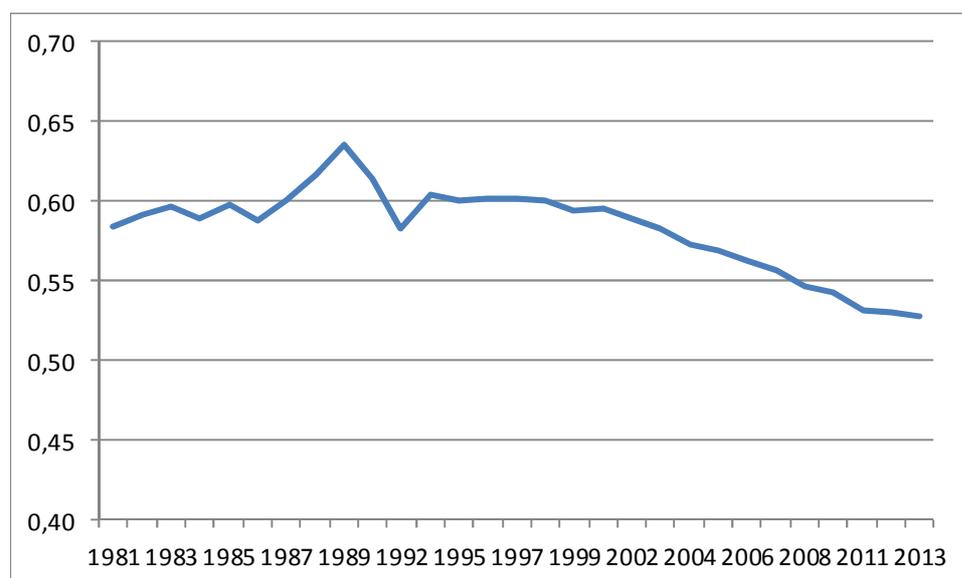


Figura 99- Desigualdade - Coeficiente de Gini (1981-2013)

Fonte: IPEADATA (2013)

Esses dois fatores serão responsáveis por mudanças significativas nos padrões de consumo de energia no país, pois com mais renda disponível, a demanda reprimida que ainda existe será atendida, ou seja, diversas famílias passarão a ter acesso a determinados bens que antes não possuíam.

Um fator importante a ser destacado refere-se ao fato de que alguns equipamentos, no momento de sua troca, têm a tendência de serem substituídos por equipamentos com maior qualidade no serviço prestado, o que em alguns casos representa um maior consumo

energético. Como se pode observar na Tabela 9, quanto maior a renda, maiores tendem a ser os gastos com eletrodomésticos e equipamentos eletroeletrônicos para lazer, logo, maior será o consumo de energia dessas famílias.

Tabela 9- Despesas familiares totais anuais médias por classe de renda, por categoria de consumo (US\$ 1996 PPP)

Categorias de consumo/Classe de renda	média	s.m.	<2	2<sm<3	3<sm<5	5<sm<6	6<sm<8	8<sm<10	10<sm<15	15<sm<20	20<sm<30	sm>30
Alimentação	1 360	571	904	1 019	1 111	1 297	1 364	1 498	1 711	2 035	2 611	
Alimentação prep. e hospedagem	430	74	112	177	243	280	379	452	665	751	1 403	
Calçados e vestuário	616	104	194	264	347	448	527	663	874	1 099	1 779	
Habitação	1 902	253	404	587	833	1 028	1 207	1 719	2 469	3 223	7 326	
Transportes	1 720	167	261	411	597	748	917	1 439	2 203	3 128	7 829	
Eletrodomésticos	785	153	240	302	334	460	578	757	1 069	1 321	2 581	
Saúde e educação	1 135	223	300	378	489	622	768	1 067	1 669	2 168	3 858	
Produtos de papel	160	22	44	64	86	123	148	158	203	364	483	
Lazer	695	72	118	180	254	373	473	681	1 032	1 359	2 559	
Equipamentos eletrônicos p/ lazer	181	53	66	90	151	155	150	214	250	310	435	
Comunicações	239	35	48	50	65	82	107	157	293	432	1 098	
Outros	66	9	16	22	32	43	52	64	87	139	216	
Total	9 289	1 736	2 705	3 545	4 542	5 660	6 671	8 870	12 525	16 329	32 179	

Fonte: Cohen (2005)

Sendo assim, graças ao incremento de ligações à rede e a melhoria das condições de renda, outro efeito significativo relacionado ao aumento do consumo do período é o aumento da posse de equipamentos, tais como ar condicionado, lâmpadas, televisão, máquina de lavar, entre outros. A Tabela 10 mostra a evolução dos indicadores de posse para equipamentos selecionados no período.

Tabela 10- Posse média de equipamentos selecionados (2013-2050)

Equipamento	2013	2050
Ar condicionado	0,23	1,37
Geladeira	1,03	1,03
Lâmpada	8,25	10,43
Chuveiro	0,70	0,20
Televisão	1,61	1,85
Máquina de lavar	0,68	0,82
Freezer	0,18	0,12

Fonte: Elaboração EPE

Além destes, estima-se que haverá significativo aumento da posse de outros equipamentos eletroeletrônicos, que hoje representam 24,5% da eletricidade consumida, sendo estimado que responda por aproximadamente 50% em 2050. Em nível de comparação, nos EUA, em 2009 esses equipamentos já representavam 55% do consumo residencial.

Esse aumento da posse média de equipamentos implicará num deslocamento da participação dos consumidores por faixa de consumo de energia elétrica, conforme exibido na Figura 100 e na Tabela 11, deslocando a média Brasil dos patamares atuais (2013), fazendo com que regiões como as das Distribuidoras 3 e 4, de menor renda per capita, tenham melhor qualidade de serviço e renda, elevando conseqüentemente a média Brasil (2050), elevando a patamares que se aproximam da distribuição de consumo já observada em regiões mais desenvolvidas e de maior renda per capita, onde estão localizadas as Distribuidoras 1 e 2, por exemplo.⁴³ Caso a distribuição de consumidores por faixa se mantivesse na mesma proporção do ano base, ou seja, sem efeito o estrutura, teríamos um consumo médio mensal por domicílio de 198 kWh, ao invés de 284 kWh, conforme podemos observar na Figura 100.

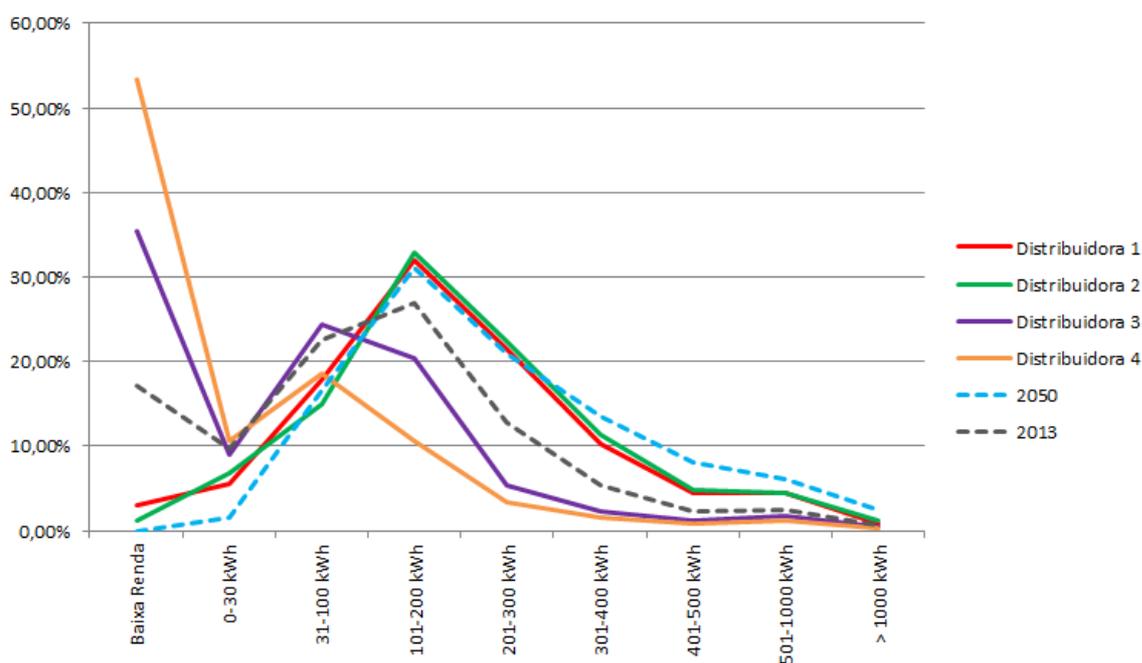


Figura 100- Domicílios consumidores por faixa de consumo.

Fonte: Elaboração EPE

⁴³ Os dados apresentados na Figura 100 referem-se ao mercado observado em algumas distribuidoras de energia elétrica, cujos nomes não podem ser divulgados por razões de confidencialidade de informações.

Tabela 11- Domicílios consumidores por faixa de consumo (2013-2050)

Faixa de consumo (kWh)	2013	2050
0-30	6.889	985
30-100	18.044	19.693
100-200	18.581	31.509
200-300	13.574	21.170
300-400	2.783	12.308
400-500	1.265	6.154
500-1000	1.474	4.923
>1000	336	1.723
Total	62.947	98.466

Fonte: Elaboração EPE

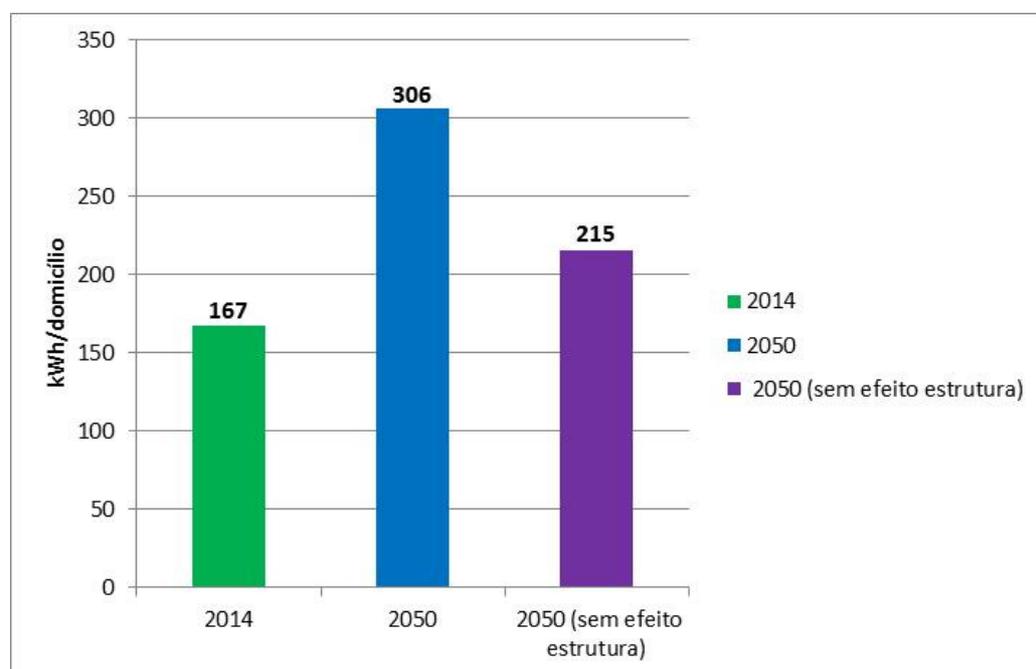


Figura 101- Consumo mensal sem efeito estrutura.

Fonte: Elaboração EPE

No cenário de evolução do setor residencial brasileiro no longo prazo, também existe a premissa de aumento da intensidade de uso dos equipamentos, tanto pelo aumento da disponibilidade de renda já mencionado, quanto pelo aumento do uso de tecnologias para entretenimento, da interconectividade de pessoas e equipamentos e por novos hábitos que se expandirão no horizonte, como o tele-trabalho.

No horizonte do estudo é esperada a introdução e expansão do “*smart grid*” no setor, possibilitando o uso de equipamentos eletrodomésticos inteligentes, que consomem

energia fora do horário de pico, com tarifas diferenciadas. Esses equipamentos podem ser pré-programados para funcionar em horários alternativos, de acordo com o valor da tarifa. Essa tecnologia também possibilitará a expansão dos veículos elétricos, porém, neste caso, mesmo quando o abastecimento desse veículo ocorrer na residência, para fins de nosso estudo, o montante de eletricidade consumida nesse caso será contabilizado no setor transportes, uma vez que a metodologia aqui utilizada segue a classificação adotada no Balanço Energético Nacional.

Como resultado desse contexto, estima-se que em 2050, o setor residencial brasileiro consuma aproximadamente 212 TWh adicionais em relação a 2013, passando de um consumo de 124 TWh para 336 TWh.

Este aumento pode ser dividido nesses quatro efeitos principais mencionados, conforme mostra a Figura 102, sendo que o aumento do número de domicílios será o principal fator responsável pelo crescimento do consumo residencial neste horizonte.

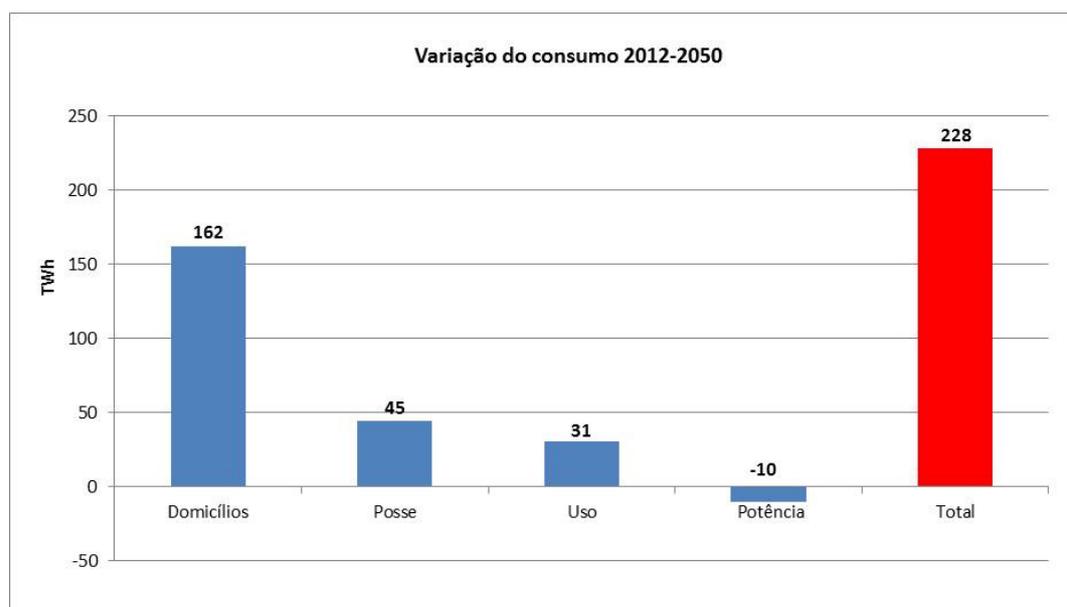


Figura 102- Setor residencial: desagregação da variação do consumo 2013-2050

Fonte: Elaboração EPE

Com todos esses efeitos somados, em 2050 chegaremos a um consumo per capita de eletricidade de cerca de 1.570 kWh/habitante, o que representa aproximadamente três vezes mais do que o consumo per capita atual.

Dados os patamares de consumo de eletricidade no setor residencial e de renda, em 2050 estaremos próximos do consumo da União Europeia nos dias atuais, conforme podemos observar na Figura 103.

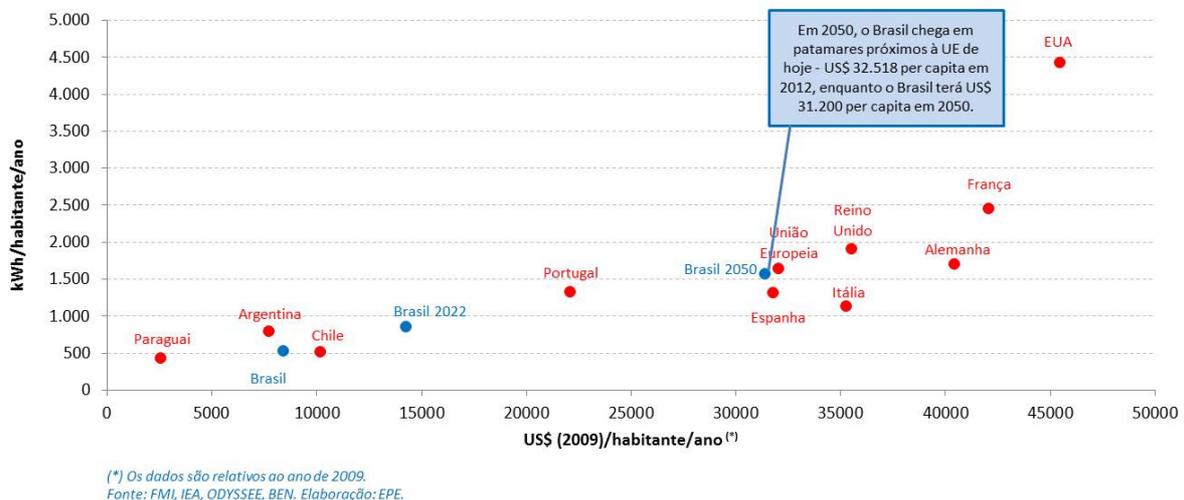


Figura 103- Consumo residencial de eletricidade x renda per capita - comparação internacional.

Fonte: Elaboração EPE

Quanto à utilização de outros energéticos nos domicílios brasileiros no longo prazo, especialmente para usos térmicos, admitiu-se que a lenha e o carvão vegetal serão parcialmente substituídos pelo GLP devido ao crescimento da renda e da menor disponibilidade desses energéticos no horizonte do estudo.

Vale destacar que o aumento da disponibilidade de gás natural no país observada para o horizonte em estudo faz com que haja maior uso deste recurso em todos os setores da economia, inclusive no setor residencial. Neste setor, há um expressivo incremento do uso do gás natural ao longo do período em estudo.

A penetração do gás natural se dará com a forte expansão da malha de distribuição desse energético nas metrópoles, reduzindo a parcela do mercado de GLP. Pelo mesmo motivo, haverá uma perda da participação de chuveiros elétricos para aquecimento de água, já que parte deste mercado passará a ser atendida por aquecedores a gás natural. Conforme podemos observar na Figura 104, este movimento de perda de participação da eletricidade para outras fontes para aquecimento de água, também ocorrerá pela maior penetração da energia solar para este fim.

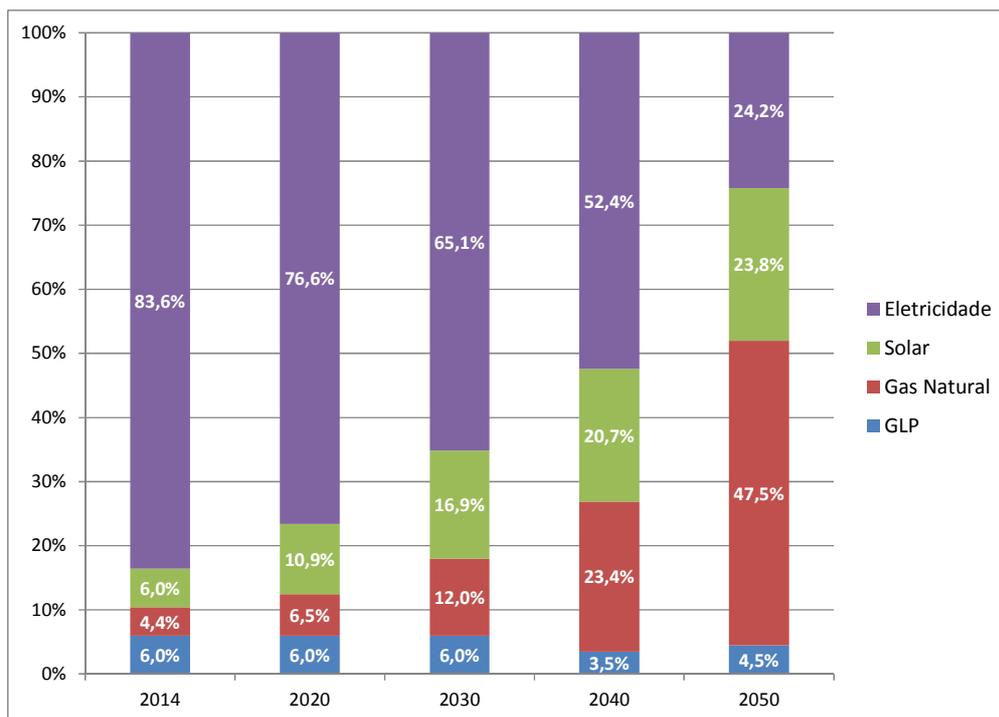


Figura 104- Participação das fontes no aquecimento de água para banho nos domicílios.

Fonte: Elaboração EPE

Admite-se que a expansão da energia solar para aquecimento de água continuará ocorrendo no setor, mantendo o crescimento atual no mercado e aumentando o crescimento incentivado pelo programa Minha Casa Minha Vida no curto prazo, decrescendo este incentivo por meio deste programa, à medida que o mercado já está maduro e o déficit habitacional reduzido. A evolução utilizada nas projeções de aquecimento solar pode ser observada nos indicadores da Figura 105.

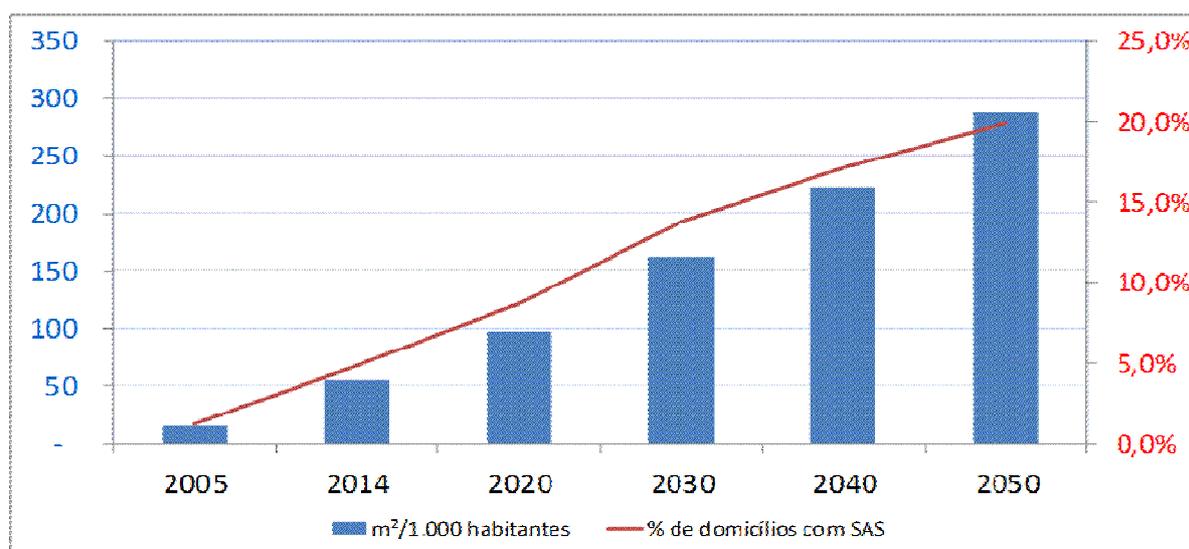


Figura 105- Indicadores sistema de aquecimento solar de água

Fonte: Elaboração EPE

A Tabela 12 resume os dados e premissas para aquecimento de água para o setor no período.

Tabela 12- Aquecimento de água no setor residencial

	2013	2020	2030	2040	2050
Número de domicílios (mil)					
Chuveiro elétrico	43.773	45.258	44.159	39.137	31.397
SAS	2.593	6.197	11.361	15.847	19.931
Gás Natural	2.190	4.137	9.326	17.974	27.240
Outras fontes	1.264	1.447	2.006	2.646	3.702
Sem aquecimento de água	13.127	14.118	15.350	16.065	16.195
TOTAL	62.947	71.158	82.201	91.669	98.466
Número de domicílios (%)					
Chuveiro elétrico	69,5	63,6	53,7	42,7	31,9
SAS	4,1	8,7	13,8	17,3	20,2
Gás Natural	3,5	5,8	11,3	19,6	27,7
Outras fontes	2,0	2,0	2,4	2,9	3,8
Sem aquecimento de água	20,9	19,8	18,7	17,5	16,4
TOTAL	100	100	100	100	100
Consumo evitado de energia elétrica (GWh)					
SAS	943	2.313	4.449	6.414	8.287
Gás Natural	1.063	2.059	4.869	9.700	15.101
Outras fontes	613	720	1.047	1.428	2.052
TOTAL	2.619	5.092	10.365	17.542	25.440

Fonte: Elaboração EPE

Na Figura 106 pode-se observar a participação das fontes usadas para cocção dos domicílios. Nota-se uma queda considerável na participação dos domicílios que consomem lenha. O consumo remanescente de lenha no horizonte é realizado não mais por consumidores essencialmente de lenha, mas por domicílios que consomem lenha e GLP e passam a consumi-la em menor frequência e quantidade conforme o aumento de renda, mantendo essencialmente seu uso em razão de hábitos regionais. Este efeito acarretará em uma queda considerável no uso da lenha em 2050, conforme vemos na Figura 107.

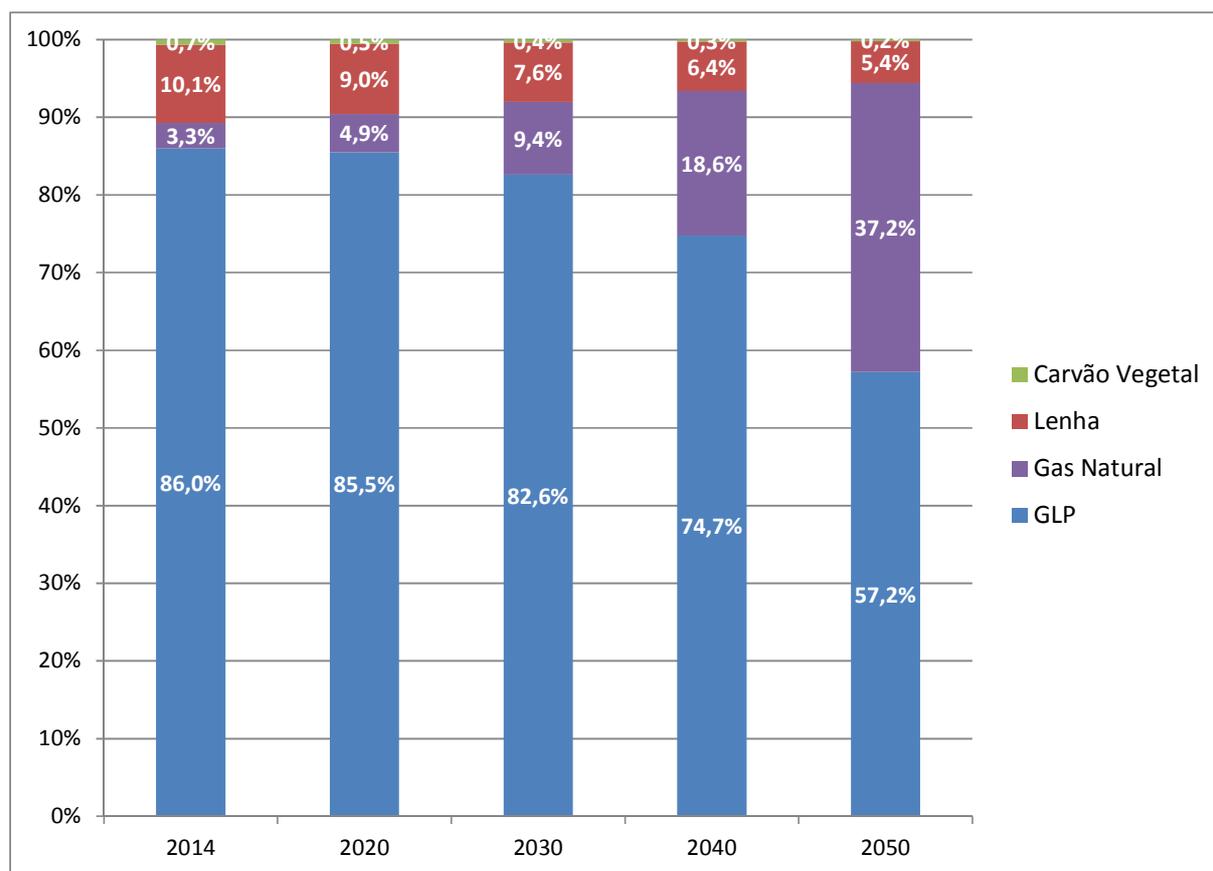


Figura 106- Participação das fontes na cocção nos domicílios

Fonte: Elaboração EPE

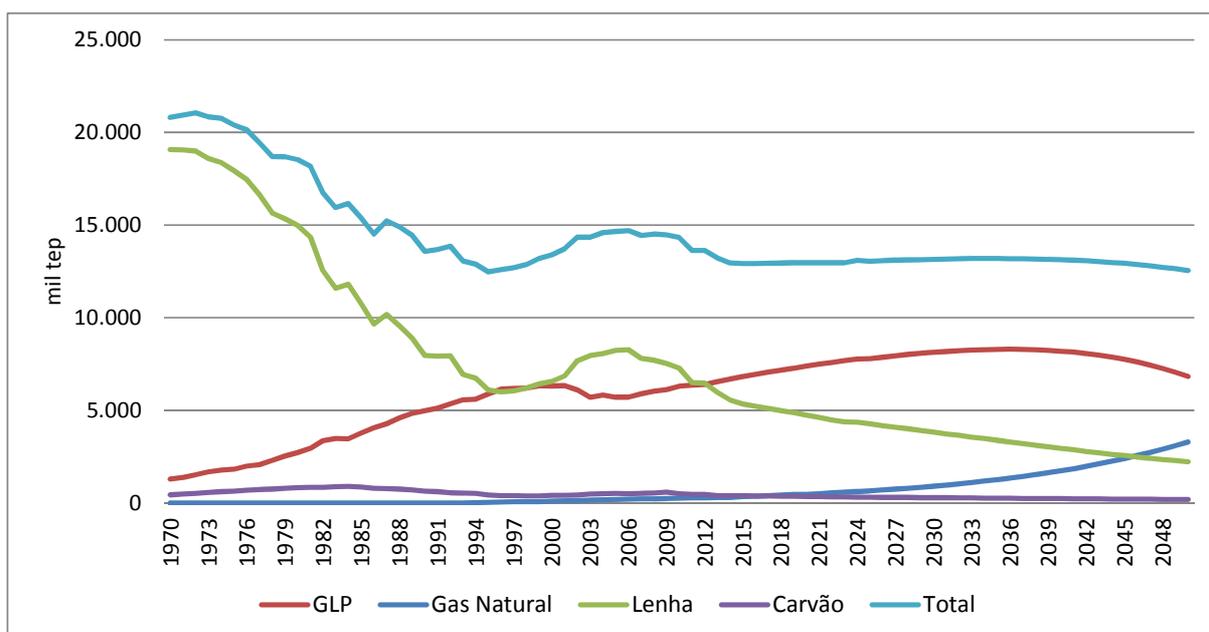


Figura 107- Consumo de combustíveis por fonte

Fonte: Elaboração EPE

A Tabela 13 resume os dados e premissas de cocção para o setor no período.

Tabela 13- Distribuição da cocção no setor residencial

	2013	2020	2030	2040	2050
Número de fogões (mil)					
GLP	63.904	70.397	76.285	76.805	73.859
Gás Natural	2.434	4.597	10.362	19.971	30.267
Lenha	8.033	7.994	7.562	6.901	6.347
Carvão vegetal	602	523	427	349	285
TOTAL	74.973	83.511	94.637	104.026	110.759
Distribuição dos fogões (%)					
GLP	85,2	84,3	80,6	73,8	66,7
Gás Natural	3,2	5,5	10,9	19,2	27,3
Lenha	10,7	9,6	8,0	6,6	5,7
Carvão vegetal	0,8	0,6	0,5	0,3	0,3
TOTAL	100	100	100	100	100

Fonte: Elaboração EPE

Este movimento resulta na queda do indicador tep/domicílio, principalmente pela substituição da lenha por combustíveis mais eficientes, mas também pelo maior consumo de eletricidade para cocção e aumento das refeições feitas fora de casa, fazendo com que

este indicador chegue a patamares mais próximos ao de países desenvolvidos, onde este está em torno de 0,10 tep/domicílio.

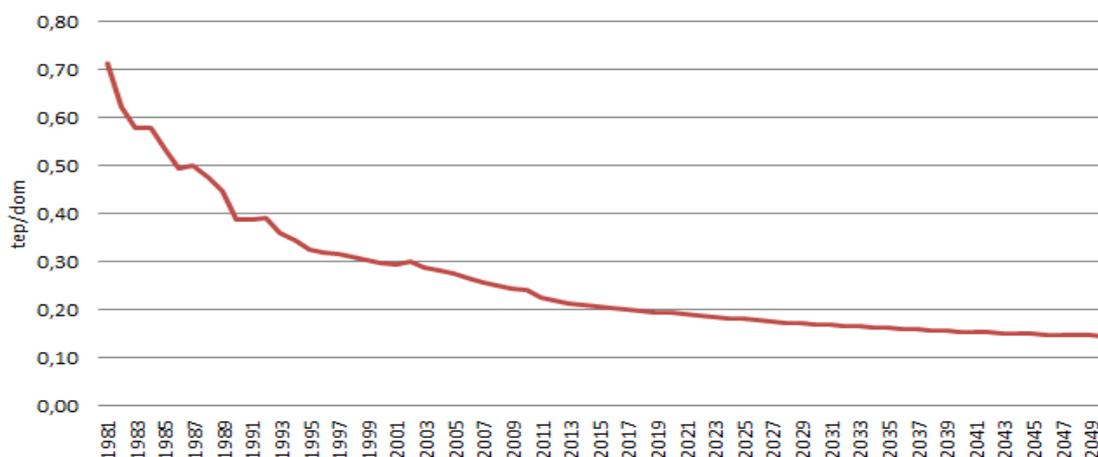


Figura 108- Consumo de combustíveis por domicílio

Fonte: Elaboração EPE

A partir das premissas de aumento do número de domicílios, expansão da posse de equipamentos, evolução da potência e hábitos de uso ao longo do período 2013-2050, foi possível estimar o consumo final energético por fonte para o setor residencial apresentado na Figura 109 e na Tabela 14.

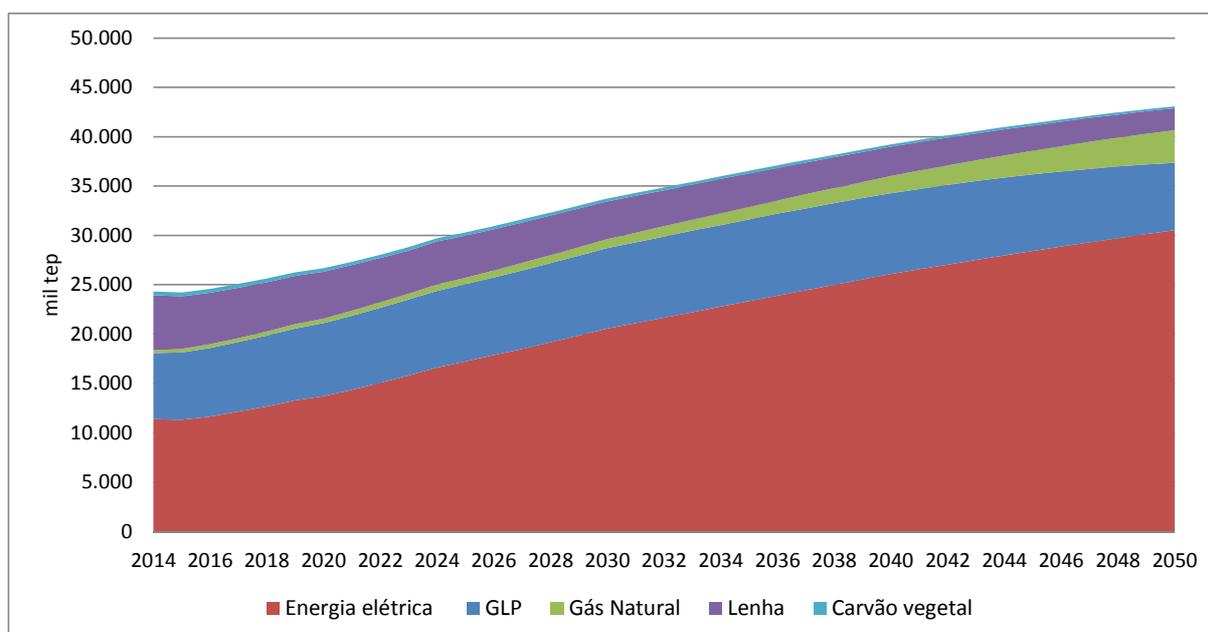


Figura 109- Setor residencial: consumo final energético, por fonte (mil tep)

Fonte: Elaboração EPE

Tabela 14- Consumo total energético do setor residencial por fonte

Equipamento	Unidade (10 ³ tep)	2013	2020	2030	2040	2050	% a.a. 2013-2050
Energia elétrica		10.693	14.119	19.700	24.997	28.891	2,7%
Gás natural		328	619	1.395	2.689	4.075	0,5%
GLP		6.456	7.173	7.846	7.946	7.675	-2,5%
Lenha		6.144	5.542	4.415	3.301	2.372	7,0%
Carvão vegetal		474	412	336	275	225	-2,0%
Total		24.095	27.864	33.691	39.207	43.237	1,6%
Unidades Comerciais		2013	2020	2030	2040	2050	
Energia elétrica	GWh	124.341	164.170	229.067	290.664	335.947	
Gás natural	1.000 m ³ /dia	1.020	1.926	4.343	8.370	12.686	
GLP	1.000 m ³	10.566	11.739	12.841	13.004	12.561	
Lenha	1.000 t	19.820	17.878	14.240	10.648	7.653	
Carvão vegetal	1.000 t	734	637	521	425	348	

Nota: Considera domicílios urbanos e rurais.

Fonte: Elaboração EPE

Como consequência, é possível elaborar a estrutura de participação das fontes na matriz de consumo final energético do setor residencial. Destacam-se, portanto, os ganhos de importância relativa do gás natural e da eletricidade, em detrimento principalmente da lenha e do GLP.

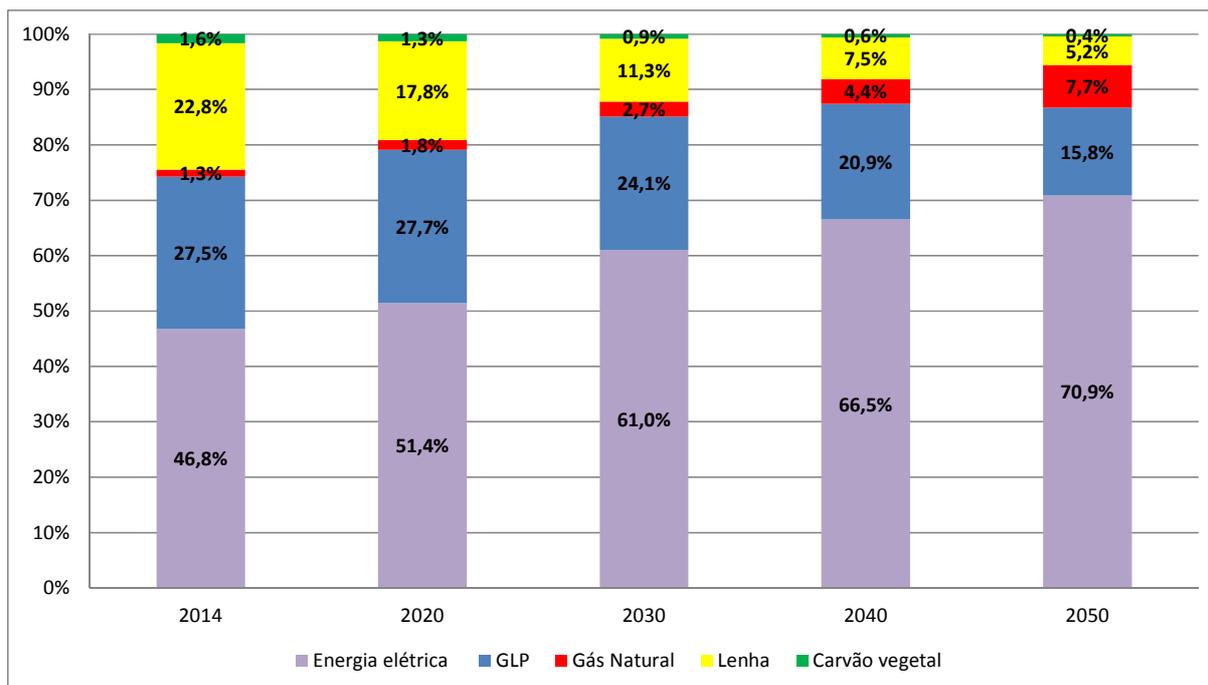


Figura 110- Setor residencial: consumo final energético, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE

No tocante à incerteza da evolução de alguns parâmetros para o setor residencial no longo prazo, a título de análise de sensibilidade dos resultados - em especial sobre a expansão do setor elétrico brasileiro neste horizonte - avaliou-se qual a correspondente redução de demanda de energia elétrica, variando-se as seguintes premissas:

- Aumento da participação do aquecimento solar de água, supondo-se que a taxa de utilização de energia solar nos domicílios que aquecem água para banho aumentasse e representasse 10% a mais do que o valor estimado no cenário referencial do PNE 2050, com isso passando de 24% para 34%. Este aumento da participação da energia solar para o aquecimento de água representaria a redução aproximadamente 3 TWh de consumo de eletricidade em relação ao cenário referência do PNE 2050, representando redução de cerca de 1% do consumo total de eletricidade em 2050.
- Introdução de equipamentos eletroeletrônicos com capacidade de autoatendimento energético: este atendimento dar-se-ia a partir do uso de energia solar para auto fornecimento em equipamentos com baixa potência, podendo incluir carregamento de pequenas baterias em aparelhos de comunicação, além de outros usos para entretenimento além de novas tecnologias que poderão surgir no horizonte de análise. Essa estimativa resulta em evitar o consumo de aproximadamente 24 TWh

em relação ao cenário referência, o que representa 7% do consumo total de eletricidade.

- Penetração de resfriamento solar: onde faixas de maior renda da população estariam elegíveis a adotar algum tipo de resfriamento solar, que poderia ganhar competitividade nesse horizonte. O impacto resultante dessa sensibilidade representa cerca de 26 TWh de consumo evitado de eletricidade em relação ao cenário referência, correspondendo a aproximadamente 7,7% do consumo total de eletricidade.

Como resultado dessa análise de sensibilidade, a redução da demanda de energia elétrica poderia ser de até 53 TWh, o que representa 15,7% do consumo total de eletricidade estimado para 2050. Esta análise de sensibilidade só foi aplicada no caso do setor residencial brasileiro, mas se deve destacar que as alternativas tecnológicas mencionadas também são aplicáveis ao setor comercial, por exemplo.

Além disso, é de se destacar que, no horizonte do PNE 2050, se estima que a geração distribuída de pequeno porte (em especial, oriunda de energia solar fotovoltaica) deva permitir reduzir cerca de 9% de toda a carga de demanda existente no SIN, onde grande parte dessa contribuição virá do setor residencial e comercial. Maiores detalhes podem ser vistos no capítulo 5- OFERTA DESCENTRALIZADA DE ENERGIA.

3.3.4.2 Setores Comercial/Público

Apesar de responder por pequena parcela da demanda total de energia - pouco mais de 3% da demanda total - o setor comercial brasileiro responde por parcela importante do consumo de eletricidade, pouco mais de 15% do total em 2012. No horizonte de longo prazo, estima-se ganho de participação do setor comercial no PIB brasileiro (Figura 111) o que, contribui para o crescimento da demanda de energia nesse setor, que ocorre à taxa média anual de 4,3% a.a. entre 2013-2050. Como tendências na matriz energética desse setor no longo prazo, destaca-se o ganho de eletrificação e de uso do gás natural (Figura 112).

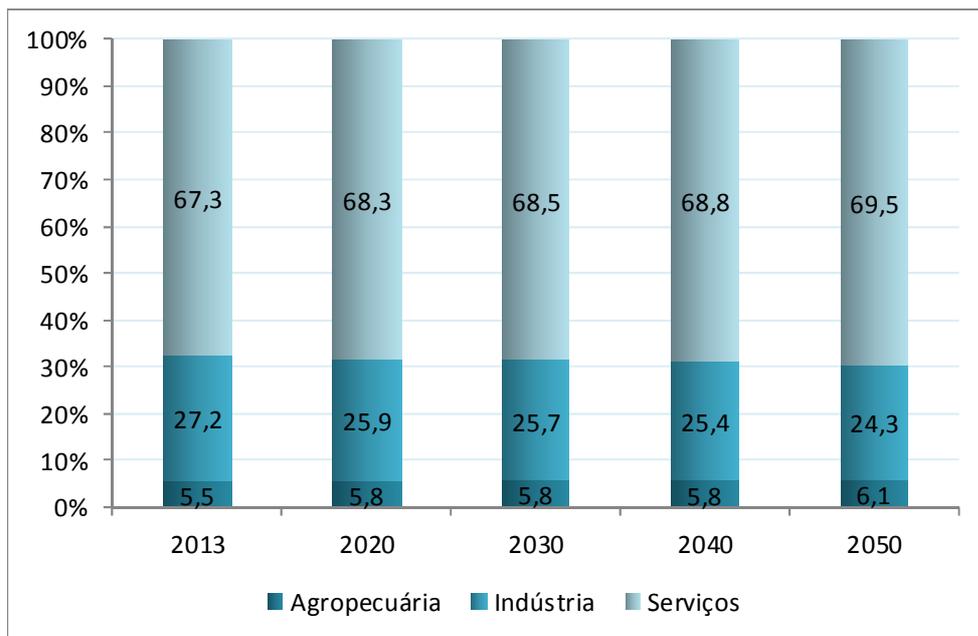


Figura 111- Projeção setorial relativa no PIB a preços de 2010 (%)

Fonte: Elaboração EPE

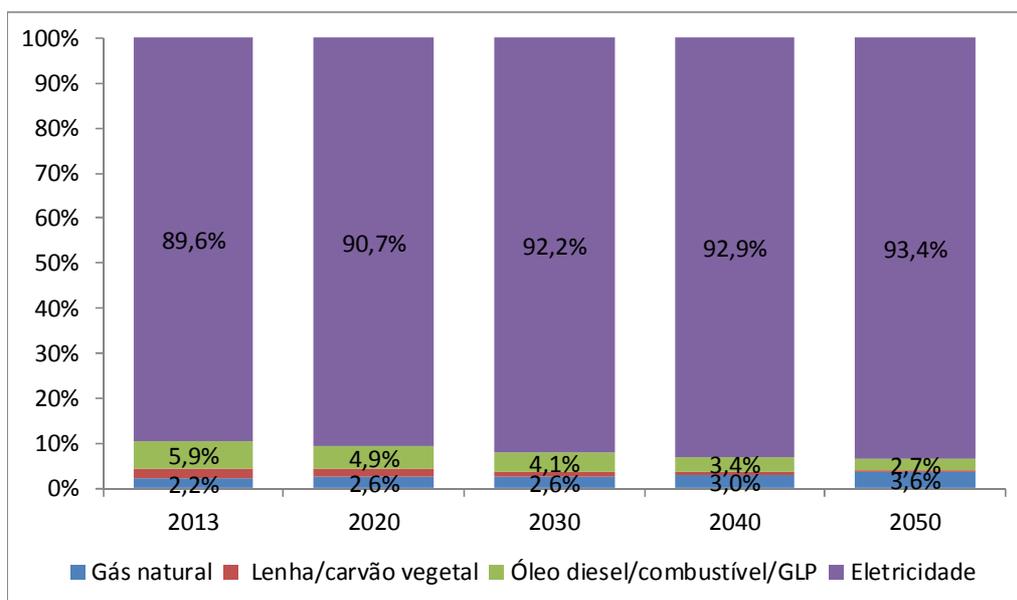


Figura 112- Evolução da matriz de consumo de energia no setor comercial brasileiro.

Fonte: Elaboração EPE

3.3.5 Setor Agropecuário

Na atividade agropecuária, o Brasil se destaca por apresentar competitividade em relação aos custos e disponibilidade de insumos (terra, mão de obra, fertilizantes etc.), produtividade e logística, tecnologia e inovação (relevante papel da EMBRAPA) e condições

climáticas favoráveis. Como se pode observar na Figura 113, as áreas aptas para a produção de biomassa no país cobrem parcela significativa do território nacional.

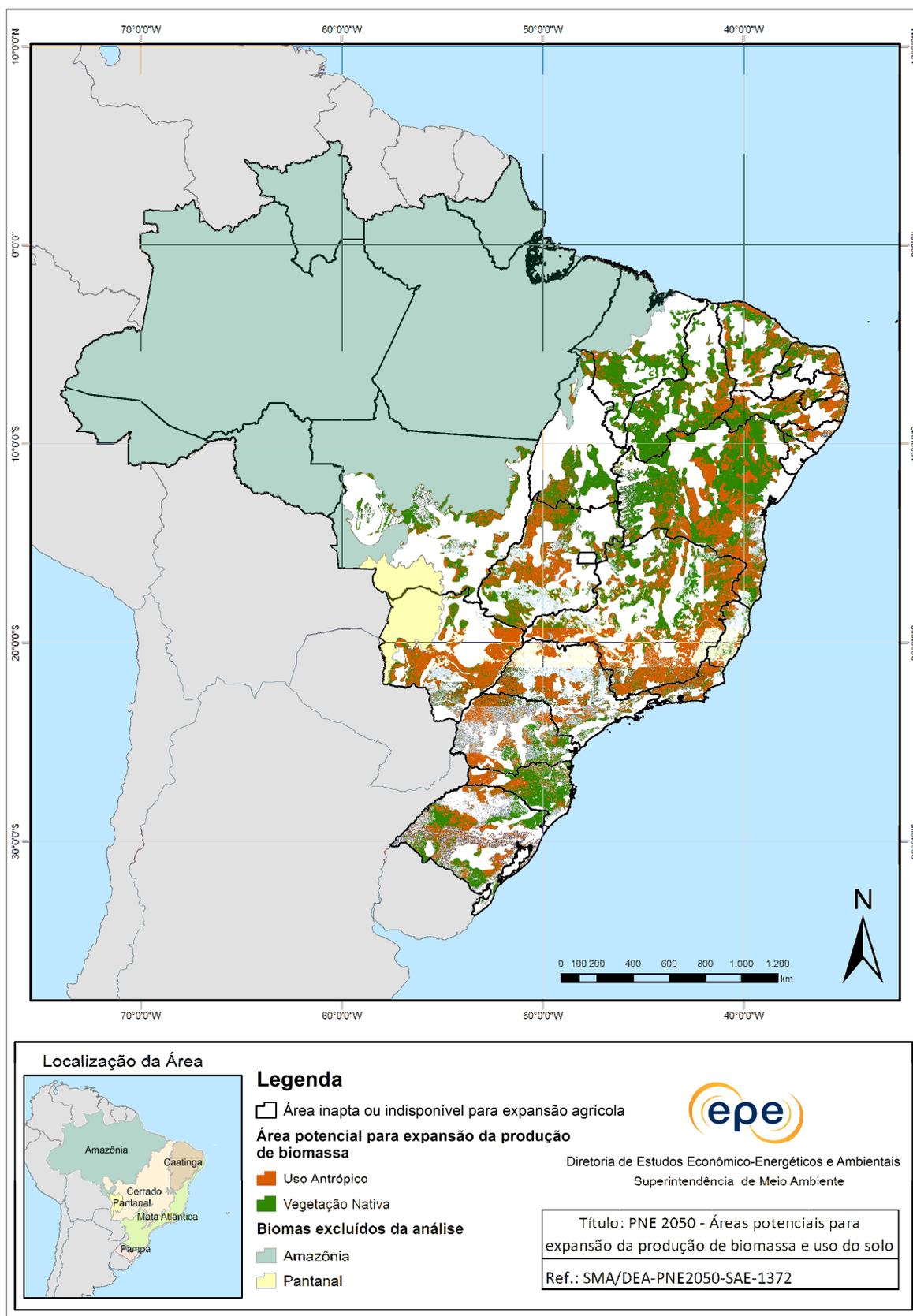


Figura 113- Áreas aptas para a produção de biomassa no Brasil

Fonte: Elaboração EPE

No horizonte de longo prazo, o cenário referencial do PNE 2050 indica crescimento desse setor acima da média do PIB, mantendo vantagens comparativas tais como:

- Liderança do setor agropecuário nacional em comparações internacionais;
- Maior participação dos estudos de tecnologia e inovação com o desenvolvimento da agroindústria;
- Alavancagem da cultura de cana com a ampliação do uso do etanol combustível e com o estímulo à “química verde”, na qual o Brasil tem condições de liderança;
- Crescimento da área plantada em substituição as áreas disponibilizadas pela intensificação da pecuária;
- Perspectiva de evolução do consumo per capita de alimentos no Brasil e no mundo, tendo o país grande participação no mercado internacional;
- Manutenção da grande participação das exportações na balança comercial brasileira.

Ademais, neste horizonte há perspectivas de aumento do grau de mecanização de culturas (em especial, na produção de cana-de-açúcar), aumento do grau de cobertura da irrigação, ampliação da produtividade agrícola e aumento do grau de intensificação da pecuária.

A produtividade agrícola a ser obtida no período 2013-2050, permitirá expandir a área plantada em menor proporção do que a expansão da produção física demandada (Figura 114 e Figura 115). A intensificação do rebanho de gado (Figura 116), por sua vez, contribui também para o aumento do consumo de demanda de energia, dado serem os consumos específicos de óleo diesel maiores comparativamente à criação extensiva de rebanhos⁴⁴.

⁴⁴ Índices de consumo de combustível por produção para pecuária de corte por sistema de produção: extensivo, consumo médio de 0,23 L/kg abatido, alcançado no semi-intensivo, em torno de 0,31 L/kg abatido considerando que as propriedades produzem na faixa de 500 UA (unidade animal) conforme Romanelli (2006).

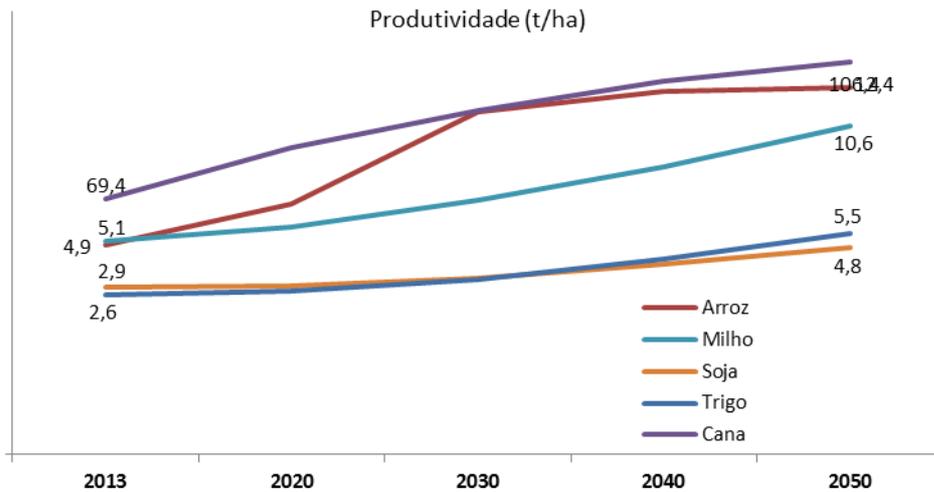


Figura 114- Evolução da produtividade agrícola por tipo de cultura

Fonte: Elaboração EPE.

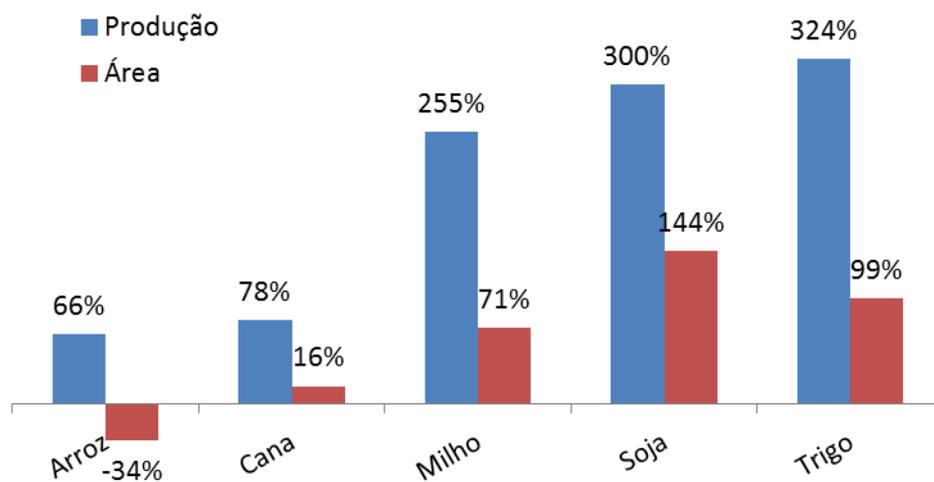


Figura 115- Aumento da produção e da área plantada por tipo de cultura entre 2013-2050

Fonte: Elaboração EPE.

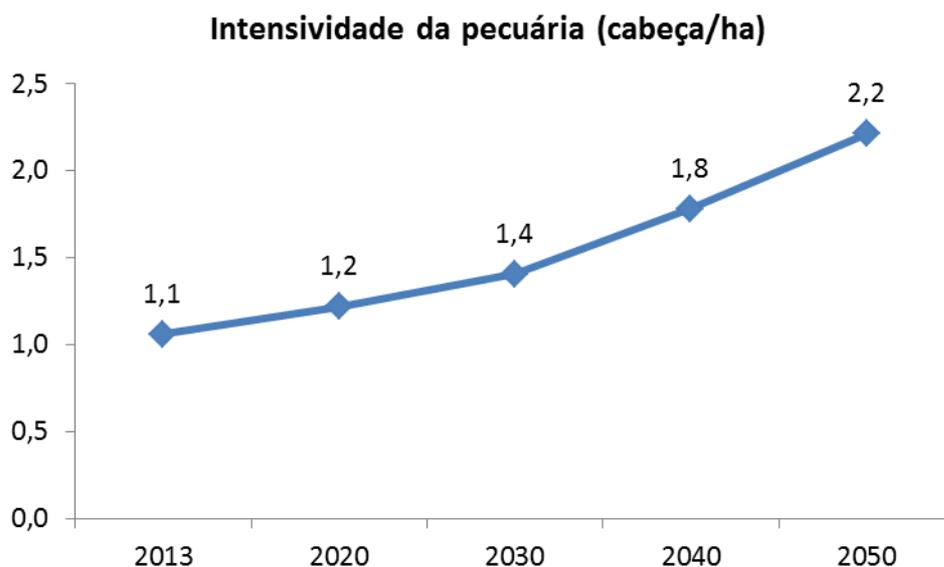


Figura 116- Evolução do grau de intensividade da pecuária brasileira no longo prazo.

Fonte: Elaboração EPE.

Assim, as vantagens comparativas do agronegócio brasileiro impulsionam o crescimento do setor agropecuário no longo prazo, resultando em um crescimento médio da demanda de energia a uma taxa de 2,0% a.a., no período 2013-2050. Neste período, o crescimento da participação da demanda de eletricidade se dá principalmente pelo avanço do grau de irrigação da agricultura brasileira.

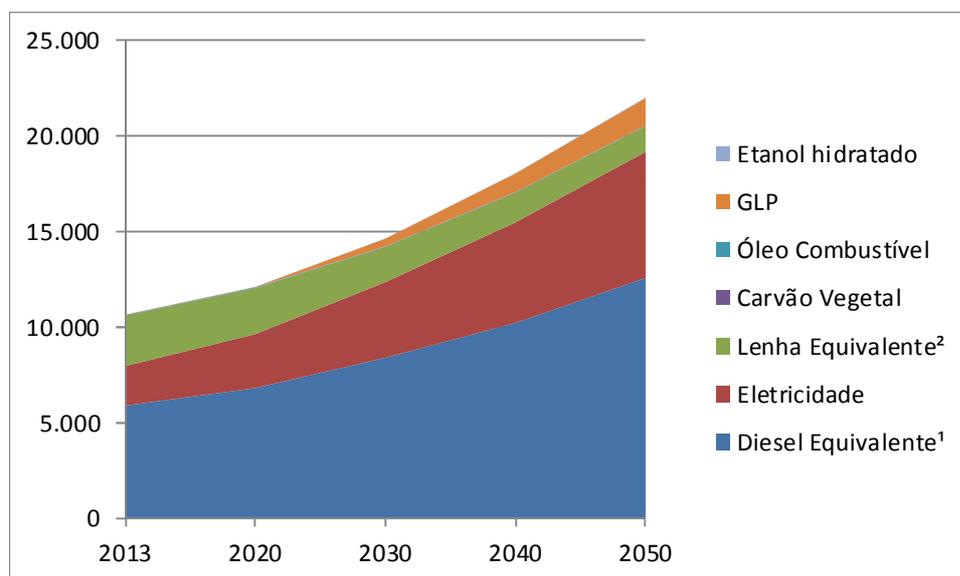


Figura 117- Agropecuária: consumo final energético, por fonte (milhões de tep).

Fonte: Elaboração EPE.

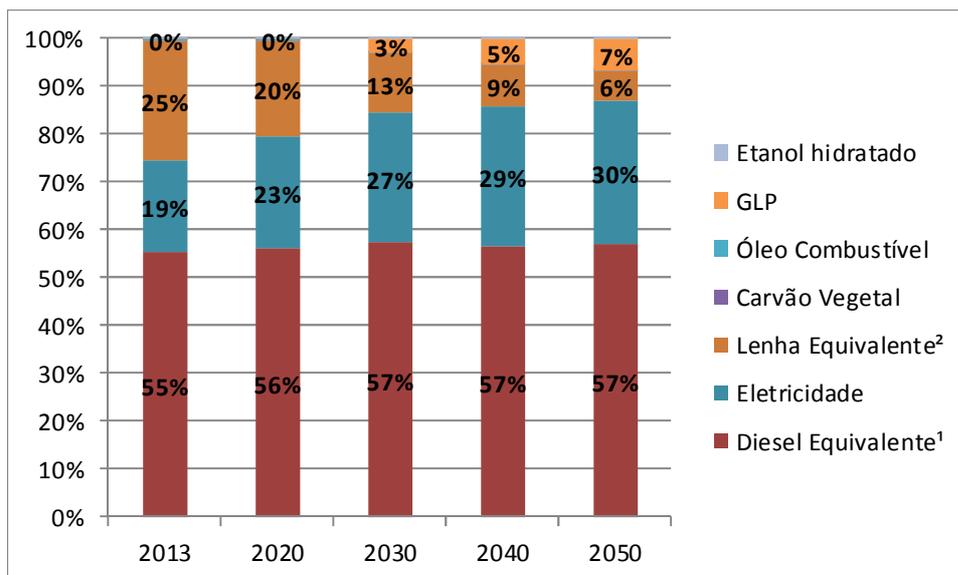


Figura 118- Agropecuária: consumo final energético, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE

O consumo de diesel, por exemplo, se amplia devido ao potencial para intensificação do gado de extensivo para um semi-intensivo (duplicando a média de cabeça por hectare atual), há neste caso um maior consumo de diesel, em contraponto, se reduz considerando uma modernização da frota e dos ganhos de eficiência associados a tal modernização e a melhoria dos motores agrícolas⁴⁵. Cabe destacar que parte desse consumo de óleo diesel poderá ser suprido a partir do uso de biogás em máquinas e implementos agrícolas aptos para utilização desse energético. A contribuição desse biogás será mais bem explicitada adiante, especificamente no capítulo “5- OFERTA DESCENTRALIZADA DE ENERGIA”.

3.4 Cenário de evolução da demanda de energia por fonte

Nesta seção são apresentados os resultados de demanda de energia por fontes energéticas, incluindo também o uso não energético, que inclui derivados de petróleo (nafta, solventes, asfaltos, lubrificantes), gás natural e etanol. Este uso não energético foi parcialmente abordado nos itens anteriores e neste tópico são mais bem explicitados. Ademais, a análise de resultados agregados por fonte energética permite avaliar, sob uma perspectiva “*top down*”, o comportamento geral da fonte e seus indicadores associados.

⁴⁵ Existem alguns incentivos em termos do Programa de desenvolvimento cooperativo para a agregação de valor a produção agropecuária - PRODECOOP e Programa de modernização da agricultura e conservação dos recursos naturais - MODERAGRO que podem viabilizar a redução no consumo de diesel ao longo do período.

Nesse sentido, os próximos tópicos abordarão as seguintes fontes/agregados: eletricidade, gás natural, e o uso não energético, que podem ser apontados como destaque nas projeções de demanda de energia no longo prazo.

3.4.1 Eletricidade

3.4.1.1 Grandes consumidores industriais

Um conjunto de relativamente poucos segmentos industriais, aqui denominados grandes consumidores industriais de energia elétrica, responde por importante parcela (em torno de 40%) do consumo industrial de eletricidade. Os grandes consumidores industriais aqui considerados contemplam a cadeia do alumínio, incluindo a produção de alumina e a extração de bauxita, siderurgia (produção de aço bruto), ferro ligas, pelletização, cobre, petroquímica (produção de eteno), soda-cloro, papel e celulose, e cimento.

Dada a importância desses segmentos industriais no consumo de eletricidade e, também, no consumo energético do país, vale uma análise aprofundada dos respectivos cenários de expansão, conforme descrito na Nota Técnica *Cenário econômico - 2050*. Nesse documento é apresentado o cenário de expansão da capacidade instalada desses setores, bem como a respectiva produção física.

De posse do cenário de produção física (toneladas) e dos correspondentes consumos específicos de eletricidade (kWh/tonelada), projeta-se o consumo de eletricidade relativo a cada um dos segmentos industriais grandes consumidores de energia.

Consumo Específico

O consumo específico de eletricidade (por tonelada de produto) é muito variável de segmento para segmento industrial e, mesmo dentro de um mesmo segmento, existem significativas variações de consumo em função de rota tecnológica, do tipo e da gama de produtos, da idade das plantas, entre outros fatores.

A avaliação dos consumos específicos médios de energia elétrica por segmento industrial levou em consideração séries históricas de produção física e de consumo de eletricidade (Balanço Energético Nacional - BEN: EPE/MME), bem como informações coletadas junto aos agentes setoriais e associações de classe.

No caso da siderurgia, consideraram-se consumos específicos de energia elétrica diferenciados de acordo com as rotas tecnológicas de produção de aço. Consideraram-se três grandes rotas tecnológicas: usinas integradas com coqueria própria, usinas integradas com coque adquirido de terceiros e usinas semi-integradas com aciaria elétrica. Para cada uma dessas rotas, definiu-se um consumo específico médio de eletricidade. Dessa forma, a projeção do consumo de eletricidade da siderurgia brasileira é função das premissas sobre

a expansão e a composição dinâmica do parque siderúrgico nacional no que se refere às diferentes rotas tecnológicas.

Para a expansão do segmento de ferro-ligas, considerou-se, em particular, a expansão de ferro-níquel, cujo consumo específico médio é bastante elevado, em torno de 13,5 MWh/t.

Para a produção de soda e cloro, existem essencialmente três rotas tecnológicas: células de mercúrio, de diafragma e de membrana, com consumos específicos de eletricidade médios de, respectivamente, 3,1 MWh/t, 2,7 MWh/t e 2,5 MWh/t. Adotou-se, como premissa, que toda a nova expansão do setor será baseada na tecnologia de membrana que, além de ser energeticamente mais eficiente, também é a rota mais aceitável do ponto de vista ambiental.

Por sua vez, para os diferentes segmentos industriais, admitiram-se ganhos de eficiência no horizonte decenal compatíveis com os ganhos admissíveis a partir dos rendimentos médios e dos rendimentos de referência indicados no Balanço de Energia Útil (BEU) e consistentes também com as melhores práticas internacionais nos respectivos segmentos. Vale, contudo, salientar que, vários dos segmentos industriais eletro intensivos no país já se encontram com padrões de eficiência, no que se refere ao consumo de energia elétrica, próximos às atuais melhores práticas mundiais.

Considera-se uma tendência generalizada para uma redução moderada e gradual dos consumos específicos setoriais. Contudo, para alguns segmentos ocorrem aumentos desses consumos unitários em determinados períodos, como é o caso de ferro-ligas, em virtude do ganho de participação das ligas mais eletrointensivas (como as ligas de níquel) no “mix” de ferro-ligas, sem que isso signifique, evidentemente, menor eficiência energética.

Com base nos consumos específicos e no cenário de produção física, apresentado na Nota Técnica *Cenário econômico - 2050*, calculou-se o consumo total de energia elétrica dos grandes consumidores industriais, indicado na Tabela 15 por segmento industrial.

Tabela 15- Grandes consumidores industriais: consumo específico de eletricidade (kWh por tonelada produzida)

Segmento	2013	2020	2030	2040	2050	2013-2050 (% ao ano)
Bauxita	13	13	12	12	12	-0,2
Alumina	299	284	267	259	255	-0,4
Alumínio Primário	14.752	14.089	13.405	13.099	12.978	-0,3
Siderurgia	512	500	462	444	447	-0,4
Ferro ligas	8.611	8.957	8.661	8.535	8.480	0,0
Pelotização	49	48	47	46	46	-0,2
Cobre Primário	1.538	1.476	1.425	1.404	1.394	-0,3
Soda	2.722	2.639	2.558	2.515	2.479	-0,3
Petroquímica	1.590	1.524	1.490	1.491	1.471	-0,2
Celulose	980	939	899	882	877	-0,3
Pasta mecânica	2.189	2.125	2.057	2.024	2.009	-0,2
Papel	791	761	731	717	712	-0,3
Cimento	112	107	101	97	93	-0,5

Fonte: Elaboração EPE

Autoprodução

É de crucial importância, para o planeamento do setor elétrico, avaliar a contribuição dos setores industriais grandes consumidores de energia, no que se refere ao montante de eletricidade que eles demandarão do sistema elétrico.

Nesse sentido, do consumo total de energia elétrica, resultado do produto da produção física (tonelada) pelo consumo específico de eletricidade (kWh/tonelada), deverá ser abatida a denominada autoprodução clássica, isto é, aquela que corresponde à geração local de energia elétrica para suprimento no próprio site da unidade consumidora, sem utilização da rede elétrica de concessionárias de distribuição e/ou de transmissão.

Para realizar a projeção da autoprodução, para os segmentos industriais aqui considerados, além de informações já existentes sobre novos projetos de empreendimentos de autoprodução e cogeração, com entrada em operação prevista no horizonte do estudo, formulam-se também premissas gerais para a evolução da autoprodução, com base nas perspectivas de expansão da capacidade instalada de produção dos diferentes segmentos industriais e na avaliação das potencialidades de cogeração que os respectivos processos industriais propiciam.

É o caso, por exemplo, da indústria de celulose, em que é de se supor que toda a expansão de capacidade que venha a ocorrer no futuro seja atendida via cogeração. Existirão, ainda, outros casos em que o autoprodutor será, não somente autossuficiente em energia

elétrica, mas será, de fato, um ofertante líquido de energia para o sistema elétrico. É esse o caso de usinas siderúrgicas integradas com coqueria própria, destinadas à produção de placas. O uso de formas avançadas de cogeração, com aproveitamento dos gases de coqueria e de alto-forno, associado à não existência da fase de laminação (eletrointensiva) permite, em tais plantas siderúrgicas, gerar excedentes significativos de eletricidade.

Assim, considerou-se, como premissa básica, que toda a expansão nova de celulose será autossuficiente em energia elétrica. No caso da siderurgia, a expansão da capacidade instalada considerada neste estudo foi classificada em diversos tipos de rota tecnológica, cada um dos quais apresenta diferentes características de consumo de eletricidade e de potencial de cogeração. Para cada um dos três tipos de rota tecnológica considerados, foi avaliado o respectivo potencial de cogeração, com base na cogeração existente no atual parque siderúrgico brasileiro.

Dessa forma, para as usinas da rota integrada com coqueria própria admitiu-se uma cogeração média em torno de 280 kWh/t de aço produzido. A maioria das usinas siderúrgicas tanto da rota integrada sem coqueria própria quanto da rota semi-integrada, não utilizam cogeração, pelo que se admitiu cogeração zero para estas usinas. Vale, ainda, ressaltar que para as usinas integradas com coquerias próprias destinadas exclusivamente à produção de placas, sem comportar a fase de laminação, admitiu-se um nível de cogeração superior, em torno de 390 kWh/t de aço.

No caso da indústria petroquímica, admitiu-se que praticamente toda a expansão da produção de eteno a partir de insumo petroquímico seja atendida por autoprodução.

Com base nessas premissas, os resultados relativos à projeção da autoprodução dos grandes consumidores industriais de energia elétrica, para o horizonte do estudo, por segmento industrial, estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16- Grandes consumidores industriais: autoprodução por segmento (GWh)

Segmento	2013	2020	2030	2040	2050
Bauxita	0	0	0	0	0
Alumina	383	383	383	383	383
Alumínio Primário	2.740	2.740	2.740	2.740	2.740
Siderurgia	5.205	5.205	8.468	10.950	10.950
Ferro ligas	136	136	136	136	136
Pelotização	542	542	542	542	542
Cobre Primário	0	0	0	0	0
Soda	119	119	119	119	119
Petroquímica	2.459	2.459	5.436	7.634	7.634
Celulose	9.097	14.257	22.943	28.075	33.544
Pasta mecânica	7	7	7	7	7
Papel	856	2.464	3.967	3.967	3.967
Cimento	96	96	96	96	96
Total	21.639	28.408	44.837	54.648	60.116

Fonte: Elaboração EPE

Como resultado das premissas expostas anteriormente, o consumo total de eletricidade do conjunto dos grandes consumidores industriais evoluirá conforme mostrado na Figura 119, decomposto nas parcelas: consumo na rede e autoprodução. A parcela de consumo na rede corresponde ao montante de energia elétrica que tais segmentos industriais demandarão do sistema elétrico.

A parcela de autoprodução, concentrada nos segmentos de papel e celulose, siderurgia e petroquímica, representa quase $\frac{1}{4}$ do consumo total de eletricidade desses setores e passará a responder por cerca de 30% desse consumo a partir de 2030. A autoprodução dos grandes consumidores cresce 2,8% ao ano no período 2013-2050, enquanto que o consumo total de energia elétrica dos segmentos eletro-intensivos cresce 1,9% ao ano.

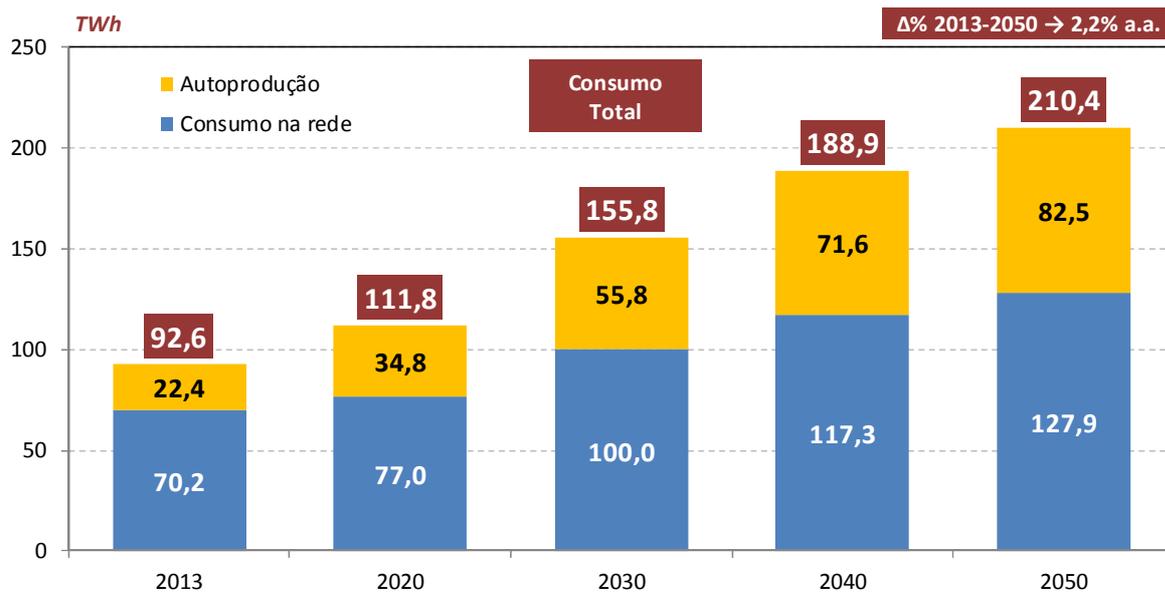


Figura 119- Grandes consumidores industriais: consumo de eletricidade, 2013-2050 (TWh)

Fonte: Elaboração EPE

3.4.1.2 Autoprodução de eletricidade

Entende-se por autoprodução a geração de eletricidade do consumidor com instalações próprias de geração de energia elétrica, localizadas junto às unidades de consumo, que não utiliza, para o auto suprimento de eletricidade, a rede elétrica das concessionárias de transmissão/distribuição. A autoprodução constitui-se em importante elemento na análise do atendimento à demanda de eletricidade, uma vez que ela já representa quase 10% de toda a energia elétrica consumida no país, experimentou crescimento acelerado nos últimos dez anos e tem grande potencial de expansão no horizonte decenal.

O autoprodutor não demanda investimentos adicionais do sistema elétrico, além dos, naturalmente, relacionados a contratos de “back up” que ele mantenha com o gerador/comercializador de energia para suprimento em situações específicas, como pode ser o caso de paradas programadas ou eventuais paradas não programadas. O caso mais comum de autoprodução é o da cogeração.

A cogeração constitui-se em uma forma de uso racional da energia, uma vez que o rendimento do processo de produção de energia é significativamente aumentado a partir da produção combinada de energia térmica e elétrica, dando-se um melhor aproveitamento ao conteúdo energético do combustível básico.

O mercado potencial de cogeração é constituído, essencialmente, pelos segmentos industriais que utilizam grandes quantidades de vapor e eletricidade no próprio processo industrial. Os principais segmentos que apresentam tais características são: papel e

celulose, químico e petroquímico, siderurgia, açúcar e álcool, alimentos e bebidas, e têxtil. Além disso, é expressivo o montante de autoprodução de eletricidade através da geração termoelétrica a gás natural nas plataformas “off shore” e tal parcela deverá ganhar importância com a exploração do petróleo do Pré-sal.

Prevê-se um expressivo crescimento da autoprodução até 2020, em torno de 7% ao ano, em média. Posteriormente, a autoprodução expande a taxas progressivamente mais baixas, atingindo uma taxa média de 2,6% ao ano no horizonte de longo prazo deste estudo. A Figura 120 mostra a previsão da autoprodução para o período 2013-2050. A participação da autoprodução no consumo total de eletricidade do País passará de quase 10% (valor verificado nos últimos anos) para cerca de 12% nos anos em torno de 2020, caindo gradualmente a partir daí até o final do horizonte, quando representará em torno de 8% do consumo total.

Vale ressaltar que o montante de autoprodução contabilizado como “Outros” setores, no gráfico, tem como principais componentes a autoprodução no setor sucroalcooleiro e a autoprodução nas refinarias de petróleo e nas plataformas de extração de petróleo “off shore”. Nessas plataformas, o combustível geralmente utilizado para a geração elétrica é o gás natural.

O montante de autoprodução em 2050, caso esse consumo fosse atendido pelo sistema elétrico, equivaleria a uma carga da ordem de 17 GW médio, o que representa quase o dobro da garantia física da usina hidroelétrica de Itaipu.

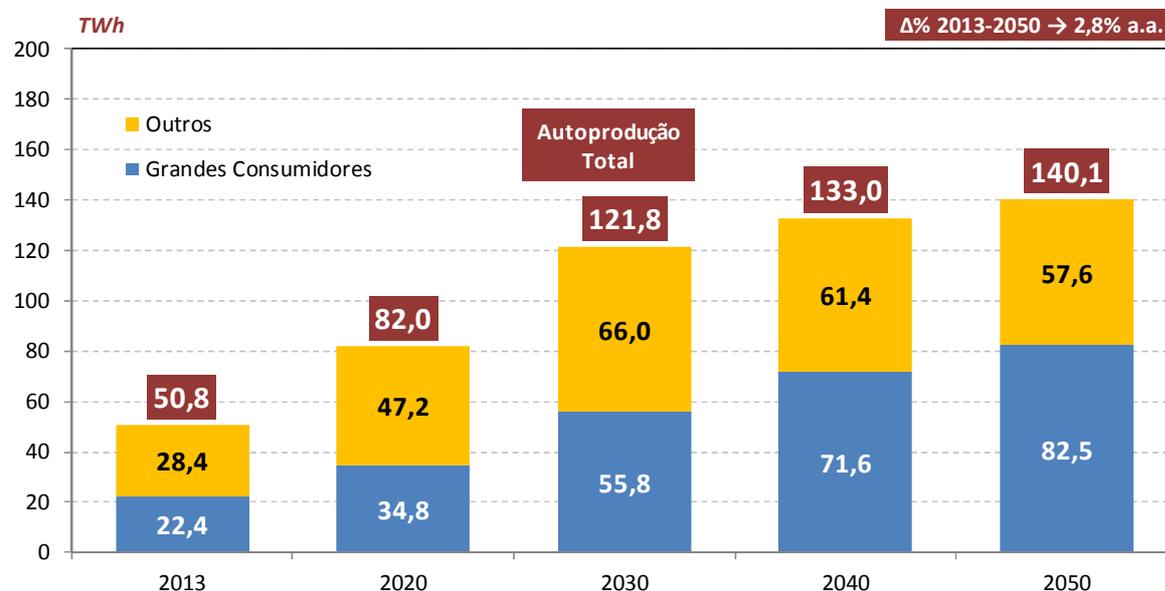


Figura 120- Autoprodução de eletricidade, 2013-2050 (TWh)

Nota: Autoprodução dos grandes consumidores concentrada em papel e celulose, siderurgia e petroquímica; autoprodução de “Outros” concentrada nos segmentos de açúcar e álcool, de exploração e produção de petróleo e gás natural, e de refino.

Fonte: Elaboração EPE

A autoprodução nos segmentos de açúcar e álcool, de exploração e produção de petróleo e gás natural, e de refino, é correlacionada com as premissas sobre os respectivos níveis de atividade. Assim, a autoprodução no segmento de açúcar e álcool se correlaciona com a produção de cana para a produção desses produtos. A autoprodução em refinarias se correlaciona com o montante de carga processada. E a autoprodução na exploração e produção de petróleo e gás natural (E&P) se correlaciona com a produção de petróleo, distinguindo-se entre produção no Pós-sal e produção no Pré-sal: admitiu-se que a extração de um barril de petróleo no Pré-sal requer, em média, o dobro da geração de energia elétrica da extração de um barril no Pós-sal.

3.4.1.3 Eficiência energética

A projeção da demanda de energia elétrica elaborada neste estudo contemplou ganhos de eficiência energética, ao longo do período 2013-2050, que montam a 17% do consumo total de eletricidade no ano horizonte. Esse ganho adicional de eficiência no consumo final de eletricidade representa uma redução no requisito de geração (carga de energia) em torno de 43 GWmédio, isto é, aproximadamente igual a cinco vezes a garantia física da usina de Itaipu.

Os ganhos de eficiência considerados estão fundamentados em rendimentos energéticos da eletricidade, por segmento de consumo, compatíveis com os dados do Balanço de Energia Útil (BEU) do Ministério de Minas e Energia (MME). Adicionalmente, no setor industrial, levou-se em consideração a dinâmica tecnológica de segmentos específicos e dos respectivos equipamentos de uso final da energia à semelhança de outros setores, como é o caso do setor residencial.

Para o setor residencial, uma vez que a projeção da demanda de eletricidade utilizou um modelo de uso final (Achão, 2003), foi possível fazer uma análise específica e detalhada dos ganhos de eficiência, inclusive avaliando premissas por tipo de equipamento eletrodoméstico e a substituição por equipamentos mais eficientes.

Ademais, é importante ressaltar que foi considerada uma efficientização adicional, por conta do esperado banimento das lâmpadas incandescentes que ocorrerá no horizonte em análise, em função da exigência de altos índices de eficiência energética para lâmpadas incandescentes constante na Portaria Interministerial N° 1.007 de 31 de Dezembro de 2010. Dessa forma, o estoque se tornará mais eficiente no período, pois as lâmpadas existentes serão paulatinamente substituídas por outras com consumo específico menor, reduzindo significativamente o consumo específico médio do estoque de lâmpadas.

A Tabela 17 mostra os percentuais de redução do consumo por classe. Os montantes de ganho de eficiência alcançados, por classe de consumo, são ilustrados na Figura 121.

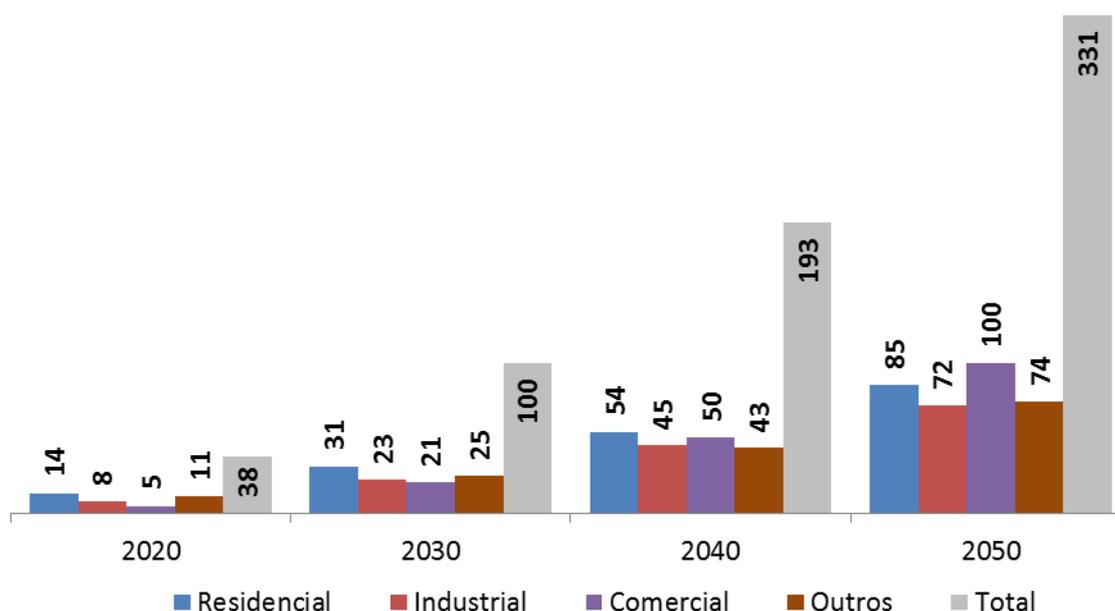
O montante de energia elétrica conservada ao longo do período 2013-2050, de 331 TWh, caso tivesse que ser atendido pelo sistema elétrico, representaria uma carga adicional equivalente a cerca de 37.000 MW médios, ou 60% da atual carga de energia do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Tabela 17- Ganhos de eficiência elétrica. Percentual de redução do consumo por classe (%)

Classe	2020	2030	2040	2050
Residencial	8%	12%	15%	19%
Industrial	3%	6%	9%	12%
Comercial	4%	10%	14%	19%
Outras	8%	11%	16%	20%
Total	5,5%	9,4%	13,1%	17,1%

Nota: Considera eficiência autônoma e induzida. O ganho de eficiência refere-se ao ganho acumulado a partir de 2013, expresso como percentual do consumo em cada ano.

Fonte: *Elaboração EPE*



Fi

Figura 121- Ganhos projetados de eficiência elétrica (TWh)

Nota: Considera eficiência autônoma e induzida. O ganho de eficiência refere-se ao ganho acumulado a partir de 2013.

Fonte: *Elaboração EPE*

3.4.1.4 Consumo de energia elétrica

A projeção do consumo total de energia elétrica, levando-se em consideração as premissas descritas nas seções precedentes, é apresentada na Figura 122. A parcela de autoprodução cresce a uma taxa média de 2,6% ao ano, no período 2013-2050, enquanto que o consumo na rede, isto é, a demanda de eletricidade a ser atendida pelo Sistema Elétrico Nacional, aumenta 3,2% ao ano. Por sua vez, a Figura 123 mostra o crescimento do consumo na rede, por classe.

Na Figura 124 mostra-se a evolução da participação das classes de consumo no consumo total de eletricidade, constatando-se, no longo prazo, uma perda de participação da classe industrial, que passa dos atuais 46% para 38% do consumo total em 2050. A classe residencial também perde participação: evolui dos atuais 24% para cerca de 21% em 2050. A classe que mais ganha participação é a comercial, cujo consumo de eletricidade deverá mesmo ultrapassar o consumo residencial por volta de 2040.

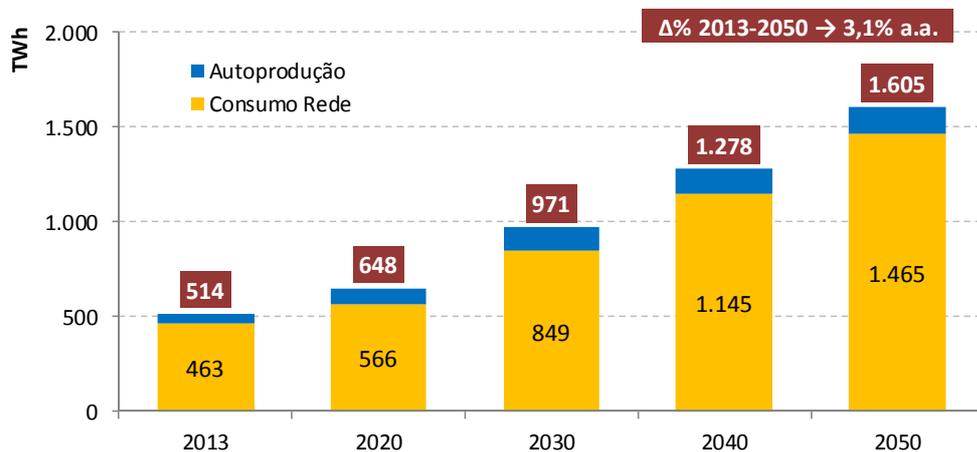


Figura 122- Brasil. Consumo total de eletricidade, 2013-2050 (TWh)

Fonte: Elaboração EPE

Varição média anual por período (% ao ano)

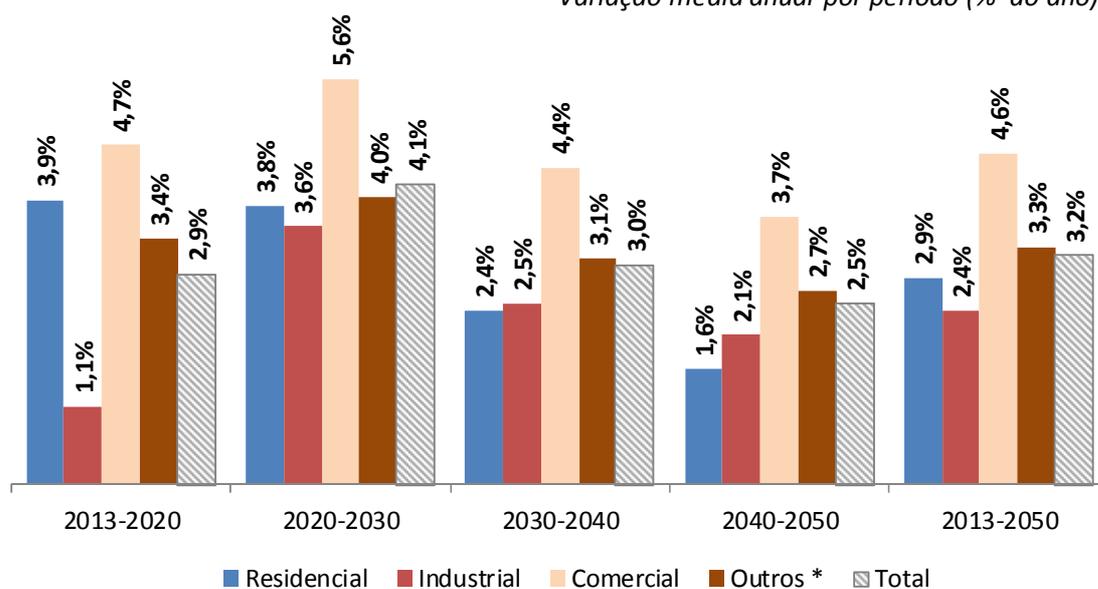


Figura 123- Brasil. Consumo de eletricidade na rede, por classe, 2013-2050

Nota: “Outros” engloba: poder público, serviço público, iluminação pública, rural, consumo próprio das concessionárias, e o consumo de veículos elétricos.

Fonte: Elaboração EPE

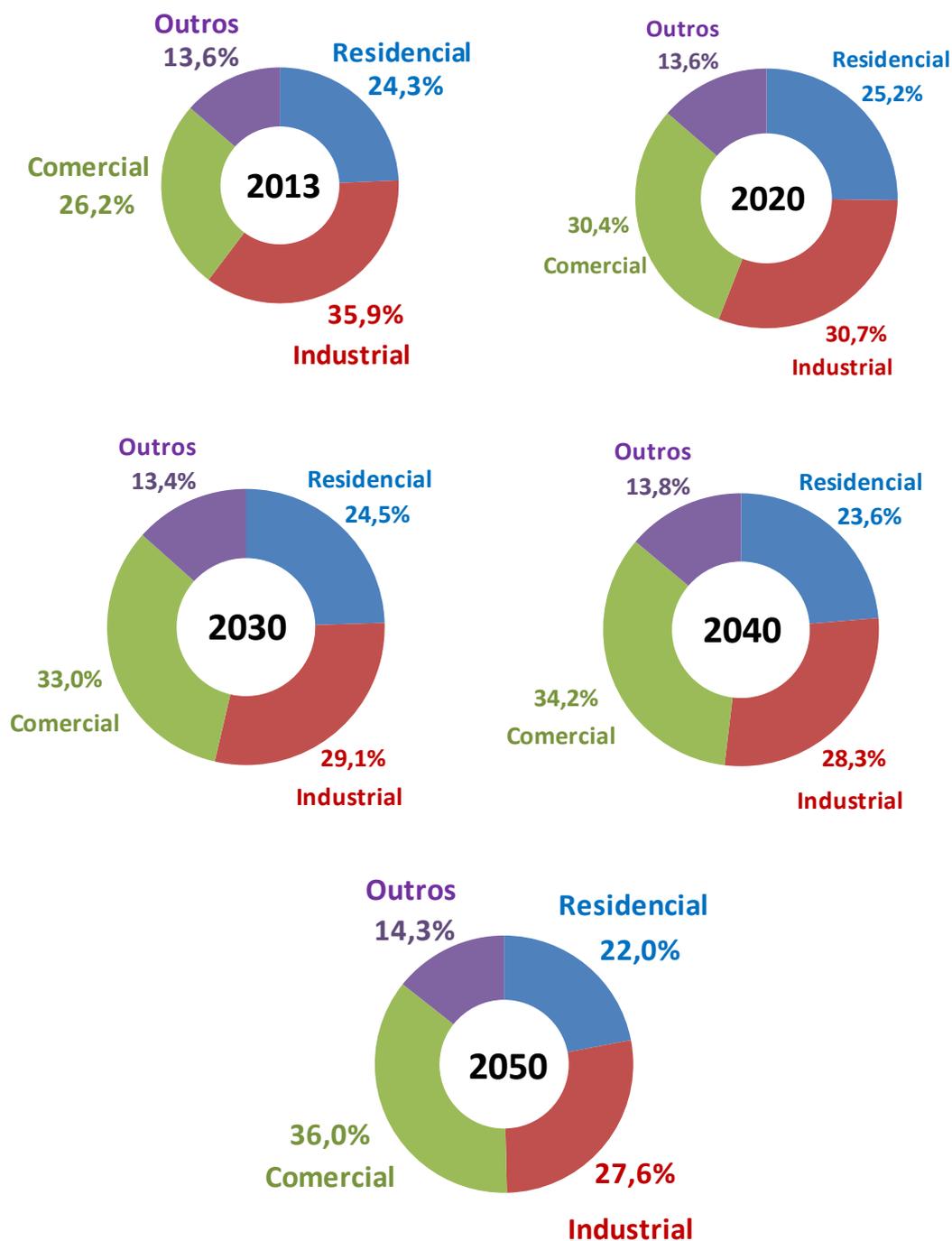


Figura 124- Brasil. Consumo total de eletricidade por classe, 2013-2050 (%)

Nota: dados realizados para 2013. O consumo inclui autoprodução.

Fonte: Elaboração EPE

Vale ressaltar que, na comparação com o PNE 2030, a atual projeção do consumo de eletricidade já parte de um valor igual a 27 TWh (ou 5,5%) inferior tomando-se por base o ano de 2010. De fato, o cenário macroeconômico subjacente ao PNE 2030 já previa uma

crise financeira internacional em função dos déficits gêmeos dos EUA⁴⁶, porém de menores proporções e verificando-se em data posterior à crise que efetivamente ocorreu a partir de 2008. A crise teve um forte impacto na contenção da produção industrial e do consumo de energia, não só no Brasil como em todo o mundo, cujos reflexos vêm se manifestando até os dias atuais.

Conforme se pode ver na Figura 125, a projeção do consumo de eletricidade do PNE 2050 situa-se 121 TWh (ou em torno de 11%) abaixo da previsão do PNE 2030 para o ano de 2030.

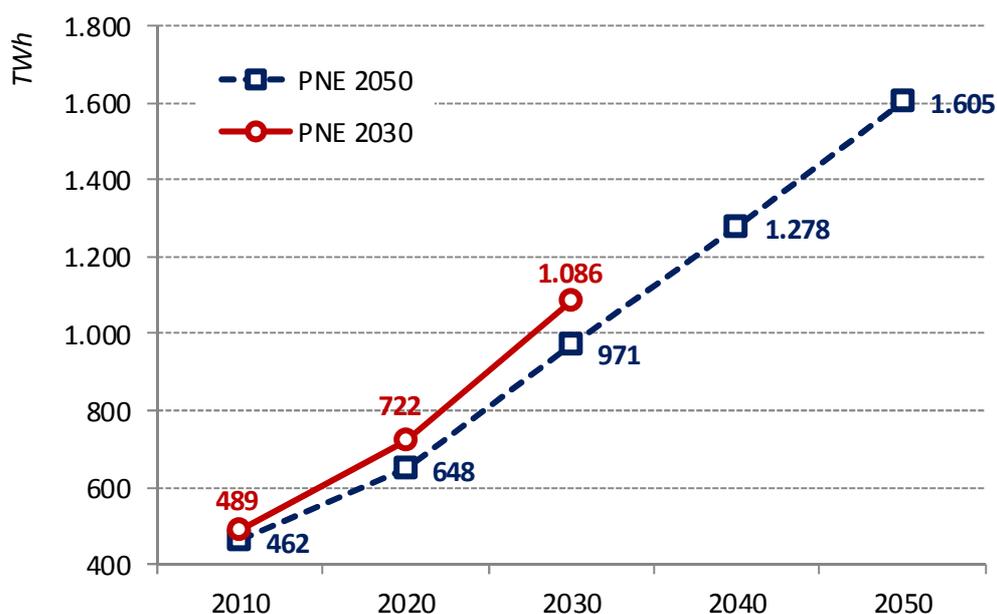


Figura 125- Brasil. Consumo total de eletricidade: PNE 2050 versus PNE 2030
Fonte: Elaboração EPE

3.4.1.5 Elasticidade-renda e intensidade elétrica da economia

Indicadores como a elasticidade-renda e a intensidade elétrica constituem-se em importantes elementos de análise das projeções de consumo.

Conforme se pode ver na Figura 126, ao longo do horizonte de projeção, a elasticidade-renda do consumo de eletricidade é inferior aos valores médios históricos. No decênio 2000-2010, o valor registrado da elasticidade, de 0,96, está impactado negativamente pelo racionamento de energia ocorrido em 2001. De fato, o consumo total de eletricidade,

⁴⁶ PNE 2030, página 36: “O desequilíbrio dos déficits gêmeos dos EUA alcança uma solução de equilíbrio por meio de ajuste interno norte-americano, o que gera uma redução no ritmo de crescimento da economia mundial”.

nesse ano, foi 6,6% inferior ao consumo do ano anterior. Apesar disso, o PIB registrou variação positiva de 1,3% de 2000 para 2001.

A Tabela 18 mostra, além das elasticidades-renda resultantes por decênio, a evolução da intensidade elétrica da economia ao longo do horizonte deste estudo. No primeiro período destacado (2013-2020), uma elasticidade média superior à unidade é consistente com intensidade elétrica crescente. Nos períodos posteriores, intensidade elétrica declinante convive com elasticidades inferiores à unidade.

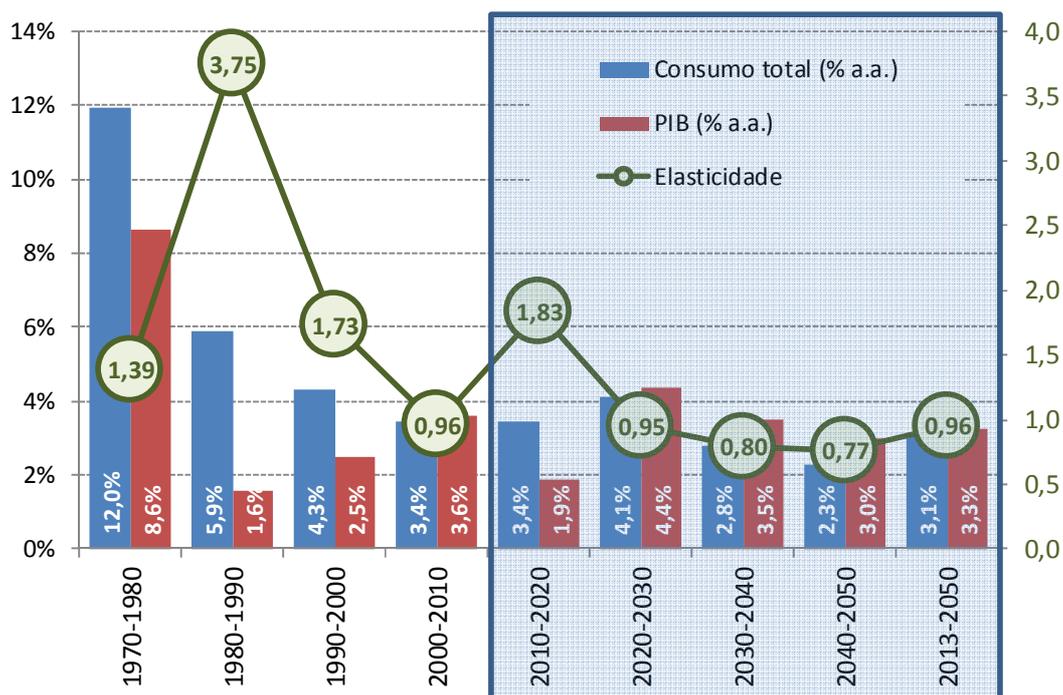


Figura 126- Brasil. Elasticidade-renda do consumo de eletricidade

Nota: consumo inclui autoprodução.

Fonte: Elaboração EPE

Tabela 18- Elasticidade-renda e intensidade do consumo de energia elétrica

Ano	Consumo (TWh)	PIB (10 ⁹ R\$ 2010)	Intensidade (kWh/R\$ 2010)
2013	513	4.012	0,128
2020	685	5.229	0,131
2030	965	7.815	0,123
2040	1.285	11.025	0,117
2050	1.624	14.816	0,110
Período	Consumo (% a.a.)	PIB (% a.a.)	Elasticidade
2013-2020	4,2	3,9	1,09
2020-2030	3,5	4,1	0,85
2030-2040	2,9	3,5	0,83
2040-2050	2,4	3,0	0,79
2013-2050	3,2	3,6	0,88

Fonte: Elaboração EPE

3.4.1.6 Carga de energia

Nesta seção, apresenta-se a projeção da carga de energia do Sistema Interligado Nacional para o horizonte de 2050, obtida a partir da projeção do consumo de energia elétrica e de premissas sobre a evolução das perdas.

A carga de energia é o requisito a ser atendido pelo Sistema Elétrico Brasileiro - geração, transmissão e distribuição. Isto é, corresponde à energia total a ser produzida nas usinas geradoras a fim de atender à demanda dos consumidores finais, consideradas não só todas as perdas elétricas ocorridas ao longo da rede de transmissão/distribuição, mas também todas as diferenças no faturamento. Por outro lado, o consumo final de energia elétrica é a demanda diretamente aferida junto aos consumidores. A diferença entre a carga e o consumo é chamada de perdas e compreende, não só as perdas elétricas (perdas técnicas), mas também erros e omissões e, principalmente, em razão de a base de aferição do consumo, em especial na baixa tensão, ser o faturamento das concessionárias, as perdas ditas comerciais - furto - e outras diferenças no faturamento.

O cenário de evolução das perdas, considerado no presente estudo, contempla uma redução gradual do chamado índice de perdas⁴⁷, passando do valor atual de cerca de 17% para 14% em 2050.

⁴⁷ O índice de perdas é um indicador que representa as perdas como percentual da carga de energia.

Nestas condições, a projeção da carga de energia no Sistema Interligado Nacional é apresentada na Figura 127. O acréscimo médio anual de carga por período, por sua vez, é apresentado na Figura 128.

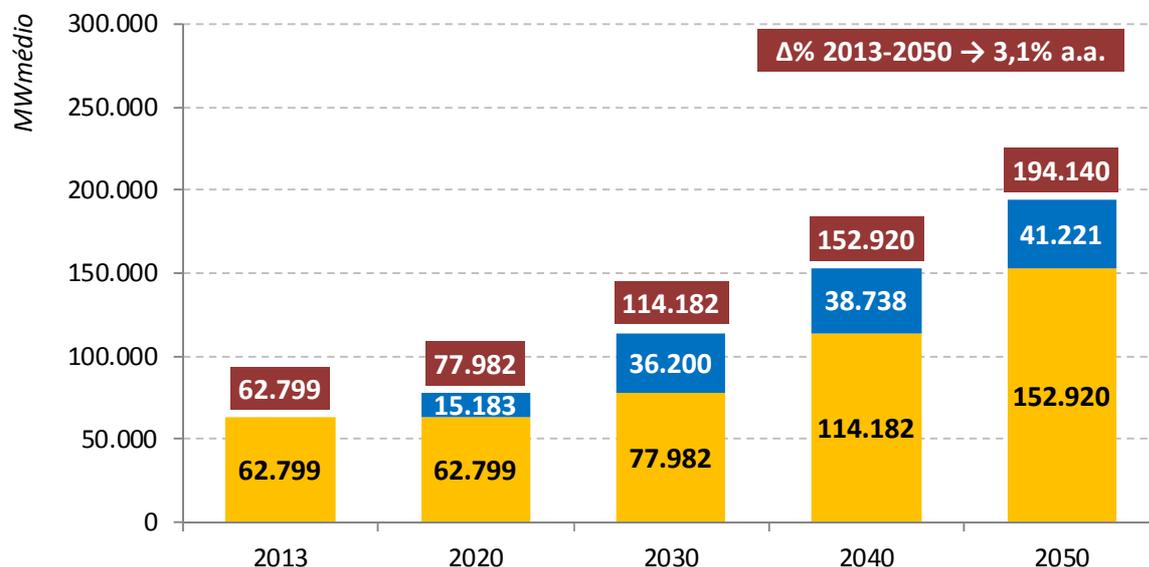


Figura 127- Sistema Interligado Nacional (SIN). Carga de energia, 2013-2050
 Fonte: Elaboração EPE

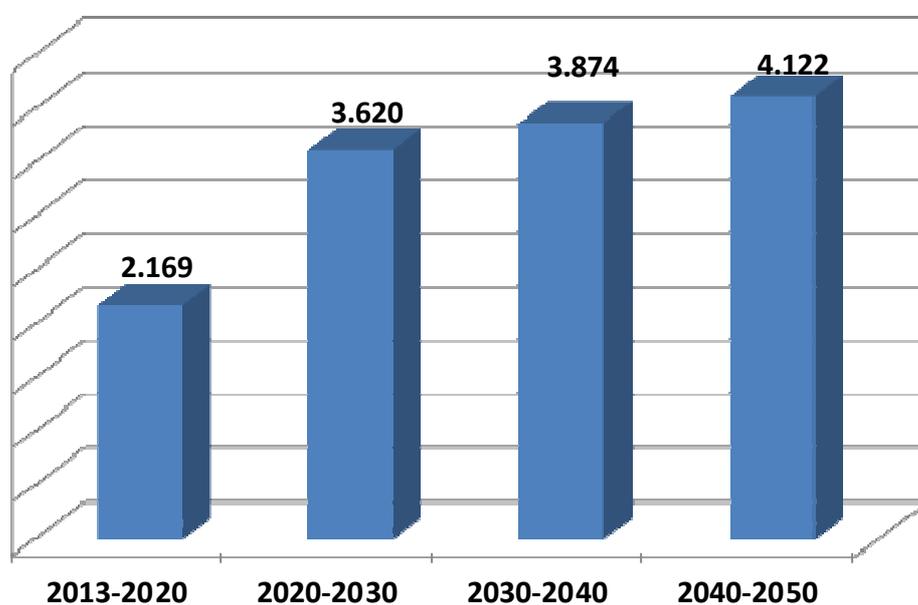


Figura 128- Sistema Interligado Nacional (SIN). Acréscimo médio anual de carga por período, 2013-2050
 Fonte: Elaboração EPE

A projeção da carga de energia no PNE 2050 parte de um valor que é 3.274 MWmédio (ou 5,5%) inferior ao valor da carga utilizado no PNE 2030 para o ano de 2010, conforme se pode ver na Figura 129.

Em 2030, essa diferença é de 11.354 MWmédio (ou 9,0%). A diferença entre as previsões de carga do PNE 2050 e do PNE 2030, para o ano de 2030, corresponde aproximadamente à carga atual da região Sul do Brasil e é um pouco superior à geração média dos últimos anos da usina hidroelétrica de Itaipu.

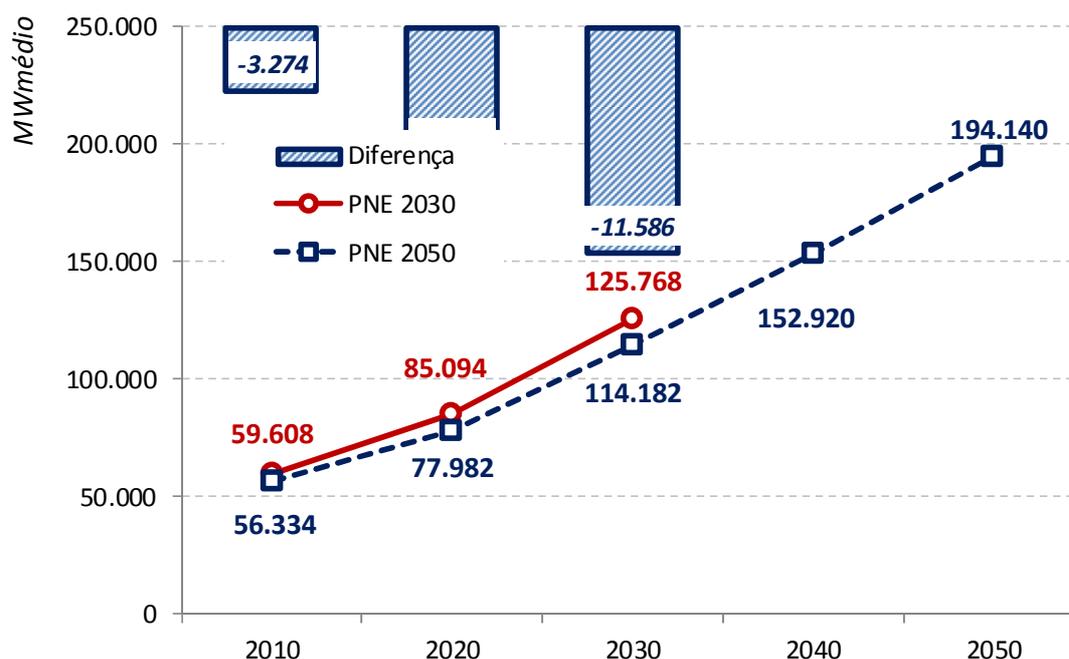


Figura 129- Sistema Interligado Nacional. Carga de energia: PNE 2050 versus PNE 2030
Fonte: Elaboração EPE

3.4.2 Gás Natural

A importância do gás natural na matriz energética brasileira cresceu consideravelmente ao longo dos últimos 20 anos e este fato está diretamente correlacionado com a evolução da sua disponibilidade para consumo. A implantação do gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL), no final da década de 1990, que ampliou a rede de gasodutos existente até então em cerca de 50%, além de novas descobertas na Bacia de Campos, elevaram o patamar de oferta interna de gás natural. Com isso, expandiu-se o consumo de gás natural na matriz energética do país, principalmente nos setores industrial e energético (maior parte em refinarias).

A Figura 130 ilustra a evolução histórica do consumo final de gás natural no Brasil. Apesar da significativa queda observada no final da década de 2000, devido ao impacto da crise econômica internacional, o crescimento médio do consumo final de gás natural aumentou significativamente a partir da década de 1990, a uma taxa anual de 8,5%, atingindo 56 milhões de m³/dia em 2012. Os setores industrial e energético, que são os mais intensivos em gás, consumiram, em 2013, 30,3 e 18,1 milhões de m³/dia, respectivamente.

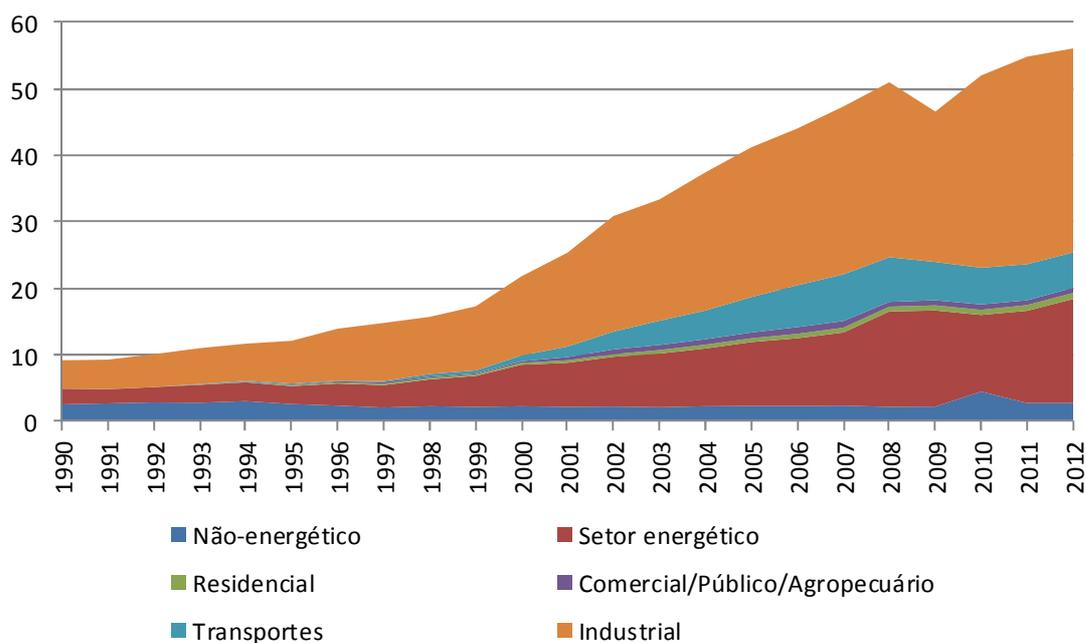


Figura 130- Evolução histórica do consumo final de gás natural (milhões de m³/dia)

Fonte: EPE (2013)

Para o horizonte de longo prazo, é considerado o aumento da oferta de gás natural com a produção do Pré-sal e de gás não convencional, ampliando a disponibilização desta fonte ao mercado.

Consideradas estas premissas para o horizonte em estudo, a perspectiva é de aumento de 3,6% ao ano no consumo final gás natural no Brasil. A Figura 131 ilustra a projeção do consumo de gás natural até 2050, por setor de consumo.

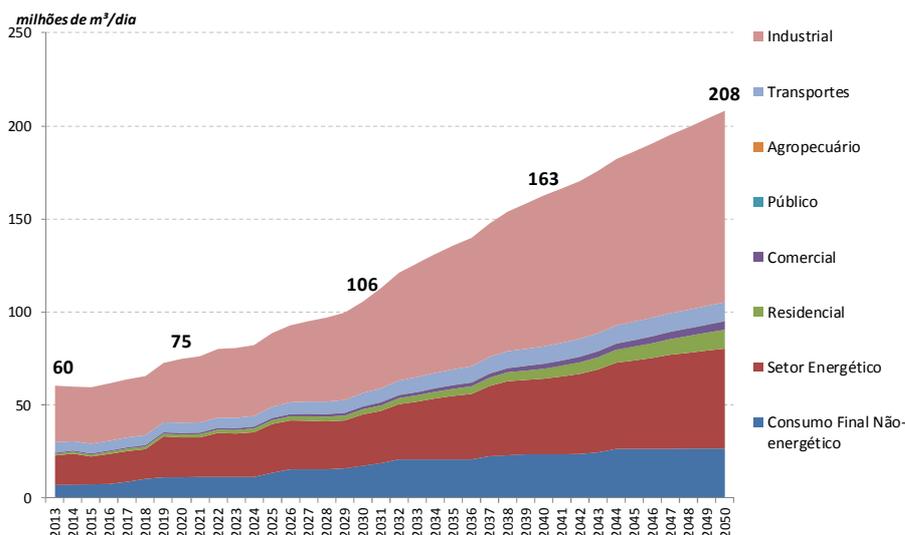


Figura 131- Projeção do consumo final de gás natural (milhões de m³/dia)

Fonte: Elaboração EPE

A Tabela 19 apresenta os números da expansão do consumo final de gás natural seco por setor e suas respectivas taxas de crescimento.

Tabela 19- Evolução do consumo final de gás natural seco (milhões de m³/dia)

	2013	2020	2030	2040	2050	Crescimento médio anual
Consumo final	51,3	69,5	100,5	147,9	180,2	3,5%
Consumo não energético	6,9	10,8	17,3	23,5	26,5	3,7%
Consumo energético	44,4	58,7	83,2	124,4	153,8	3,4%
Setor energético	8,2	16,6	22,5	25,9	25,9	3,2%
Residencial	1,0	1,5	2,8	5,4	10,3	6,5%
Comercial/Público/Agropecuário	0,7	0,9	1,5	2,7	4,6	5,0%
Transportes	5,1	5,4	7,3	9,3	10,1	1,9%
Industrial	29,3	34,2	49,1	81,1	102,9	3,5%

Notas: (1) Dados realizados para o ano 2013.

(2) Não inclui consumo em E&P.

Fonte: EPE (2015)

Destaca-se o forte crescimento do consumo não energético de gás natural (uso como matéria-prima), que está diretamente correlacionado com a premissa de minimização da dependência externa de fertilizantes nitrogenados. Além disso, o consumo em refinarias para a produção de hidrogênio também contribui para a expressiva expansão da demanda de gás como matéria-prima.

O setor residencial, apesar da pouca representatividade, expande seu consumo de gás natural em torno de 10 vezes o consumo atual até 2050. Isto se deve à premissa de

investimentos em expansão da malha de distribuição de gás, disponibilizando o combustível para a maior parte dos consumidores nos grandes centros urbanos.

O setor industrial, que detém a maior parcela do consumo de gás natural, acelera a expansão devido ao aumento da disponibilidade do gás natural.

A Figura 132 apresenta a evolução da estrutura do consumo final de gás natural, onde se observa a forte expansão da participação do consumo como matéria-prima (consumo não energético) até 2030 e a redução de participação no consumo do setor energético, pois as novas refinarias instaladas após 2020 não consumirão gás natural.

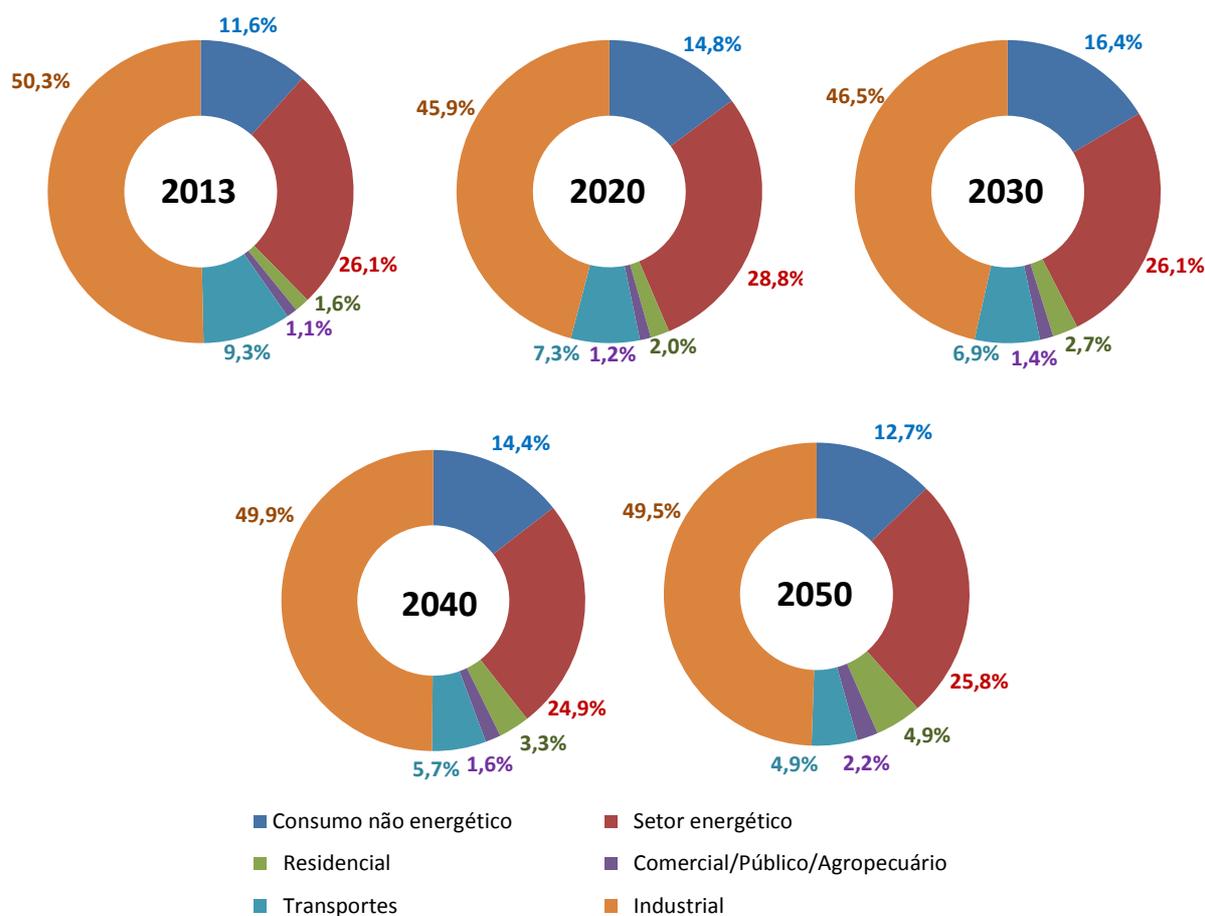


Figura 132- Estrutura do consumo final de gás natural
 Elaboração: EPE (2013)

A taxa média anual de crescimento do consumo do gás natural proporciona ganho de participação frente a outros energéticos no consumo final de energia. A Figura 133 apresenta a evolução da participação do gás natural no consumo final total de energia no Brasil, onde o gás natural atinge 12% em 2050.

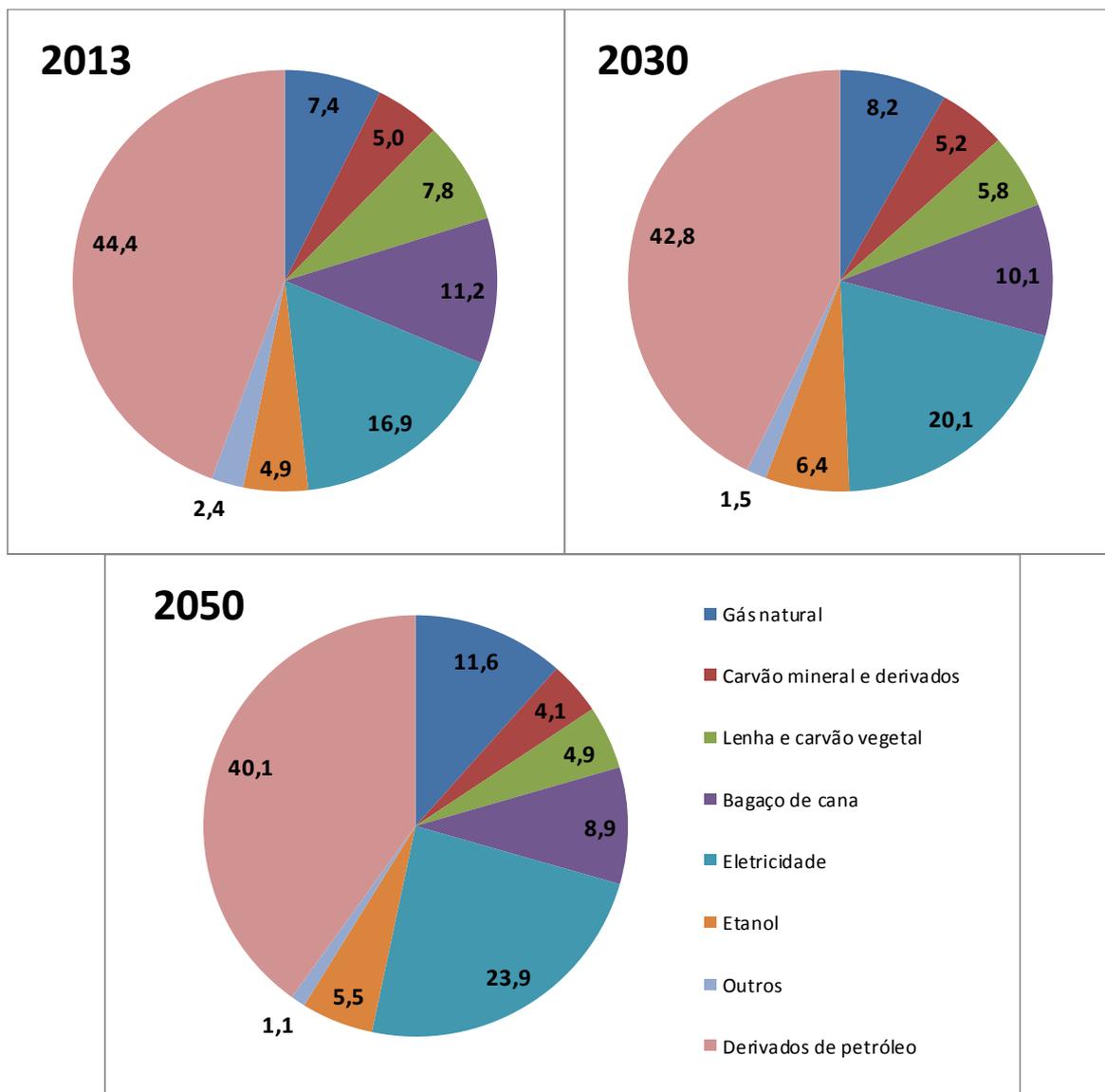


Figura 133- Estrutura do consumo final de energia
Elaboração: EPE (2013)

3.4.3 Uso não energético

3.4.3.1 Produtos não-energéticos de petróleo

Os produtos não-energéticos de petróleo incluem derivados de petróleo que, mesmo tendo significativo conteúdo energético, são utilizados para outros fins. Neste estudo, o conceito adotado corresponde àquele empregado no balanço energético nacional, estando inserido nesse grupo os asfaltos, lubrificantes, solventes e uma parcela denominada “outros não-energéticos de petróleo”, com elevada heterogeneidade de outros derivados de petróleo com uso não energético.

No período de 2013-2050, estima-se que a demanda total dos derivados não energéticos de petróleo crescerá a uma taxa média anual de 3,5% no Brasil, com a desagregação apresentada na Tabela 20.

Tabela 20- Evolução da demanda de produtos não-energéticos de petróleo por derivado (mil tep)

Ano	Lubrificantes	Asfaltos	Solventes	Outros não-energéticos	Total
2013	1.252	2.636	423	3.483	7.794
2020	1.284	3.550	441	4.085	9.360
2030	2.015	5.329	556	6.432	14.333
2040	2.895	7.286	784	9.449	20.414
2050	4.158	9.944	1.105	13.869	29.075

Fonte: EPE (2013)

Estima-se que a demanda por asfalto cresça neste período a uma taxa média anual de 3,7% a.a., o que é justificado no cenário de desenvolvimento necessário de infraestrutura no país até o final do horizonte. Ainda assim, mesmo com o consumo crescente de asfalto no Brasil, o patamar de 10 mil tep alcançado em 2050 ainda será cerca de três vezes menor que o consumo per capita da América do Norte em 2006, de acordo com dados da FIESP (2009) e ONU (2008).

Ademais, o aumento do consumo de asfalto no Brasil não está limitado à construção de novas rodovias, apesar deste ser um fator importante para o crescimento da demanda. Dados estimados no Plano CNT de Logística indicam a necessidade de duplicação e de construção, respectivamente, 30 mil e 18 mil quilômetros equivalentes em pavimentação. A demanda por asfalto encontra-se também bastante reprimida no que tange à conservação da malha viária já existente. De acordo com os resultados das avaliações feitas pela CNT em 2013 com o levantamento dos 96.714 quilômetros avaliados, 34,4% foram considerados em situação regular, 21,4%, ruim e 8%, péssima. Outros 26% estão em bom estado e 10,2% em ótimo. Se comparados com os dados da pesquisa de 2012, houve piora na qualidade das estradas nacionais.

Dessa forma, embora a demanda por asfalto seja crescente, não apenas devido às novas rodovias, mas também em decorrência da manutenção e conservação das rodovias existentes e daquelas que serão construídas, o desenvolvimento de novas tecnologias de pavimentação tanto na aplicação quanto na substituição por novos materiais pode vir a reduzir a demanda por asfalto a partir de 2040.

No tocante ao consumo de lubrificantes, o Brasil é o sexto maior consumidor de óleos básicos lubrificantes do mundo, muito próximo da Alemanha, representando um consumo

aproximado de 1,5 milhões de m³ por ano. No Brasil, a demanda por lubrificantes divide-se basicamente entre dois setores: o automotivo (70%) e o industrial (30%) (LUBES, 2015). Assim, podemos verificar que a demanda futura por óleos lubrificantes associa-se diretamente ao crescimento da indústria e do setor automotivo já que não existe produto que substitua o lubrificante.

No horizonte do PNE 2050, se estima progressiva redução da demanda específica por lubrificantes à base de petróleo, basicamente, devido ao esperado crescimento da frota de veículos elétricos, que requerem menor demanda específica de lubrificante (m³/veículo). Ademais, também cabe destaque na produção de óleos lubrificantes o papel desempenhado pelo rerrefino desses produtos. Atualmente, o óleo lubrificante oferecido no mercado tem em sua formulação óleo básico rerrefinado, o que contribui para reduzir a necessidade de produção. Os produtos desse processamento são óleos lubrificantes que tiveram como origem óleos lubrificantes usados coletados nos postos de serviço ou outros pontos de forma a evitar o seu descarte danoso ao meio ambiente. No Brasil, em 2014, as unidades de rerrefino em operação produziram em média 277.000 m³. O óleo básico rerrefinado representa cerca de 20% da demanda do mercado de óleo básico e menos de 30% da produção local de óleo básico (LUBES, 2015).

Finalmente, a demanda de solventes associa-se à atividade da indústria química e petroquímica, atendendo o mercado em vários segmentos, como tintas e vernizes, adesivos, couros, resinas, detergentes e cosméticos. Tais atividades se expandem fortemente no cenário de longo prazo, assim a demanda de solventes também cresce a uma taxa de 2,6% a.a.

Em termos de estrutura de mercado, a indústria de tintas e vernizes consome 17% do volume total de solventes seguida pela indústria química com 14%. Os tintes para tintas possuem participação de 14%, os produtos de higiene e limpeza 12%, a indústria cosmeceutica 5% e a de adesivos 2,5%.

Porém, os produtos utilizados na composição do solvente, normalmente derivados do petróleo, podem ser substituídos por derivados do etanol. O grupo dos solventes oxigenados (alcoóis, cetônicos, glicólicos etc.) está cada vez mais ocupando destaque por motivos ambientais e de saúde ocupacional. Estima-se que, embora a tecnologia baseada em derivados de petróleo deva continuar dominando este mercado por muito tempo, os oxigenados, que permitem atender a especificações ambientais mais rígidas, tenderão a ganhar mercado sobre os outros solventes.

3.4.3.2 Gás Natural Não Energético

O gás natural tem caráter estratégico no que se refere a sua utilização como matéria prima tanto na indústria como na agricultura, neste caso, para os denominados fertilizantes⁴⁸ nitrogenados. O cenário do uso não energético do gás natural no PNE 2050 considera elevadas taxas de crescimento do setor agrícola, além de superávit da produção nacional de gás natural em relação à demanda, de modo que a premissa básica adotada inclui a priorização do atendimento à demanda de fertilizantes nitrogenados, minimizando a importação e possibilitando, em lugar de exportá-lo, agregar maior valor à produção de gás natural, reduzindo a dependência externa do Brasil em relação aos fertilizantes nitrogenados.

No horizonte do PNE 2050, estima-se que o gás natural para *uso não energético* evolua de 6,9 Mm³/dia em 2013 para 26,5 Mm³/dia em 2050, principalmente devido ao uso na produção de resinas e fertilizantes, como se pode ver na Figura 134.

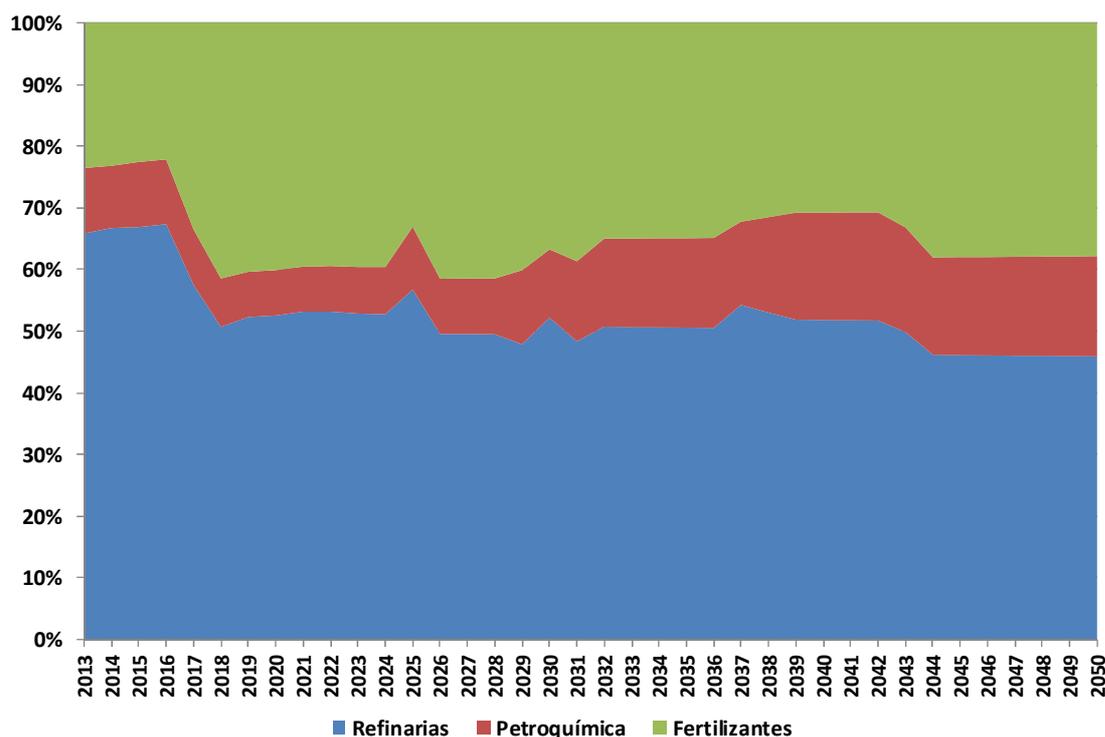


Figura 134- Evolução da participação dos setores no consumo de gás natural não energético.

Fonte: Elaboração EPE

⁴⁸ Os agrominerais - fosfato, potássio e nitrogênio - são usados na fabricação de fertilizantes, nutrientes que ampliam a produtividade do campo. A aplicação desses produtos nas lavouras é essencial para garantir a eficiência da produção.

3.4.3.3 Nafta

No cenário do PNE 2050, o consumo de nafta para uso petroquímico apresenta redução de participação, devido à expansão de outros projetos baseados no uso de gás natural e etanol. Contudo, a despeito desse fato, a nafta ainda mantém-se como principal matéria-prima para produção de resinas no país.

O crescimento contínuo da demanda da nafta, no cenário considerado neste estudo, reflete sua utilização como matéria-prima pela indústria nacional para atender ao crescimento da demanda de petroquímicos básicos como eteno e propeno, já que as demais rotas de produção destes derivados (produção a partir de gás natural e alcoolquímica) ainda estão imersas em grandes incertezas, seja em relação à evolução tecnológica, à capacidade de produção e à competitividade dessa produção (no caso da alcoolquímica), seja em relação à disponibilidade futura e custo associado (no caso do gás natural).

Embora na expansão petroquímica se priorize o uso do gás natural, ampliando a demanda desse derivado, considera-se a utilização da nafta para uma unidade petroquímica no final do horizonte onde a disponibilidade desta matéria prima deve se ampliar⁴⁹ e dependendo do perfil de refino adotado no país podem ser disponibilizadas correntes utilizadas como matérias-primas para petroquímica.

⁴⁹ Entrada de veículos elétricos reduzindo a demanda de combustíveis, em especial gasolina, que pode disponibilizar um maior volume de frações de nafta para a petroquímica.

4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

4.1 Considerações iniciais

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

Mais recentemente, a busca pela eficiência energética ganhou nova motivação. Em adição à perspectiva de custos mais elevados da energia de origem fóssil, a preocupação com a questão das mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global do planeta, aquecimento este atribuído, em grande medida, à produção e ao consumo de energia, trouxe argumentos novos e definitivos que justificam destacar a eficiência energética quando se analisa em perspectiva a oferta e o consumo de energia. Essa preocupação se justifica mesmo em um país como o Brasil, que apresenta uma matriz energética em que quase metade está associada a energias renováveis. Cabe destacar que, em estudo recente publicado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2013), estima-se que a eficiência energética pode contribuir com quase 50% da mitigação de emissão de gases de efeito estufa.

De fato, a estratégia de atendimento à demanda futura de energia deve considerar ações sob o ponto de vista tanto da expansão da oferta quanto da redução da demanda específica de energia para a realização de serviços energéticos, necessários para a produção de bens e serviços, para obtenção de produtos finais ou para proporcionar mobilidade e/ou conforto aos consumidores finais.

O papel dos ganhos de eficiência energética, estes por vezes referenciados como “combustível oculto” ou ainda “negawatts” (IEA, 2013), pode ser ilustrado na Figura 135, específica para o caso do atendimento à demanda de eletricidade.

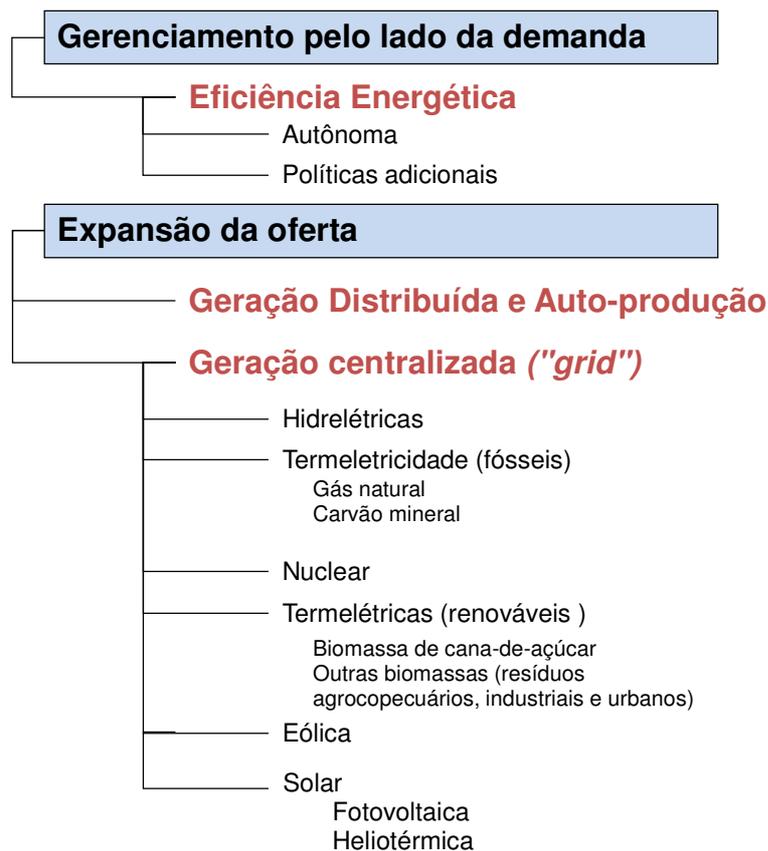


Figura 135- Estratégias de atendimento à demanda de eletricidade.
Fonte: Elaboração EPE

A partir dessa figura, cabe destacar a existência de diferentes dinâmicas para penetração dos ganhos de eficiência energética estimados no horizonte de longo prazo, que se compõem, basicamente, de duas parcelas distintas:

- A primeira delas denomina-se progresso tendencial, e corresponde ao movimento tendencial do consumidor final de energia, que inclui contribuições tais como a reposição tecnológica natural devido ao término da vida útil de equipamentos, os efeitos de políticas, programas e ações de conservação já em prática no país. Pode-se dizer que corresponde a uma trajetória do tipo “*business-as-usual*”;
- A segunda parcela de contribuição denomina-se progresso induzido, necessitando da instituição de programas e ações adicionais orientados para o incentivo à eficiência energética, sejam de caráter transversal, sejam voltados para setores específicos. Essa parcela relaciona-se, fundamentalmente, à ação de políticas públicas neste campo, que se encontra em estágio de estudos para implantação no horizonte decenal, por exemplo.

Nesta nota técnica, os ganhos de eficiência energética indicados são decorrentes do efeito combinado dos progressos tendencial e induzido, com forte predominância do progresso

tendencial no médio prazo, uma vez que se espera que o impacto de novos programas e políticas seja limitado, dado que ações e programas demandam certo tempo de maturação para surtir efeitos mensuráveis relevantes. Tal fato decorre da resistência inercial à penetração em maior grau de ações de eficiência pela pulverização de agentes. A Figura 136 ilustra esses conceitos.

Eficiência energética

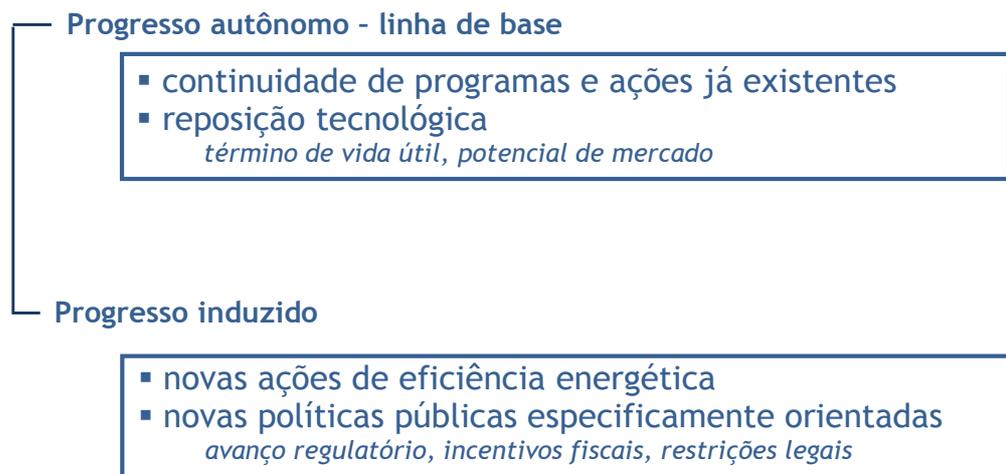


Figura 136- Dinâmica de penetração de ações de eficiência energética por origem do indutor.

Fonte: Elaboração EPE

No Brasil, diversas iniciativas sistematizadas vêm sendo empreendidas há mais de 20 anos. Destacam-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), cuja coordenação executiva está a cargo da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS), e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), cuja coordenação executiva é de responsabilidade da Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), o Programa de apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), cuja coordenação executiva pertence ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O PBE é vinculado ao ministério do Desenvolvimento, da Indústria e do Comércio Exterior (MDIC). O PROCEL e o CONPET são vinculados o Ministério de Minas e Energia (MME). Além destes, a Lei nº 10.295/2001 determina a instituição de “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país” e o Decreto nº 4.059/2001 regulamenta a mesma. Neste âmbito, mais recentemente, foi instituída a política de banimento gradativo das lâmpadas incandescentes por faixa de potência através da

Portaria Interministerial MME/MCTI e MDIC, nº 1.007/2010. Além dessas ações citadas, em nível federal outras ações com impacto direto ou indireto sobre a eficiência energética podem ser elencadas, conforme exibe a Tabela 21. Cabe destacar também a existência de programas locais e iniciativas voluntárias de agentes de mercado, não apresentadas nessa tabela, mas igualmente importantes para a apropriação de ganhos de eficiência energética na economia.

Tabela 21- Relação das Principais Políticas e Medidas de Eficiência Energética

POLÍTICAS E MEDIDAS	DESCRIÇÃO/OBJETIVO DO MECANISMO/METAS
TRANSVERSAIS	
Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF)	O PNEF tem como objetivo, orientar as ações a serem implementadas no sentido de se atingir metas de economia de energia no contexto do Planejamento Energético Nacional. A meta adotada no PNEF é a redução de 10% (106.623 GWh) do consumo de energia elétrica no ano 2030.
Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)	O PBE é um programa de etiquetagem de desempenho, com a finalidade de contribuir para a racionalização do uso da energia no Brasil através da prestação de informações sobre a eficiência energética dos equipamentos disponíveis no mercado nacional. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) classifica os equipamentos, veículos e edifícios em faixas coloridas, em geral de "A" (mais eficiente) a "E" (menos eficiente), e fornece outras informações relevantes, como, por exemplo, o consumo de combustível dos veículos e a eficiência de centrifugação e de uso da água em lavadoras de roupa.
Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)	Combater o desperdício de energia elétrica, Estimular o uso eficiente e racional de energia elétrica e Fomentar e apoiar a formulação de leis e regulamentos voltados para as práticas de eficiência energética. O PROCEL atua nas áreas: Educação, Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (Procel Info), Selo Procel, Edificações, Prédios públicos, Gestão Energética Municipal, Indústria, RELUZ e SANEAR. Os resultados alcançados em 2012 foram: 9.097GWh de energia economizada, que equivale a uma usina equivalente a 2.182 MW.
Selo PROCEL	O Selo Procel tem por objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Os produtos contemplados com o Selo Procel, normalmente são caracterizados pela faixa "A".
RELUZ	Implementar projetos de eficiência energética nos sistemas de iluminação pública e sinalização semafórica
Programa Nacional para uso racional de derivados de petróleo e gás natural (CONPET)	Racionalizar o consumo dos derivados do petróleo e do gás natural; reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera; promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico; e fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia. O CONPET atua nas áreas Eficiência Energética de Equipamentos, na Educação e no Transporte.
Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição - PEE.	As distribuidoras, devem aplicar um % mínimo da receita operacional líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética. 0,5% até 2015; 60% baixa renda. Resultados do PEE em 2012: 3.800 GWh/ano de energia economizada com 1.078 projetos por tipologia
PROESCO	O objetivo do PROESCO é apoiar os projetos de eficiência energética no país. O PROESCO abrange as áreas que contribuem para a economia de energia iluminação, motores, otimização de processos, ar comprimido, bombeamento, ar-condicionado e ventilação, refrigeração e resfriamento, produção e distribuição de vapor, aquecimento, automação e controle, distribuição de energia e gerenciamento energético.
Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC	A PNMC formaliza o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Esforços na direção da eficiência energética e da conservação de energia, com forma de redução de consumo, evitando geração adicional e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa.
Programa Tecnológico para Mitigação de Mudanças Climáticas- Proclima	Criado em 2007, pela Petrobras. O objetivo da iniciativa é prover soluções tecnológicas para a redução da intensidade de emissões de gases de efeito estufa (GEE) em seus processos e produtos, visando a garantir a sustentabilidade de seus negócios e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas globais.
Programa Fundo Clima - BNDES	Apoiar a implantação de empreendimentos, a aquisição de máquinas e equipamentos e o desenvolvimento tecnológico relacionados à redução de emissões de gases do efeito estufa e à adaptação às mudanças do clima e aos seus efeitos
PAC2 Mobilidade Grandes Cidades	Objetiva requalificar e implantar sistemas estruturantes de transporte público coletivo, visando a ampliação da capacidade e promovendo a integração intermodal, física e tarifária do sistema de mobilidade nos grandes centros urbanos.
Compras Públicas Sustentáveis	Medidas para a Administração Pública Federal adquirir equipamentos com Selo Procel ou com etiqueta nível "A" no PBE
Lei de eficiência energética	Estabelece níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes.
Plano Inova Energia	O plano abrange quatro linhas de inovação: redes inteligentes, que distribuem a energia de maneira mais eficiente; melhoria na transmissão de longa distância em alta tensão; energias alternativas, como a solar e termossolar; e desenvolvimento de dispositivos eficientes para veículos elétricos, que possam contribuir para a redução na emissão de poluentes nas cidades. Orçamento de R\$ 3 bilhões no desenvolvimento
Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura - REDI	É beneficiária do REDI a pessoa jurídica que tenha projeto aprovado para implantação de obras de infra-estrutura nos setores de transportes, portos, energia, saneamento básico e irrigação. Esse regime especial dá isenção da exigência da contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS nas aquisições e importações de bens e serviços vinculados ao projeto de Infraestrutura aprovado, realizadas no período de cinco anos contados da data da habilitação de pessoa jurídica, titular do projeto de infraestrutura.
Planos de Gestão de Logística Sustentável	São ferramentas de planejamento que permitem aos órgãos ou entidades estabelecer práticas de sustentabilidade e racionalização de gastos e processos na Administração Pública.
TRANSPORTES	
Programa de controle de poluição do ar por veículos Automotores (PROCONVE)	reduzir e controlar a contaminação atmosférica por fontes móveis (veículos automotores), fixando prazos, limites máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados.
Etiquetagem de veículos leves (PBE)	A etiqueta tem o objetivo de informar ao consumidor o nível de eficiência energética do produto adquirido
PNLT - Plano Nacional de Logística e Transportes	O plano tem como objetivo resgatar o planejamento e considera aspectos logísticos, custos envolvidos em toda a cadeia de transporte partindo das origens até os destinos, sustentabilidade com o meio ambiente, redução das desigualdades regionais, indução ao desenvolvimento sustentável e uso adequado das modalidades ferroviária e aquaviária no transporte de cargas. O plano tem como meta que em 2031 a matriz de transporte alcance uma distribuição de: rodoviário 38%, ferroviário 43%, hidroviário 6%, dutoviário 4% e cabotagem 9%. Reduções evitadas de 42 milhões de CO2eq
Redução do IPI veículos "flex" e a gasolina de até 1.000 cilindradas	A medida visa estimular a produção e o consumo de veículos que consumam menos combustível
Inovar Auto	Mais competitividade, tecnologia e segurança para os carros produzidos e vendidos no Brasil. A meta-alvo é 17,26 km/l (gasolina) e 11,96 km/l (etanol). Hoje, o consumo médio nacional é de 14 km/l (gasolina) e 9,71 km/l (etanol).
PNMU - Política Nacional de Mobilidade Urbana	Tem como objetivo a integração entre os diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas no território do Município
INDÚSTRIA (inclui indústrias produtoras de energia)	
Incentivo à P&D na indústria	Por força de lei, a Petrobras tem renúncia fiscal para apoio a projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), que contam com 0,5% do faturamento bruto da empresa.
Programa de Ajustes para Redução da Queima de Gás Natural (ANP)	O Programa de Ajuste para Redução da Queima de Gás Natural (Para), é uma exigência que foi implementada em 2010 pela ANP.
Programa de Aumento da Eficiência Operacional (PROEF) - Petrobras	Aumento da confiabilidade de entrega da curva de óleo através da melhoria dos níveis de eficiência operacional e da integridade dos sistemas de produção antigos da Bacia de Campos e minimização de riscos de perdas de eficiência dos sistemas mais recentes.
Programa Interno de Eficiência Energética - Petrobras	A Petrobras conta com 38 Comissões Internas de Conservação de Energia, desenvolve e implementa projetos de melhoria em eficiência energética que visam a redução do consumo de energia elétrica e redução do consumo de combustíveis em suas unidades
Programa de Otimização de Infraestrutura Logística (Infralog) - Petrobras	Planejamento integrado, acompanhamento e gestão de projetos e ações para atender às necessidades de infraestrutura logística da Petrobras até 2020
EDIFICAÇÕES	
Lei de banimento de lâmpadas incandescentes	Banimento gradativo das lâmpadas incandescentes por faixa de potência através da Portaria Interministerial MME/MCTI e MDIC, nº 1.007/2010.
Etiquetagem de Edificações Comerciais, Públicas e Residenciais	A etiqueta tem o objetivo de informar ao consumidor o nível de eficiência energética do produto adquirido
Programa Minha Casa, minha vida (aquecimento solar)	É um programa para a contratação de unidades habitacionais com prioridade às famílias de baixa renda. A meta é atingir 2 milhões de residências até 2014. O sistema de aquecimento solar de água substitui o chuveiro elétrico, reduzindo o consumo de eletricidade das casas e se tornando um importante aliado para a redução do horário de ponta.
Selo Caixa Azul (construção sustentável)	Programa de construção sustentável. O Selo Casa Azul CAIXA, tem como objetivo o reconhecimento e incentivo de projetos que demonstrem suas contribuições para a redução de impactos ambientais,
BNDES ProCopa Turismo	O BNDES ProCopa Turismo conta com dois subprogramas com condições especiais de financiamento para empreendimentos hoteleiros que obtenham certificações de sustentabilidade ou de eficiência energética: BNDES ProCopa Turismo - Hotel Sustentável (exige certificado de construção sustentável) e BNDES ProCopa Turismo - Hotel Eficiência Energética (exige certificado de eficiência energética). Financiamento de construção, reforma, ampliação e modernização de hotéis, de forma a aumentar a capacidade e qualidade de hospedagem em função da Copa do Mundo de 2014.
AGRICULTURA	
Política Nacional de Irrigação	Equipamentos para uso eficiente da água, modernizar instrumentos e implantar sistemas de suporte à irrigação
Programa de Incentivo à Irrigação e à Armazenagem - Moderinfra	Apoiar o desenvolvimento da agropecuária irrigada sustentável, econômica e ambientalmente, de forma a minimizar o risco na produção e aumentar a oferta de produtos agropecuários

Fonte: Elaboração EPE

Sob a perspectiva de um horizonte de longo prazo, a eficiência energética tem papel importante no atendimento à demanda futura de energia pela sociedade brasileira. De fato, o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) além de explicitar o papel da eficiência energética no planejamento energético nacional - destacando a sua importância - também apresenta pela primeira vez, em nível governamental e de forma integrada, a indicação de metas de eficiência energética no longo prazo para o país, como pode ser mostrado na

Figura 137 e na Figura 138. Como elemento provocador da discussão estratégica nessa área, o PNE 2030 também destaca a necessidade de se estabelecer um sistema integrado de informação sobre eficiência energética no Brasil, além da elaboração de novos estudos sobre o tema, em suas mais diversas esferas, governamental, agentes privados, academia e sociedade em geral.

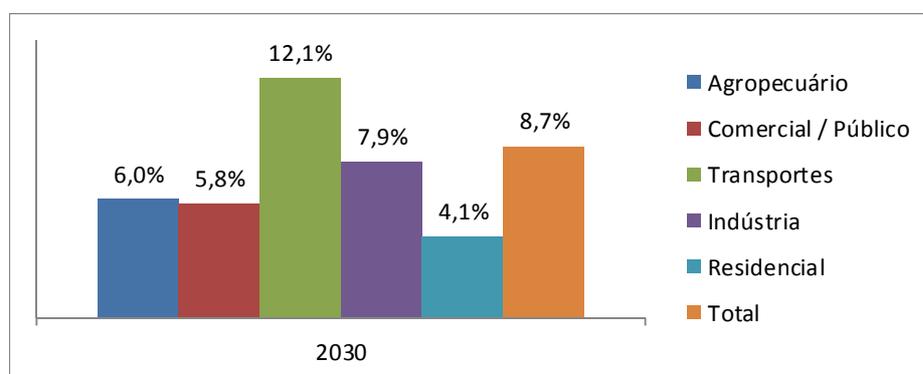


Figura 137- Ganhos de eficiência energética total considerada no PNE 2030.
Fonte: EPE (2007)

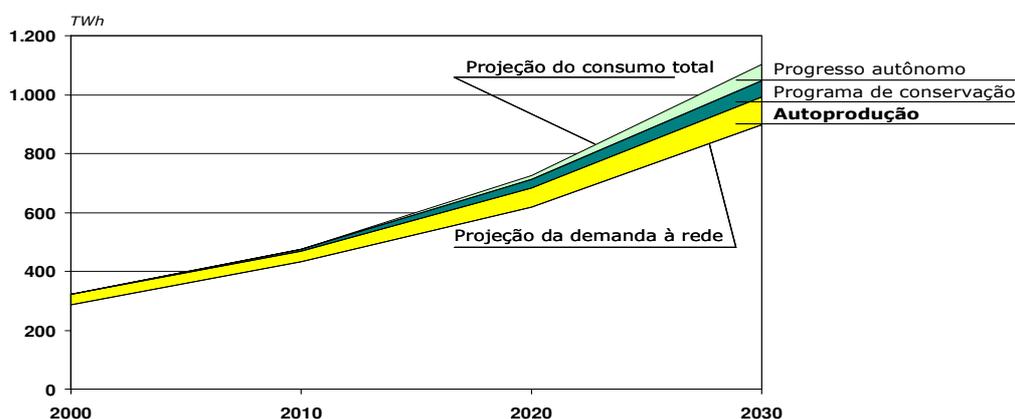


Figura 138- Ganhos de eficiência elétrica considerada no PNE 2030.
Fonte: EPE (2007)

Para adequada interpretação dos resultados de eficiência energética estimados no estudo do PNE 2050, é importante explicitar que os ganhos de eficiência energética apresentados neste estudo correspondem à diferença observada entre a projeção do consumo final de energia - que incorpora esses ganhos de eficiência - e a projeção desse consumo na

hipótese de serem mantidos os padrões tecnológicos e de uso da energia observados para o ano base. Esta abordagem é ilustrada na Figura 139. Ou seja, as projeções de demanda de energia apresentadas no PNE já consideram os ganhos de eficiência energética em cada setor de consumo.

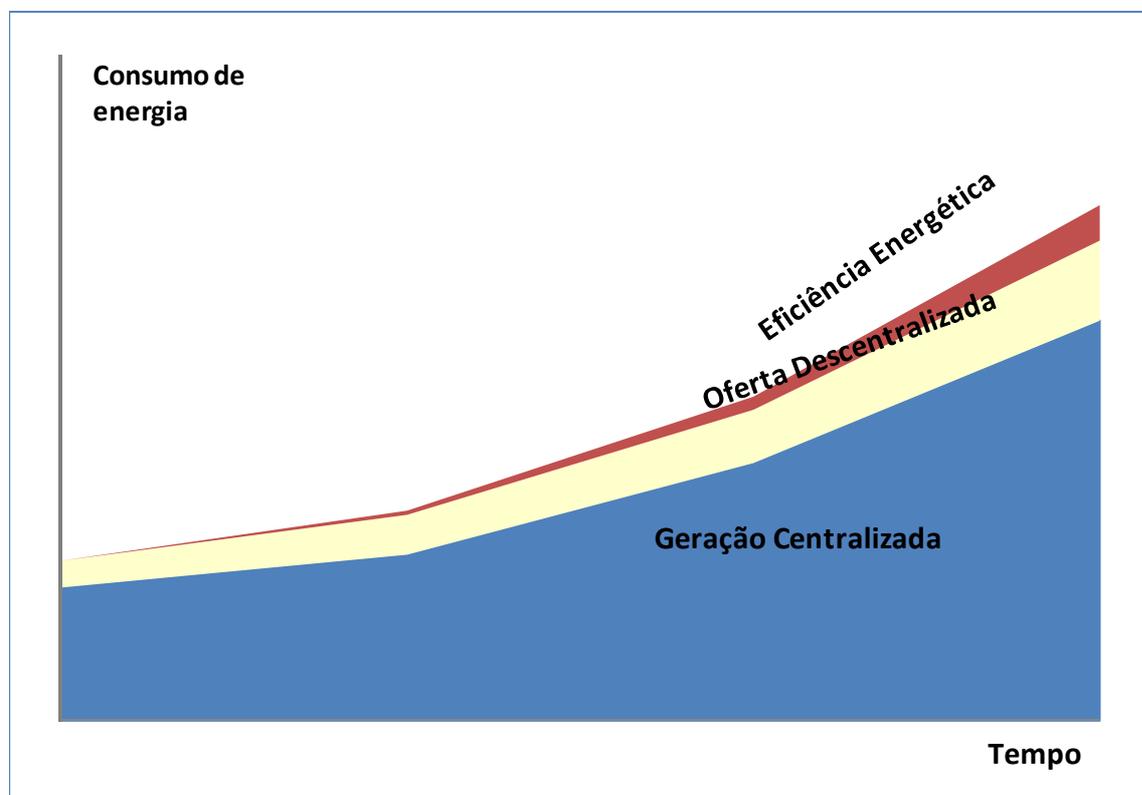


Figura 139- Representação estilizada das estimativas de ganhos de eficiência energética apresentados no PNE 2050.

Fonte: Elaboração EPE

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

- Permite avaliar a evolução dos ganhos de eficiência energética considerando o mesmo nível de atividade de um determinado setor, ou seja, o mesmo volume de saídas (produção física de bens industriais, prestação de serviços e conforto) - sendo variável apenas a quantidade de energia necessária à sua produção ou realização. Esta abordagem possibilita depurar o efeito da atividade econômica

sobre o consumo de energia, evitando que ganhos de eficiência sejam inadequadamente apropriados a ações de eficiência energética, quando, na verdade, a redução pode ter se dado devido, por exemplo, à retração da atividade econômica.

- Ainda que seja considerado o mesmo nível de atividade nesta análise, é importante separar o efeito de alterações estruturais que impactem esses indicadores cuja relação direta com ações de eficiência energética não seja tão evidente. Um exemplo conveniente inclui as refinarias de petróleo que apresentam contínuo aumento de indicadores globais de consumo de energia por barril de petróleo processado, em função do aumento do grau de complexidade média do parque brasileiro de refino, mas que ainda assim apuram ganhos de eficiência energética. Nesse caso, a análise dos ganhos de eficiência energética deve considerar indicadores de natureza *bottom up*.

Ademais, é importante considerar que nesta abordagem não foram consideradas mudanças de hábitos/padrão de consumo ou regime de operação de equipamentos, bem como, não foram contabilizados efeitos sistêmicos advindos de alterações na estrutura de cada setor.

Assim, com a diretriz estratégica de estabelecer o volume de contribuição estimado da eficiência energética como “parcela de atendimento” à demanda de energia no longo prazo, os estudos da demanda de energia aqui apresentados consideram e explicitam obrigatoriamente a contribuição quantitativa da eficiência energética na redução da demanda energética que deve ser atendida pela expansão da oferta de energia em qualquer horizonte, seja ele de médio ou longo prazos.

A apropriação desses ganhos dependerá, em grande medida, do efeito conjugado de diversos fatores, incluindo a promoção de políticas e ações com efeito direto e/ou indireto sobre a eficiência energética, o adequado sinal de preços para incentivo a ações de eficiência energética e, embora com um grau de dificuldade um pouco maior, também a partir de aspectos ligados ao padrão de consumo. A inter-relação entre os diversos fatores (condicionantes e ações geradas nos consumidores finais) que impactam a dinamização de um mercado de eficiência energética é exibida na Figura 140. Por certo, a mencionada apropriação de ganhos de eficiência energética ao longo do tempo exigirá grande esforço para criação do ambiente adequado para promoção de ações autossustentáveis nesse campo.

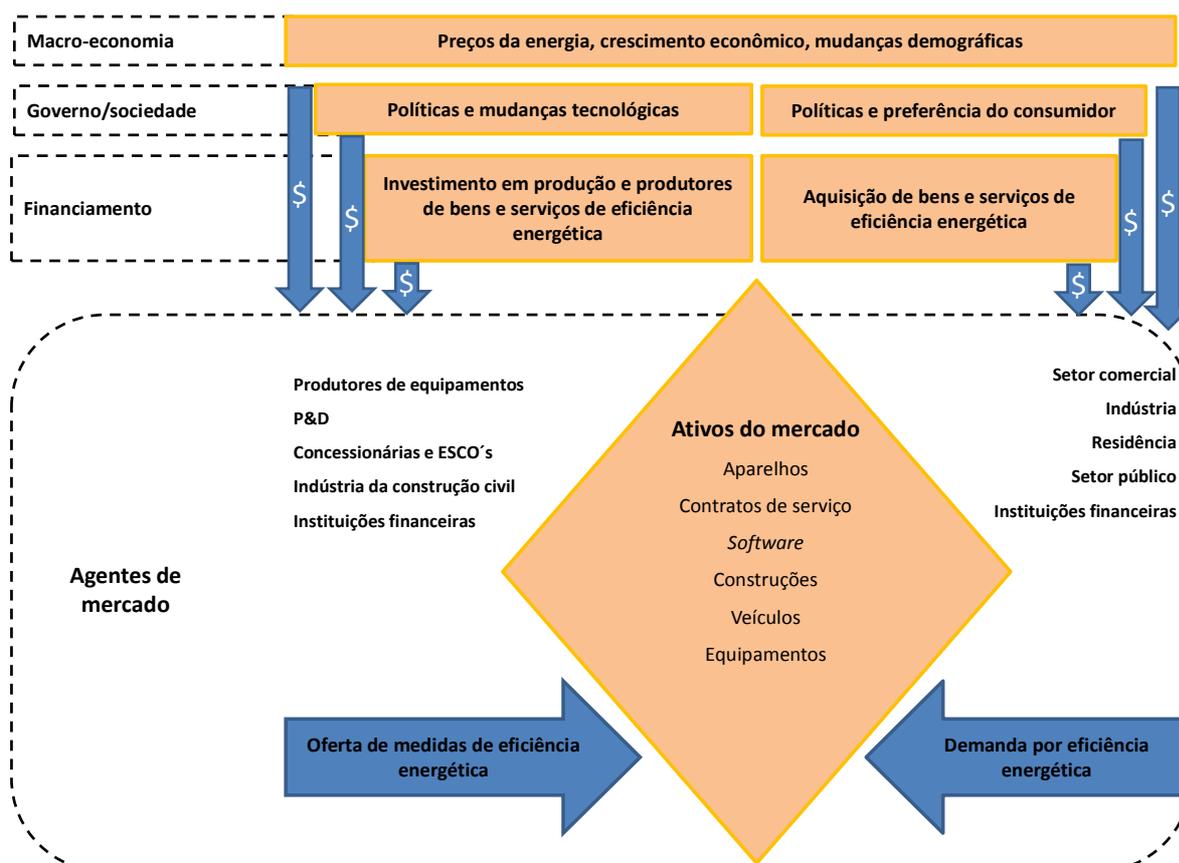


Figura 140- Inter-relação entre os condicionantes e ações para dinamização de mercados de eficiência energética.

Fonte: Traduzido de IEA (2013)

4.2 Estimativa total de eficiência energética no longo prazo

4.2.1 Resultados consolidados

4.2.1.1 Eficiência energética total

No horizonte de longo prazo, estima-se que a eficiência energética possa contribuir com aproximadamente 18% da demanda de energia total e 17% da demanda de eletricidade, conforme pode ser visto na Tabela 22. De acordo com essas estimativas, as ações de eficiência energética contribuirão para reduzir a demanda de energia em aproximadamente 118,6 milhões de toneladas equivalente de petróleo em 2050. Os montantes de ganho de eficiência alcançados, por setor de consumo, são ilustrados na Figura 141.

Tabela 22- Brasil: Consumo de energia e eficiência energética

Consumo (10 ³ tep) ¹	2020	2030	2040	2050
Consumo potencial sem conservação	300.521	430.379	550.019	655.075
Energia conservada	9.726	36.432	76.679	118.660
Energia conservada (%)	3,2%	8%	13,2%	18%
Consumo final, considerando conservação	290.795	393.947	485.262	536.415
Emissões Evitadas com a Eficiência MtCO ₂ ⁽²⁾	10	28	55	81

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

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

Fonte: *Elaboração EPE*

Em termos da contribuição setorial aos ganhos de eficiência energética, os setores que mais contribuem para estes ganhos são o de transportes (44%) e a indústria (41%)(Figura 142). Avalia-se que a indústria como um todo obtenha, no final do horizonte, em 2050, ganhos em eficiência elétrica, que podem atingir mais de 115 TWh, o que equivale, a 7% do total do consumo de energia elétrica projetado para o ano de 2050.

Em termos de geração evitada, essa economia de energia da indústria equivale, aproximadamente, à energia produzida por uma usina termelétrica a gás natural com 18.000 MW, potência superior a 18 UTE's de Santa Cruz, localizada no município do Rio de Janeiro. Equivale, ainda, a mais do que a geração anual de uma usina hidrelétrica com cerca de 24.000 MW, que representa mais que 3 (três) vezes a potência da usina de Itaipu parte Brasileira (localizada no município de Foz do Iguaçu, no Paraná) e a 22% da energia elétrica consumida no país em 2014. A Tabela 23, por sua vez, apresenta a evolução dos ganhos de eficiência dentro de cada setor.

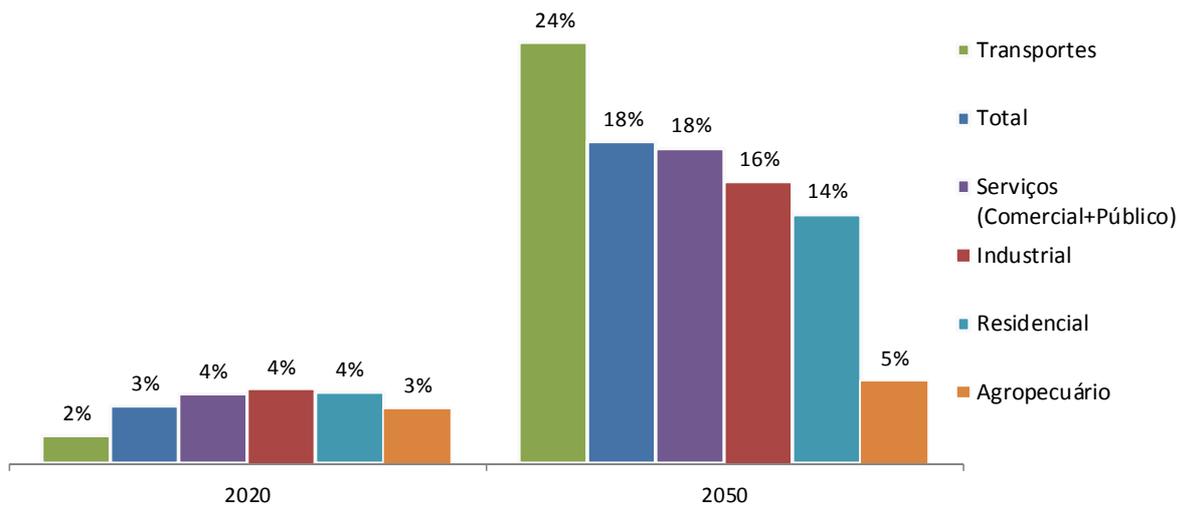


Figura 141- Ganhos de eficiência energética por setor no horizonte de longo prazo.
 Fonte: Elaboração EPE

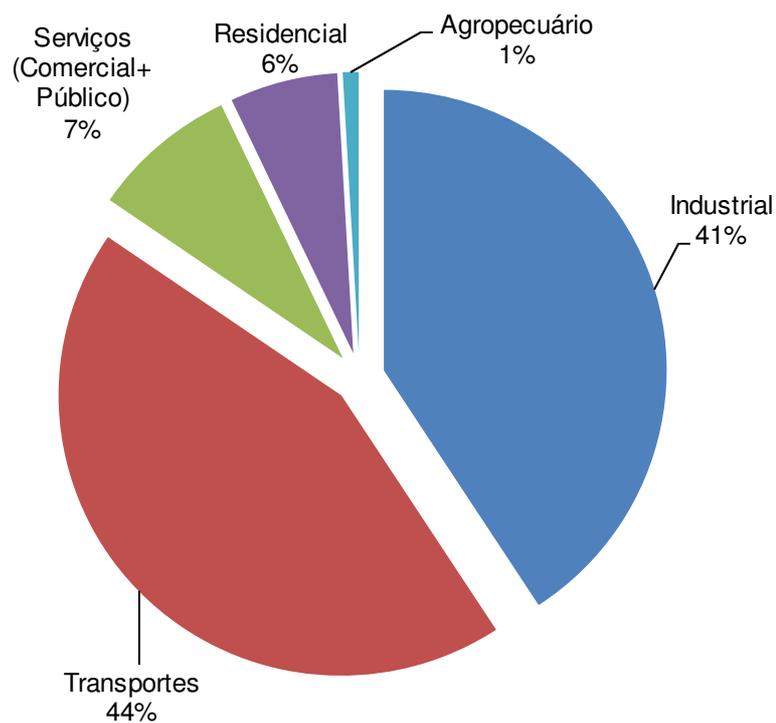


Figura 142- Contribuição setorial aos ganhos de eficiência energética no horizonte de longo prazo em 2050.
 Fonte: Elaboração EPE

Quando desagregadas as parcelas de eficiência energética em consumo de eletricidade e de combustíveis, percebe-se que a maior contribuição se deve à conservação no consumo de combustíveis, com cerca de 21% em 2050 (Tabela 24).

Tabela 23- Brasil: Consumo de energia elétrica e eficiência elétrica

Consumo (GWh) ¹	2020	2030	2040	2050
Consumo potencial sem conservação	685.585	1.071.379	1.471.426	1.936.274
Energia conservada	37.507	100.184	193.375	331.408
Energia conservada (%)	5,5	9,4	13,1	17,1
Consumo final, considerando conservação	648.078	971.194	1.278.051	1.604.867
Energia conservada por setor				
Setor Industrial ¹	16.330	40.199	72.098	114.841
Setor transporte	94	787	4.795	13.733
Setor serviços	7.028	26.364	59.770	114.046
Setor residencial	13.589	31.361	54.268	85.185
Setor Agropecuário	465	1.473	2.445	3.602

(1) Inclui setor energético

Tabela 24- Brasil: Consumo de combustíveis e eficiência energética

Consumo (10 ³ tep) ¹	2020	2030	2040	2050
Consumo potencial sem conservação	241.561	338.240	435.398	488.555
Energia conservada	6.501	27.816	60.049	90.159
Energia conservada (%)	2,7	8,2	13,8	18,5
Consumo final, considerando conservação	235.060	310.424	375.349	398.397
Energia conservada por setor				
Setor Industrial ¹	4.507	14.647	27.107	38.504
Setor transporte	1.626	12.687	32.284	50.765
Setor serviços	15	40	69	126
Setor residencial	0	0	0	0
Setor Agropecuário	353	443	590	764

(1) Inclui setor energético

No horizonte do PNE 2050, a energia conservada equivale a, entre outros ganhos, simultaneamente:

- Evitar a instalação de uma usina hidrelétrica com capacidade instalada de aproximadamente 80 GW, equivalente a quase 6 usinas de Itaipu (incluindo a parcela Paraguaia);
- Evitar o consumo de 15 bilhões de litros de etanol no setor de transportes⁵⁰;
- Evitar cerca de 90% do consumo atual de gás natural no setor industrial.

Ao todo, a energia total economizada (elétrica + combustíveis) devido à contribuição da eficiência energética em 2050 representa 68% do consumo dos setores de Transportes e Indústria em 2014.

Na sequência deste item, são apresentados inicialmente indicadores agregados de eficiência energética (total da economia), para em seguida serem expostos os resultados e indicadores de cada setor.

4.2.1.2 Indicadores agregados de eficiência energética

No horizonte de longo prazo, a trajetória resultante da intensidade energética mostra-se decrescente no período inteiro, exceção feita apenas para o horizonte decenal com ligeira elevação no médio prazo em relação ao ano base (Figura 143). Cabe destacar que, a rigor, a intensidade energética é mais aderente como indicador da produtividade energética da economia do que como indicador de eficiência energética. Isso porque a intensidade energética é influenciada por aspectos relacionados à estrutura de valor adicionado e à evolução dos termos de troca relativos na economia. Contudo, tal indicador mostra-se bastante interessante para acompanhar a evolução do grau de “eficiência energética” da economia, bem como permitir comparações internacionais.

A intensidade energética apresenta um leve acréscimo entre 2013 e 2020, e após 2020 um decréscimo no patamar no final da projeção no horizonte de 2050. A intensidade elétrica se mantém ligeiramente crescente nos anos de 2013 a 2020, com um ligeiro decréscimo após o período de 2020.

⁵⁰ As unidades *greenfields* típicas de 1ª geração neste estudo tem capacidade média de 4 Mtc e o indicador de litros de etanol por tonelada de cana varia de cerca de 77 para 95. Para se estimar o número de destilarias que deixaram de ser construídas, considera-se um valor médio de 86 L/tc. O total produzido seria 344 ML/usina. Os 15 bilhões de litros que deixarão de ser produzidos por eficiência energética evitarão a construção de 44 destilarias.

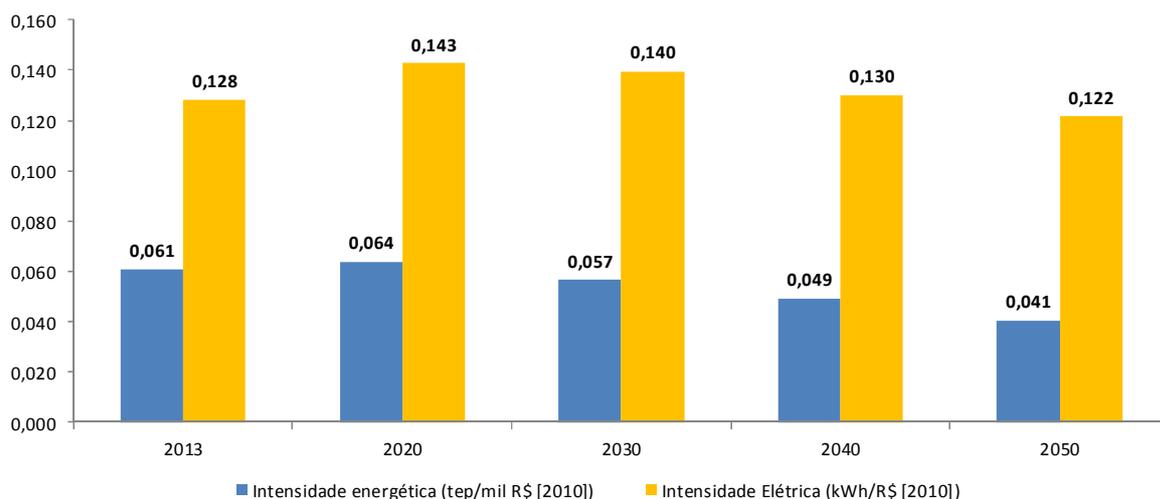


Figura 143- Evolução da intensidade energética e elétrica da economia
 Fonte: elaboração EPE

No horizonte de longo prazo, o consumo per capita de energia apresenta tendência em sentido oposto ao observado para a intensidade energética, como mostra a Figura 144. Comparativamente a outros países, o posicionamento atual do Brasil, no que se refere ao consumo per capita de energia, está numa posição bastante próxima à do Uruguai e do México e em 2050 em patamares próximos ao da Itália e África do Sul hoje.

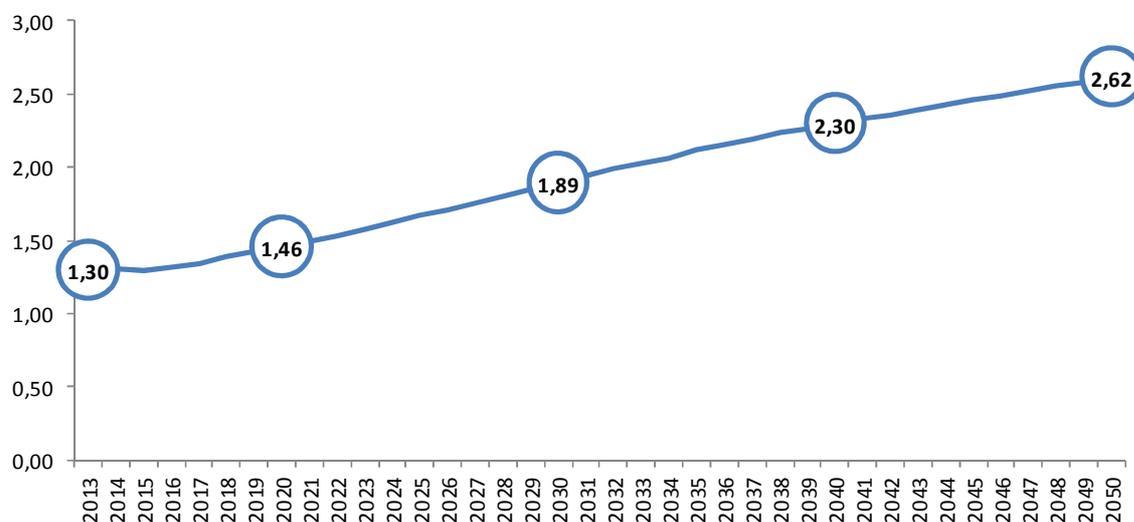


Figura 144- Evolução estimada do consumo per capita de energia (tep/hab).
 Fonte: elaboração EPE

Destaca-se, pelo menos dois fatos relevantes para o aumento do consumo per capita de eletricidade, já citados anteriormente, que são: aumento do número de consumidores, assim como o nível de renda per capita da população.

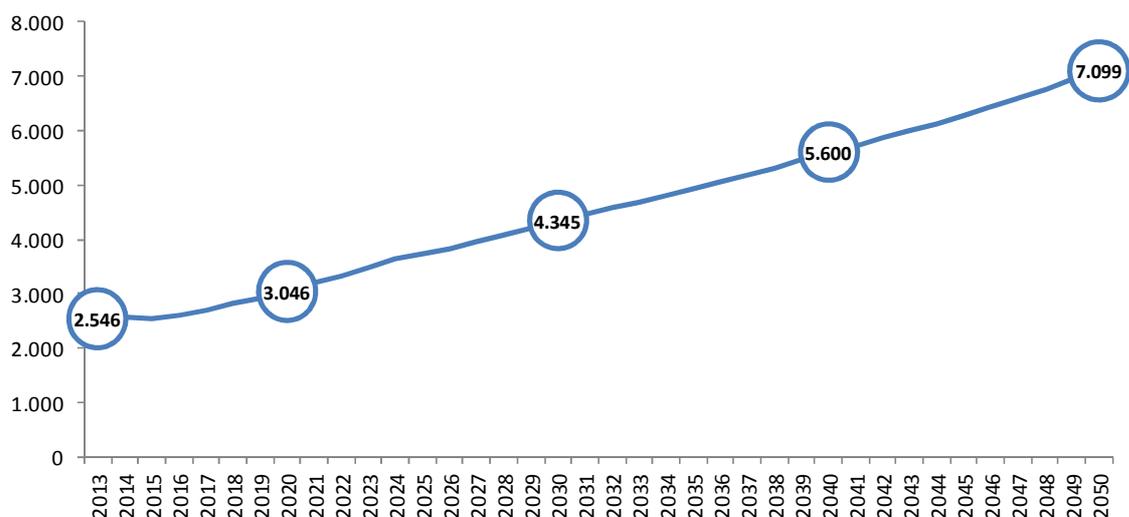


Figura 145- Evolução estimada do consumo per capita de eletricidade (kWh/hab).
 Fonte: elaboração EPE

À título de comparação, o Brasil hoje está nos mesmos patamares que o México e Argentina. Na projeção do consumo de eletricidade para 2050, o Brasil evolui no sentido de um maior consumo elétrico per capita, se mantendo no mesmo patamar que a Alemanha em 2013.

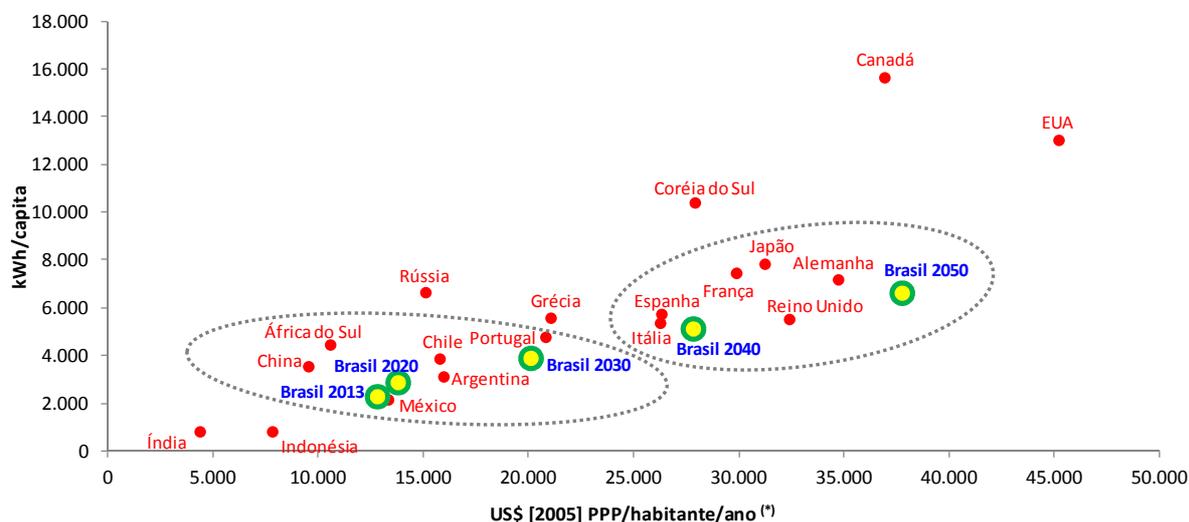


Figura 146- Consumo per capita de eletricidade: trajetória brasileira estimada no longo prazo e comparação internacional.
 Fonte: IEA, 2013: Key World Energy Statistics 2013 e EPE (2015). Elaboração EPE.

A Figura 147 mostra um diagrama conhecido como “*Sendero Energético*”, nos eixos verticais as intensidades energética e elétrica, e no eixo horizontal o PIB per capita. Com esta figura é possível correlacionar variáveis e avaliar o processo de efficientização da oferta e demanda de energia em um país, a trajetória da economia brasileira foi bastante similar à desejada, uma diagonal descendente (em vermelho), ou seja, no período de 1970 a 1980, houve conjugação entre a redução do indicador intensidade energética com aumento do PIB per capita.

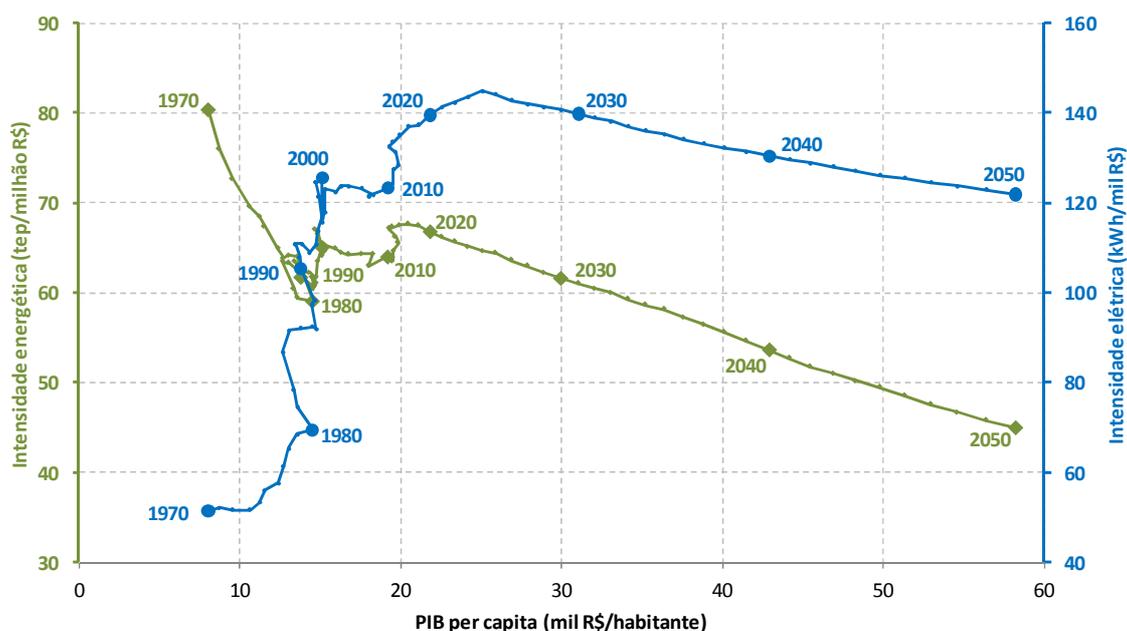


Figura 147- Trajetória energética brasileira no longo prazo.
Fonte: Elaboração EPE

4.2.2 Setor residencial: eficiência energética

4.2.2.1 Considerações iniciais

O setor residencial brasileiro é responsável por cerca de 10% da demanda total de energia no Brasil e quase $\frac{1}{4}$ da demanda de eletricidade no Brasil. Conforme explicado no capítulo de demanda, no horizonte de longo prazo, a evolução do número de domicílios, renda per capita e posse/uso de equipamentos eletrodomésticos tem papel essencial na estimativa desse consumo de energia.

Nesse sentido, as projeções de demanda de energia elétrica no setor residencial - realizadas a partir de um processo de convergência entre uma modelagem do tipo “*top down*” e outra “*bottom up*” - buscam apreender os efeitos de posse, uso e potência de um conjunto de equipamentos e sua possível vinculação com ações de eficiência energética. A

estimativa dos ganhos de eficiência resulta da avaliação de uma situação que considera ganhos de consumo específico de equipamentos contra uma situação de determinados parâmetros “congelados”, onde mantemos nos anos base cada uma das variáveis citadas acima congeladas, e analisamos seu efeito sobre a demanda de energia, conforme o método de decomposição de efeito cujas fórmulas são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25- Setor residencial: descrição sucinta da metodologia adotada para decomposição de efeitos na demanda elétrica do setor residencial brasileiro.

Efeito	Metodologia de estimativa
Combinado	
Domicílios e equipamentos eletrodomésticos	$(N_{i, 2050} - N_{i, 2013}) * CE_{i, 2013}$
Consumo específico (potência e tempo de uso)	$N_{i, 2050} * (CE_{i, 2050} - CE_{i, 2013})$
Isolado	
Domicílios	$p_{i, 2013} * (N_{i, 2050} - N_{i, 2013}) * CE_{i, 2013}$
Posse	$N_{i, 2050} * (p_{i, 2050} - p_{i, 2013}) * CE_{i, 2013}$
Potência	$T_{i, 2013} * (P_{i, 2050} - P_{i, 2013}) * N_{i, 2050}$
Tempo	$P_{i, 2050} * (T_{i, 2050} - T_{i, 2013}) * N_{i, 2050}$

Nota: $N_{i, 2050}$ = número de domicílios com o equipamento “i” em 2050; $N_{i, 2013}$ = número de domicílios com o equipamento “i” em 2013; $CE_{i, 2050}$ = consumo específico do equipamento “i” em 2050; $CE_{i, 2013}$ = consumo específico do equipamento “i” em 2013; $p_{i, 2050}$ = posse média do equipamento “i” por domicílio em 2050; $p_{i, 2013}$ = posse média do equipamento “i” por domicílio em 2013; $P_{i, 2050}$ = potência média do equipamento “i” em 2050; $P_{i, 2013}$ = potência média do equipamento “i” em 2013; $T_{i, 2050}$ = tempo médio de uso do equipamento “i” em 2050; $T_{i, 2013}$ = tempo médio de uso do equipamento “i” em 2013.

Fonte: elaboração EPE

Através dessa metodologia estimou-se a contribuição de cada efeito ao consumo de energia no setor residencial brasileiro no longo prazo, conforme apresentado na Figura 148.

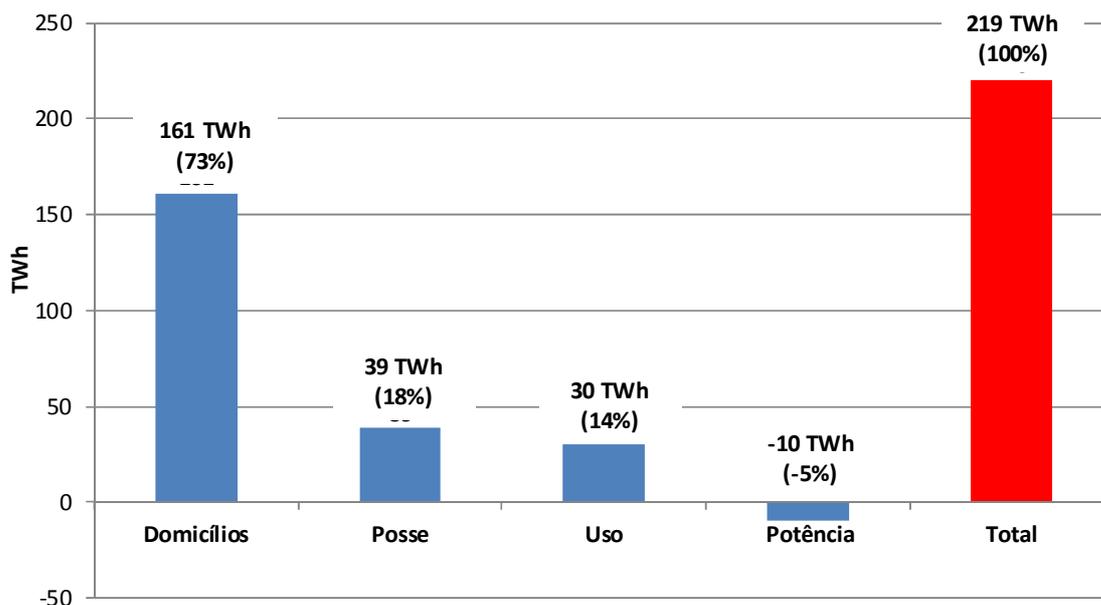


Figura 148- Setor residencial: variação do consumo total de energia por efeito entre 2013 - 2050

Fonte: elaboração EPE

Observe-se que a metodologia permite que seja considerada - e assim se fez - eventual substituição entre fontes. Por exemplo, a substituição da eletricidade por gás ou por sistemas de aquecimento solar no caso do aquecimento de água. Contudo, pela abordagem adotada, tal redução em alguns casos foi contabilizada como consumo evitado, embora muitos autores defendam que alguns casos específicos deveriam ser considerados como energia conservada⁵¹. Na sequência deste texto, serão apresentadas algumas variáveis relacionadas às características estruturais do setor residencial que merecem ser mencionadas.

4.2.2.2 Equipamentos residenciais

A premissa geral adotada neste estudo é que a oferta de equipamentos no mercado evolui na direção de sempre disponibilizar dispositivos mais modernos, que prestam serviço de maior qualidade e que são comparativamente mais eficientes. Tal hipótese é lastreada, por exemplo, nas ações realizadas pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e por arcabouço provido, por exemplo, pela lei nº 10.295/2001, conhecida como “Lei de

⁵¹ De fato, aqui se adota o entendimento de que a substituição por energia solar apenas desloca o atendimento para outra fonte de energia, ou seja, não representa necessariamente eficiência energética, conforme apresentado no capítulo de demanda de energia.

Eficiência Energética”. Com base nessa premissa, espera-se que a eficiência média do estoque de equipamentos em poder das famílias apresente aumento progressivo seja devido à reposição de cada equipamento ao final da sua vida útil, seja devido ao crescimento do estoque devido tanto à expansão de novos domicílios totais quanto progressivamente seja devido à reposição do equipamento ao final de sua vida útil, seja devido à expansão do estoque, associado ao movimento de equipar os novos domicílios.

A estimativa de evolução de equipamentos eletrodomésticos em um horizonte tão longo depara-se com o desafio inerente de mudança tecnológica contínua e imprevisível. Para ilustrar essa questão, basta lembrar exemplos, como o telefone celular que não só se tornou disponível de forma abrangente, como também tem mostrado evolução tecnológica bastante acelerada no médio prazo. Para tratar essas incertezas, o estudo utilizou-se do agrupamento de equipamentos em tipologias de serviço energético provido aos consumidores residenciais. Nesse sentido, foram adotadas as seguintes tipologias para equipamentos consumidores de eletricidade:

- Entretenimento - compreende serviços energéticos relacionados a entretenimento, setor que tende a expandir fortemente no horizonte de estudo, tendo em vista as atuais rápidas mudanças nos paradigmas deste ramo como, por exemplo: televisão, DVD, aparelhos de som, “*home theater*”, videogame, “*laptop*”, “*tablet*”, “*smartphone*” e qualquer eletroeletrônico que irá surgir neste horizonte com a finalidade de tornar o virtual cada vez mais real e com o interesse de aumentar a inserção das pessoas neste meio.
- Cocção - compreende serviços energéticos relacionados à forma de preparo de algum alimento ou bebida, como por exemplo: microondas, forno e fogão elétricos, cafeteira, “*grill*”, e qualquer eletroeletrônico que irá surgir neste horizonte com esta finalidade.
- Climatização - compreende serviços energéticos relacionados à manutenção/estabelecimento de condições adequadas de conforto térmico. Por exemplo, o conjunto de equipamentos tais como ar condicionado e ventiladores, inserem-se nessa tipologia de serviço, dentre outros eletroeletrônicos que poderão surgir neste horizonte com esta mesma finalidade.
- Aquecimento de água - compreende serviços energéticos relacionados ao estabelecimento de condições adequadas de temperatura para banho, como, por exemplo, chuveiros elétricos e “*boilers*” e qualquer eletroeletrônico que por ventura surja neste horizonte com a mesma finalidade.

- Refrigeração - compreende serviços energéticos relacionados à geladeira e freezer e qualquer eletroeletrônico que poderá surgir neste horizonte com esta finalidade.
- Iluminação - compreende serviços energéticos relacionados a lâmpadas e qualquer eletroeletrônico que poderá surgir neste horizonte com esta mesma finalidade.
- Outros serviços do lar - compreende serviços energéticos relacionados à máquina de lavar roupas, ferro de passar roupa, liquidificador, aspirador de pó, máquina de lavar louças, impressoras, scanners, telefone sem fio, e quaisquer eletroeletrônicos que poderão surgir neste horizonte com esta finalidade.

Nesse sentido, considerou-se que a eficiência dos novos equipamentos adquiridos pelas famílias crescerá conforme o apontado na Tabela 26.

Tabela 26- Aumento anual estimado de eficiência da tipologia de serviços energéticos aos consumidores residenciais.

Equipamento	Aumento anual de eficiência (%)	Fundamentação específica	Fundamentação geral
Climatização	0,90%	Aumento significativo de posse e uso, com redução da potência média por classe de consumo.	Tendência de aquisição de equipamentos com maior potência* Reposição tecnológica natural do estoque e ações dos fabricantes com melhorias de eficiência impulsionadas principalmente pelo PBE, PROCEL e Lei 10.295.
Entretenimento	1,10%	Aumento da posse e uso.	
Cocção	0,01%	Aumento da potência média devido à introdução de fogões elétricos, aumento da posse e do uso.	
Aquecimento de água	0,15%	Queda no número de habitantes por domicílio.	
Refrigeração	0,08%	Queda no número de freezers e aumento significativo da posse de geladeiras do tipo “duplex” e “side by side”.	
Iluminação	0,16%	Substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes e LEDs, aumento do número médio de lâmpadas por domicílio.	
Outros serviços do lar	0,30%	Aumento significativo de posse e uso.	

*Exceto lâmpadas e condicionadores de ar

Fonte: Elaboração EPE

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

Admitiu-se que o equipamento de referência, dado o horizonte de estudo e o aumento de renda previsto, mudaria ao longo do tempo, sendo assim, admitiu-se que as famílias tenderiam a adquirir equipamentos com maior potência elétrica, considerando a busca por maior conforto, que demandariam, conseqüentemente, mais energia elétrica.

Para o cálculo do consumo específico por equipamento existente no ano de 2005, tomaram-se como referência inicial os valores determinados a partir de informações contidas na “Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso” do PROCEL (ELETROBRAS, 2007), nas tabelas de eficiência do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO (INMETRO, 2013), além de dados de potência, tempo de uso e consumo mensal por faixa de consumo, disponibilizados pelas concessionárias de energia elétrica.

A Tabela 27 mostra os ganhos estimados de eficiência energética por tipologia de serviço energético provido aos consumidores residenciais no período de estudo.

Tabela 27- Ganho de eficiência estimado no setor residencial brasileiro (ano base 2013)

Serviço energético	2020	2030	2040	2050
Climatização	6,5%	15,7%	25,0%	34,3%
Entretenimento	7,5%	18,2%	28,8%	39,5%
Cocção	0,1%	0,2%	0,4%	0,5%
Aquecimento de água	1,1%	2,6%	4,1%	5,7%
Refrigeração	0,6%	1,4%	2,2%	3,0%
Outros serviços do lar	2,1%	5,1%	8,2%	11,2%
Iluminação	1,1%	2,7%	4,3%	5,8%

Notas: (1) Ganhos de eficiência computados a partir do ano base de 2013 e expressos como percentual de redução do consumo em cada ano.

(2) Os valores apresentados levam em conta o aumento da qualidade do serviço prestado nos segmentos.

Fonte: Elaboração EPE

Cabe destacar que os ganhos de eficiência energética, acima apresentados, consideram a premissa básica de que a evolução do consumo energético associado ao provimento de um dado serviço energético orienta-se para o contínuo crescimento da qualidade deste serviço a ritmos maiores do que o aumento da potência de equipamento médio para gerar tal serviço. Exemplificando, se atualmente uma casa possui uma geladeira de uma porta, o aumento da qualidade do serviço prestado está associado a utilizar equipamentos de maior potência (tipo geladeira “duplex”), a premissa básica assume que no futuro esse mesmo aparelho “duplex” é capaz de fornecer o serviço energético com consumo médio cada vez menor comparado aos dias atuais.

No entanto, o movimento esperado para o longo prazo com melhoria de renda e evolução tecnológica é uma tendência de troca de equipamentos mais simples por equipamentos mais complexos e com melhor serviço energético, porém, num país com demanda reprimida onde tantas pessoas ainda têm carência em relação à posse de equipamentos eletrodomésticos, fato que pode ser observado em qualquer comparação de consumo de

energia elétrica por domicílio feito com países desenvolvidos, conforme Figura 149, seria incorreto configurar este tipo de migração entre equipamentos, por aumento de potência conforme Figura 150, como ineficiência energética.

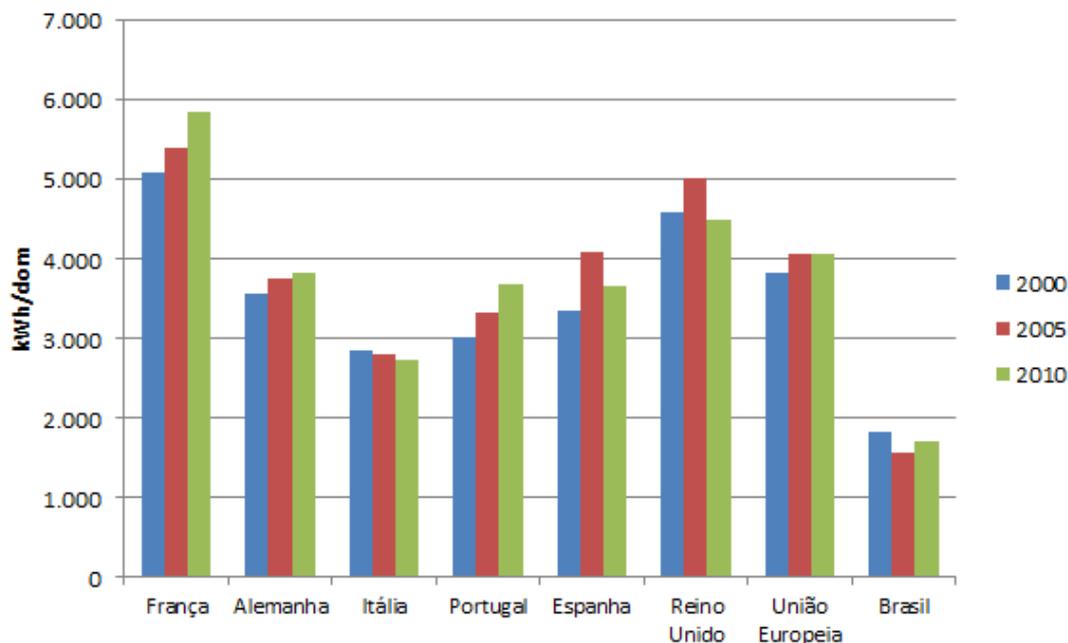


Figura 149- Consumo específico por domicílio - comparação entre países
Fonte: ODYSSEE (2013)

Com o intuito de equalizar comparações deste tipo, criou-se um indicador qualitativo para mensurar o impacto destas mudanças de perfil socioeconômico, separadamente dos efeitos dos programas de eficiência energética, dando a expectativa de evolução da qualidade valores esperados de desenvolvimento. Se por um lado essa metodologia reduz o efeito na eficiência energética da troca de geladeiras ou televisores por outros mais potentes, reduz também o efeito da troca de lâmpadas por outras de menor consumo, dado a baixa variação na qualidade do serviço prestado.

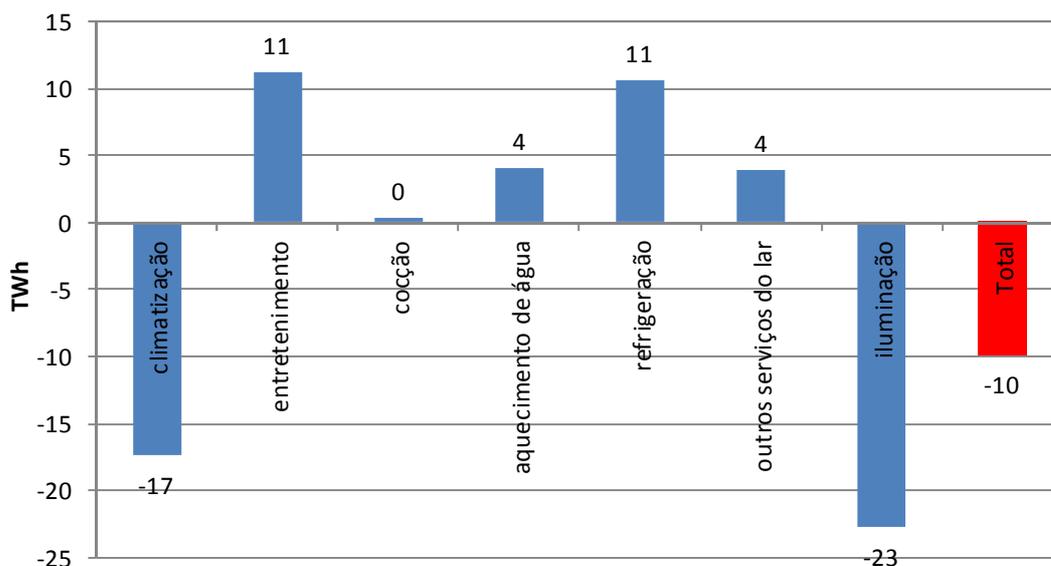


Figura 150- Desagregação do efeito potência no consumo total por serviço 2013-2050
 Fonte: Elaboração EPE

A Figura 150 mostra que avaliando o efeito potência da iluminação e da climatização, teríamos um movimento de redução, pois equipamentos iguais tendem a consumir menos. Exemplificando, um ar condicionado de 7.000 BTUs hoje consumirá menos do que seu equipamento equivalente em 2050, no entanto, como veremos posteriormente ao analisar o efeito líquido na Figura 151, esse fator adicionado aos demais como hábitos de uso e posse, faz com que a climatização, por exemplo, tenha impactos positivos significativos no aumento de energia esperado para 2050.

Isso se deve basicamente ao fato de que a distribuição de domicílios por faixa irá modificar drasticamente, ou seja, quem não possui ar condicionado hoje, passará a possuí-lo em 2050, além do padrão de entrada dos novos domicílios previstos ser diferente do padrão médio existente. Isso, somado ao mesmo movimento em outros equipamentos, fará com que consumidores das faixas de baixa renda (entre 0-30, 30-100, 100-200 kWh/mês) tendam a migrar para faixas de consumo cada vez maiores.

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

outras com consumo específico menor, diminuindo assim seu consumo específico médio. Mas, na contramão desta tendência, vem o aumento significativo do número médio de lâmpadas por domicílio e o seu menor uso unitário.

Tabela 28- Cronograma de níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes - 127 V, para fabricação e importação no Brasil.

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

Fonte: MME (2010)

Tabela 29- Cronograma de níveis mínimos de eficiência energética para lâmpadas fluorescentes compactas - 220 V, para fabricação e importação no Brasil

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

Fonte: MME (2010)

As datas limites para comercialização no Brasil por parte de fabricantes e importadores das lâmpadas incandescentes serão de seis meses, a contar das datas limites estabelecidas na Tabela 28 e na Tabela 29. As datas limites para comercialização por atacadistas e varejistas no país das Lâmpadas Incandescentes serão de um ano, a contar das datas estabelecidas das mesmas tabelas (MME, 2010).

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

Do total de energia economizada no horizonte, projetamos que 6,4 TWh serão retirados pelo mecanismo regulatório de banimento das lâmpadas incandescentes existente no curto prazo, resultando num efeito de longo prazo de aumento significativo do número médio de lâmpadas por domicílios, passando de uma média de 8 lâmpadas para uma média de 12 em 2050 e considerando que as lâmpadas fluorescentes também serão significativamente substituídas por lâmpadas LED no horizonte de análise sem grandes ganhos de qualidade no serviço energético prestado.

Todavia, em uma visão prospectiva, a crescente importância que tendem a assumir os demais eletrodomésticos no uso da energia residencial já mencionada anteriormente, autoriza admitir que a proporção dos demais equipamentos no consumo de eletricidade em uma residência brasileira, que em 2013 se estimou em 24,5%, tenda a aumentar⁵².

Juntos, equipamentos como televisão, máquina de lavar roupas, lâmpadas, geladeiras, freezers, ar condicionado e chuveiro elétrico foram responsáveis por aproximadamente 76% da demanda total de energia elétrica do setor residencial em 2013. Apesar da tendência de aumento na posse de tais equipamentos, acreditamos que, no futuro, outros equipamentos pertencentes às categorias dos serviços energéticos mencionados ou não, irão aumentar sua participação no consumo total de eletricidade para algo em torno de 50%.

Como referência considere-se que já em 2009 a categoria “demais equipamentos” representava 55% do consumo de energia elétrica dos domicílios norte-americanos (EIA, 2012).

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

⁵² Para se ter uma ideia do potencial de elevação do consumo de energia elétrica em decorrência do aumento da posse e do uso de outros equipamentos, considere que, de acordo com a pesquisa do PROCEL/ELETOBRAS (2007) em cada 100 domicílios, não há mais do que 74 aparelhos de som, 50 ventiladores de teto, 32 aparelhos de vídeo-cassete, 25 aparelhos de DVD, 23 computadores pessoais (PC), 14 impressoras, e 9 aparelhos de “vídeo-games”.

Assim, a Tabela 30 apresenta o consumo residencial de energia elétrica no período estudado por serviço energético.

Tabela 30- Consumo de energia elétrica por serviço energético no setor residencial

Equipamento (GWh)	2020	2030	2040	2050
Climatização	42.427	67.568	96.189	123.302
Entretenimento	28.929	48.024	70.581	92.792
Cocção	1.840	3.003	4.357	5.672
Aquecimento de água	21.288	24.627	24.538	20.455
Refrigeração	38.561	50.408	59.279	62.939
Outros serviços do lar	14.111	20.714	27.493	33.156
Iluminação	17.754	18.589	15.477	8.354
Total	164.910	232.934	297.914	346.670

Fonte: Elaboração EPE.

Logo, a diferença do consumo residencial entre 2013 e 2050 pode ser explicada pelos seguintes movimentos desagregados por serviço energético, apresentados na Figura 151, elevados principalmente pelo aumento do número de domicílios e pela posse de equipamentos, pressupondo o atendimento a demanda reprimida, conforme a figura 150, apresentada no início desta seção.

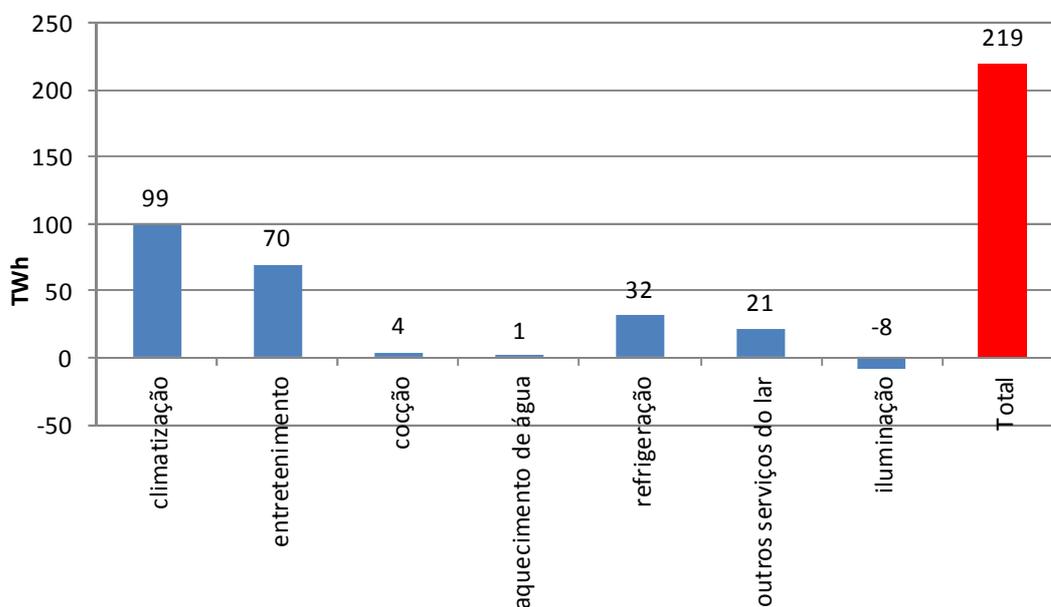


Figura 151- Setor residencial: Efeito líquido no consumo total por uso (2013-2050)

Fonte: Elaboração EPE

Na Tabela 31 são apresentados os resultados obtidos para o setor residencial. As projeções do consumo de eletricidade indicam um crescimento de 3% ao ano no período. A energia elétrica conservada foi calculada em 19,4% do consumo projetado para o horizonte, reduzindo o consumo final em aproximadamente 85 TWh.

Tabela 31- Setor residencial: consumo de eletricidade e eficiência energética

Consumo (GWh)	2020	2030	2040	2050
Consumo sem conservação	177.005	269.608	356.260	438.567
Energia conservada	13.589	31.361	54.268	85.185
Energia conservada [%]	7,7	11,6	15,2	19,4
Consumo com conservação	163.415	238.247	301.992	353.382

Nota: Considera domicílios urbanos e rurais.

Fonte: Elaboração EPE

4.2.3 Setor industrial⁵³: eficiência energética

4.2.3.1 Parâmetros básicos

Conforme dados do BEN o consumo de energia no setor industrial brasileiro é bastante diversificado, como apresentado na Tabela 32. A principal fonte de energia, eletricidade, representa cerca de 20% do consumo total de energia no uso final. São ainda relevantes, como fonte de energia para a indústria, o bagaço de cana, a lenha, o carvão mineral e os derivados de petróleo.

⁵³ Estimativas incluem o setor energético, classificação utilizada no Balanço Energético Nacional, onde se enquadra o consumo de energia devido ao segmento de produção de energia: exploração e produção de petróleo/gás natural, transporte de gás natural, refinarias de petróleo, destilarias, coquearias e carvoarias.

Tabela 32- Consumo final energético no setor industrial brasileiro em 2012

Fonte	Consumo (10 ³ tep)	%
Eletricidade	20.381	18%
Bagaço de cana	28.612	25%
Lenha e carvão vegetal	11.170	10%
Carvão mineral, coque de carvão mineral e gás de coqueria	13.268	12%
Gás natural e GLP	17.141	15%
Óleo combustível e óleo diesel	5.617	5%
Outras fontes primárias	6.868	6%
Outras fontes secundárias ¹	11.897	10%
Total	114.954	100%

Nota: ¹ Inclui querosene, outras secundárias de petróleo e alcatrão.

Fonte: Elaboração EPE

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

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

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

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

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

- i. Tomando como base referencial as informações das séries históricas do BEN (EPE, 2013) e o potencial de conservação de energia. Como procedimento geral, levaram-se em conta os ganhos energéticos apurados com base nas duas últimas edições do BEU (anos bases: 1994 e 2004), admitindo-se a manutenção da dinâmica histórica destes ganhos no horizonte deste trabalho (2013-2050).
- ii. Analisando-se a estrutura do consumo energético de cada segmento industrial, considerando os dados históricos, as tendências tecnológicas em curso e, quando relevante, cenários possíveis de substituição entre energéticos, tudo em conformidade com as hipóteses de trabalho adotadas, que foram:
 - a) Expansão de capacidade instalada formulada de acordo com o cenário macroeconômico adotado e a partir de consultas feitas a associações de classe, empresas de alguns dos setores em estudo e outros órgãos governamentais.
 - b) A oferta de gás natural provoca uma maior penetração dessa fonte no setor, o que torna o preço competitivo, aliado a uma alta gama de utilidades desse energético dentro dos processos, somando-se a isso uma menor emissão.
 - c) Aproveitamento do potencial de eficiência energética indicado na última versão do BEU.

Nessas condições, os consumos específicos e as intensidades energéticas resultantes deste estudo são apresentados na Figura 152 e na Figura 153.

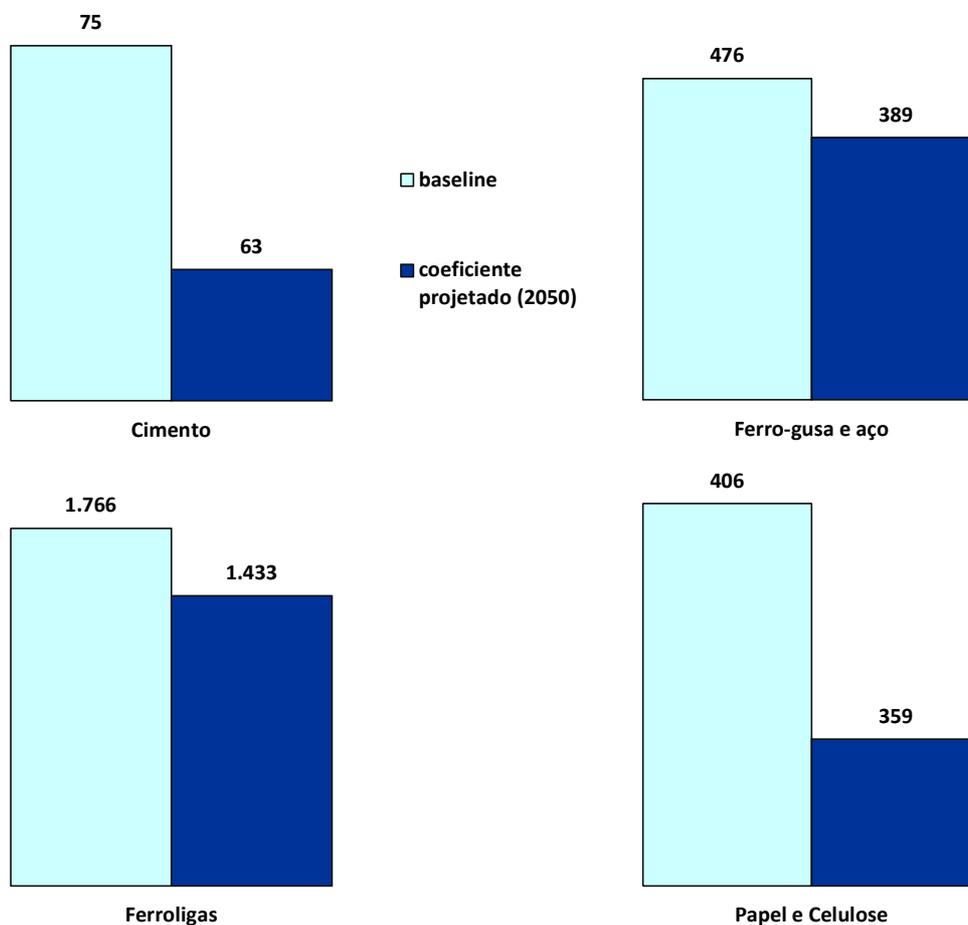


Figura 152- Consumo específico de energia em setores industriais selecionados (tep/10³t)
Fonte: Elaboração EPE

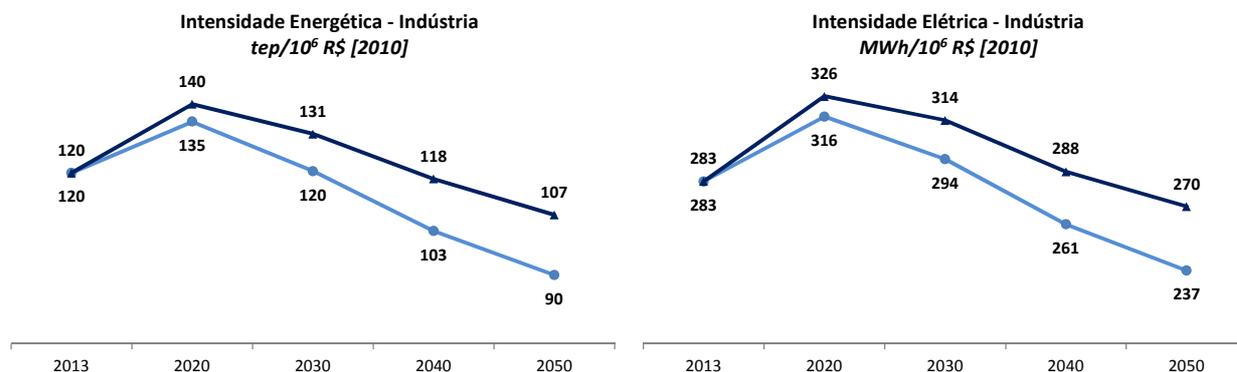


Figura 153- Intensidade elétrica e energética na indústria¹

Nota: Inclui o setor energético

Fonte: *Elaboração EPE*

4.2.3.2 Energia elétrica

As indústrias para as quais se avalia maior ganho de eficiência energética no uso da eletricidade se caracterizam por um consumo energético mais intensivo, a saber, siderurgia e ferro ligas. O consumo específico de eletricidade do segmento de ferro ligas, como um todo, diminui no decorrer do horizonte de longo prazo, dado que o cenário de expansão do setor contempla menor crescimento dos tipos de ligas mais eletro-intensivos, como é o caso do ferro-níquel.

Entre as eletro-intensivas, também merece destaque, apesar de proporcionalmente menor, o ganho de eficiência na indústria de não ferrosos, dominada, em termos da quantidade de energia consumida, pela produção do alumínio. A evolução do consumo específico de eletricidade na indústria pode ser vista na Tabela 33.

Tabela 33- Grandes consumidores industriais: consumo específico de eletricidade¹ (kWh por tonelada produzida)

Segmento	2013	2020	2030	2040	2050	2013-2050 (% ao ano)
Alumínio Primário	14.826	15.258	13.326	13.020	12.907	-0,37%
Alumina	299	287	268	259	255	-0,42%
Bauxita	13	13	12	12	12	-0,24%
Aço Bruto	507	484	443	446	449	-0,33%
Pelotização	49	48	47	46	45	-0,20%
Soda-Cloro	2.727	2.709	2.657	2.623	2.597	-0,13%
Petroquímica (eteno)	1.573	1.531	1.486	1.486	1.467	-0,19%
Celulose	980	944	902	884	878	-0,30%
PAR	2.189	2.147	2.060	2.024	2.009	-0,23%
Papel	791	791	791	791	791	0,00%
Ferroligas	8.471	8.834	9.180	9.192	9.202	0,22%
Cobre	1.545	1.485	1.427	1.404	1.394	-0,28%
Cimento	112	108	101	97	93	-0,50%

Fonte: Elaboração EPE

Avalia-se que a indústria como um todo obtenha, no final do horizonte, em 2050, ganhos em eficiência elétrica, que podem atingir 115 TWh, o que equivale, a 7% do total do consumo de energia elétrica projetado para o ano de 2050.

Em termos de geração evitada, essa economia de energia da indústria equivale, aproximadamente, à energia produzida por uma usina termelétrica a gás natural com 19 GW, potência superior a 19 UTE's de Santa Cruz, localizada no município do Rio de Janeiro. Equivale, ainda, a mais do que a geração anual de uma usina hidrelétrica com cerca de 27 GW, que representa cerca de 4 (quatro) vezes a potência da usina de Itaipu parte Brasileira (localizada no município de Foz do Iguaçu, no Paraná) e a 43% da energia consumida do país em 2014.

4.2.3.3 Combustíveis

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

Avalia-se que a indústria como um todo possa obter, no final do horizonte, em 2050, ganhos em eficiência energética no uso de combustíveis que podem atingir 38,5 milhões de

tep, o que equivale a 19% do total do consumo industrial de combustíveis projetado para o ano de 2050.

Essa economia de energia corresponde aproximadamente a 770 mil barris equivalentes de petróleo por dia, ou seja, cerca de 33% da produção diária brasileira de petróleo em 2014.

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

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

4.2.3.4 Resultados globais de eficiência energética no setor industrial⁵⁴

O consumo energético total da indústria considera a participação de todas as fontes energéticas, inclusive eletricidade, utilizadas especialmente para aquecimento direto e calor de processo, esses dois usos finais representam cerca de 78% do consumo desse setor. Para a demanda de eletricidade, projeta-se uma conservação de 15,3% prevista para 2050, equivalente a aproximadamente 115 TWh, como apresentada na Tabela 134. Esse montante conservado em 2050 equivale ao consumo de eletricidade dos setores comercial, cerâmica e ferro-gusa e aço somados (115 TWh) ou a 55% do setor industrial, no ano de 2014, dados do BEN (EPE, 2015).

⁵⁴ Inclui o setor energético.

Tabela 34- Setor industrial: consumo de eletricidade e eficiência energética

Consumo (GWh)	2020	2030	2040	2050
Consumo sem conservação	304.790	469.913	604.084	749.912
Energia conservada	16.330	40.199	72.098	114.841
Energia conservada [%]	5,4%	8,6%	11,9%	15,3%
Consumo com conservação	288.460	429.714	531.986	635.071
Intensidade elétrica (kWh/10 ³ R\$ ₂₀₁₀)				
Sem conservação	321,2	326,7	293,5	280,8
Com conservação	303,9	298,7	258,5	237,8

Nota: 1- em relação ao ano de 2013.

Fonte: Elaboração EPE

A Tabela 35 mostra a projeção do consumo total de energia, que considera a eletricidade e os combustíveis, a conservação prevista para 2050 é de 19%, equivalente a aproximadamente 60 milhões de tep.

Tabela 35- Setor industrial: consumo de energia e eficiência energética

Consumo (10 ³ tep)	2020	2030	2040	2050
Consumo sem conservação	141.719	201.833	259.048	304.937
Energia conservada	5.911	18.104	33.307	48.380
Energia conservada [%]	4,2%	9,0%	12,9%	15,9%
Consumo com conservação	135.808	183.729	225.740	256.557
Intensidade elétrica (tep/10 ⁶ R\$ ₂₀₁₀)				
Sem conservação	149,3	140,3	125,9	114,2
Com conservação	143,1	127,7	109,7	96,1

Nota: 1- em relação ao ano de 2013.

Fonte: Elaboração EPE

4.2.4 Setor de transportes: eficiência energética

Assim como nos demais setores de consumo final, a estimativa dos ganhos de eficiência energética no setor de transportes está sujeita a um elevado grau de incerteza, inerente em um horizonte de tempo tão longo. Contudo, neste setor em particular, há de se

destacar o pronunciado impacto que determinadas variáveis podem exercer sobre o resultado final.

O aumento da eficiência no setor de transportes está normalmente associado a avanços da tecnologia dos motores. Porém, o ganho de eficiência também deriva, por exemplo, da introdução de veículos híbridos, elétricos ou a célula combustível, do uso de novos materiais e nanotecnologia que deixem os veículos mais leves, bem como melhoras da eletrônica embarcada e da conectividade dos veículos, proporcionando mais informações ao condutor e repercutindo em maior economia de tempo e de recursos, além da melhoria na segurança de trânsito e de qualidade ambiental (CNI, 2012).

As políticas de mobilidade urbana são outro fator importante. Seu impacto é muito dependente da dinâmica de adoção dessas políticas, sendo influenciado pela granularidade das ações e pelo tempo de sua implementação. Além disso, o tipo de decisão tomado em uma cidade pode não se replicável em outras cidades, por diferenças demográficas, geográficas ou mesmo sociais. Um elemento fundamental desse contexto que não se pode deixar de mencionar é o papel que o padrão de urbanização desempenha como elemento viabilizador ou mesmo de restrição para a adoção de determinadas políticas de mobilidade urbana.

O uso de tecnologia também apresenta impacto crescente na evolução da distância viajada por passageiro. De acordo com estudo realizado pela *National Geographic* sobre cidades inteligentes, os principais aplicativos para computador e smartphone atualmente disponíveis são pensados para melhorar a mobilidade nas ruas. Em geral, eles têm como base a plataforma do *Google Maps* e ajudam a planejar deslocamentos com o uso de carro ou transporte público, localizam ciclovias, além de traçarem rotas mais curtas para caminhar ao destino desejado (*National Geographic*, 2013).

Outra importante contribuição para a redução das necessidades de deslocamento de pessoas é o trabalho em horário flexível ou teletrabalho. Tais práticas evitam os tradicionais congestionamentos na hora do “rush” e evitam deslocamentos desnecessários através de práticas tais como o uso de trabalho remoto, compartilhamento de tarefas e possibilidades de atuação em meio período. De acordo com Pesquisa do *Institute of Leadership & Management*, 94% das organizações do Reino Unido adotam algum tipo de trabalho flexível (ILM, 2013). O aumento da eficiência no setor de transporte também deve considerar a eficiência sistêmica e a eficiência das viagens. A eficiência sistêmica inclui a organização do uso do solo, atividades econômicas e sociais de tal maneira que as necessidades de deslocamento e consumo de combustíveis fósseis sejam reduzidas. O planejamento do uso do solo, com áreas residenciais e áreas com concentração de empregos podem evitar a geração de tráfego e a redução das distâncias deslocadas (GIZ, 2012).

A evolução da eficiência sistêmica nas próximas décadas trará contribuições para a redução do consumo de combustíveis no setor de transportes, além de outros benefícios associados à redução das atividades de passageiros. No entanto, a magnitude de tais contribuições é de difícil estimativa, dado que envolve, além da penetração de tecnologias diversas, mudanças culturais, organizacionais, de hábitos e costumes. Já a eficiência das viagens inclui o uso de meios de transporte que reduzam o consumo de energia por viagem, tais como o transporte coletivo e o transporte não motorizado, como o uso da bicicleta (GIZ, 2012).

Os avanços na eficiência sistêmica do transporte de passageiros são um desafio que deverá ser abordado em iniciativas legislativas e fiscais por autoridades locais e nacionais com intuito de impulsionar mudanças tecnológicas na fabricação de veículos, estabelecer padrões, conscientizar e criar incentivos para os consumidores.

Tendo em vista essas incertezas, as estimativas de ganhos de eficiência energética neste setor são apresentadas a seguir.

Modal Rodoviário

No cenário do PNE 2050, estima-se que os caminhões permaneçam com motorização predominantemente a diesel, considerando determinado grau de dificuldade para uma mudança tecnológica que atenda ao seu perfil de uso predominante, ou seja, transporte de cargas elevadas a grandes distâncias. Para fins deste estudo, considerou-se um incremento 1,0% ao ano no rendimento médio dos veículos novos⁵⁵.

No que tange ao modal rodoviário de passageiros, na categoria de veículos leves também se admitiu um crescimento de 1% ao ano na eficiência média dos veículos novos que entram em circulação no país. Ademais, haverá ganhos significativos de eficiência dada a

⁵⁵ De acordo com estudos da Agência internacional de Energia (*Energy Technology Perspectives: Technology Roadmap* - IEA, 2012), o potencial de incremento da eficiência para veículos pesados é de até 1,5% no horizonte 2010- 2030. Este cenário adotado pela Agência, contudo, retrata a necessidade de avanços tecnológicos para obtenção de uma meta de mudança de dois graus Celsius na temperatura da Terra, o que pode não ocorrer. Além disso, foram considerados os seguintes dados de um estudo da Volvo (Volvo, 2009. *A Volvo Trucks e o Meio Ambiente*. 13/07/2009. <http://www.volvotrucks.com>): i) Nos últimos 30 anos, o consumo de combustível dos novos caminhões, em condições de teste, caiu em aproximadamente 40%, graças principalmente ao desenvolvimento de motores e transmissões mais eficientes; ii) A taxa média anual de variação do rendimento energético dos caminhões novos da Volvo foi de aproximadamente -1,53% a.a., entre 1975 e 2005; e iii) A taxa média anual esperada de variação do rendimento energético dos caminhões novos da Volvo é de -0,98% ao ano entre 2005 e 2020. Por fim, a média de ganho de eficiência considerada neste estudo também é compatível com a evolução internacional - vide, por exemplo, ORNL (2010 - *Transportation Energy Data Book*. Edition 29, Oak Ridge National Laboratory, National Transportation Research Center, US DOE).

ruptura tecnológica a partir de meados da década de 2030 que propiciará uma mudança no perfil de licenciamento, resultando em uma participação na frota nacional, em 2050, superior a 50% de híbridos e elétricos.

Para o transporte rodoviário coletivo de passageiros, a introdução de ônibus híbridos e elétricos ocorre na mesma proporção da entrada de automóveis com essa tecnologia. Além disso, considerou-se a mesma taxa de avanço na eficiência de motores utilizada nos motores de caminhões, ou seja, 1% ao ano.

Modais Aeroviário e Aquaviário

O potencial de ganhos de eficiência energética em aeronaves por inovações em tecnologia de turbinas, aperfeiçoamentos aerodinâmicos e reduções de peso é estimado em 1 a 2,2% ao ano na literatura especializada (IEA, 2012). No entanto, como os voos regionais deverão aumentar no Brasil, optou-se por uma abordagem conservadora no ganho de eficiência das aeronaves, pois voos regionais são mais curtos e realizados com aeronaves menores (ou com menor fator de ocupação), o que piora a eficiência energética média da frota de aeronaves. Além disso, no curto/médio prazo, as dificuldades de gerenciamento do espaço aéreo e dos aeroportos poderão reduzir o ganho de eficiência energética na aviação (tempos de espera para pouso e decolagem consomem combustível, mas não geram o serviço energético principal, qual seja, o deslocamento). Assim, é considerado um incremento de aproximadamente 1% ao ano na eficiência energética.

Para o transporte aquaviário de cargas, tanto de cabotagem quanto de navegação interior, e para o transporte aquaviário de passageiros⁵⁶, são considerados apenas ganhos incrementais, que podem envolver melhorias na modelagem geométrica dos cascos, nos motores e nos combustíveis utilizados. Dessa forma é considerado um ganho de eficiência em torno de 1% ao ano.

Modal Ferroviário

A demanda energética do modal ferroviário, assim como no aquaviário, é estabelecida a partir das projeções de atividade e de intensidade energética, conforme descrito na seção 3.3.3. Considera-se que o transporte ferroviário de cargas continuará utilizando exclusivamente óleo diesel⁵⁷ e terá ganhos de eficiência em torno de 1% ao ano⁵⁸.

⁵⁶ Pela falta de estudos e informações mais detalhados a respeito dos ganhos de eficiência esperados para os modais ferroviário e aquaviário de passageiros, foram adotadas taxas de ganho de eficiência similares às utilizadas em outros modais.

⁵⁷ Considera-se que o consumo histórico de diesel do modal ferroviário foi utilizado apenas no transporte de cargas e o consumo de eletricidade ocorre apenas no transporte de passageiros. Para maiores detalhes consultar a Nota Técnica “Consolidação de Bases de Dados do Setor Transporte: 1970-2010” (EPE, 2012). Desta forma, a projeção do consumo de eletricidade do modal ferroviário continuará apenas no segmento de passageiros.

Setor de Transportes Total

Utilizando a metodologia explicitada nas seções acima, que considera um ganho de eficiência tecnológico específico e incremental para cada modo de transporte, os ganhos de eficiência para o setor podem ser estimados em 24% em 2050. Na Figura 154 pode-se observar o consumo total final projetado (167 milhões de tep em 2050) contra o consumo total projetado excluindo-se os ganhos de eficiência tecnológicos incrementais (220 milhões de tep em 2050).

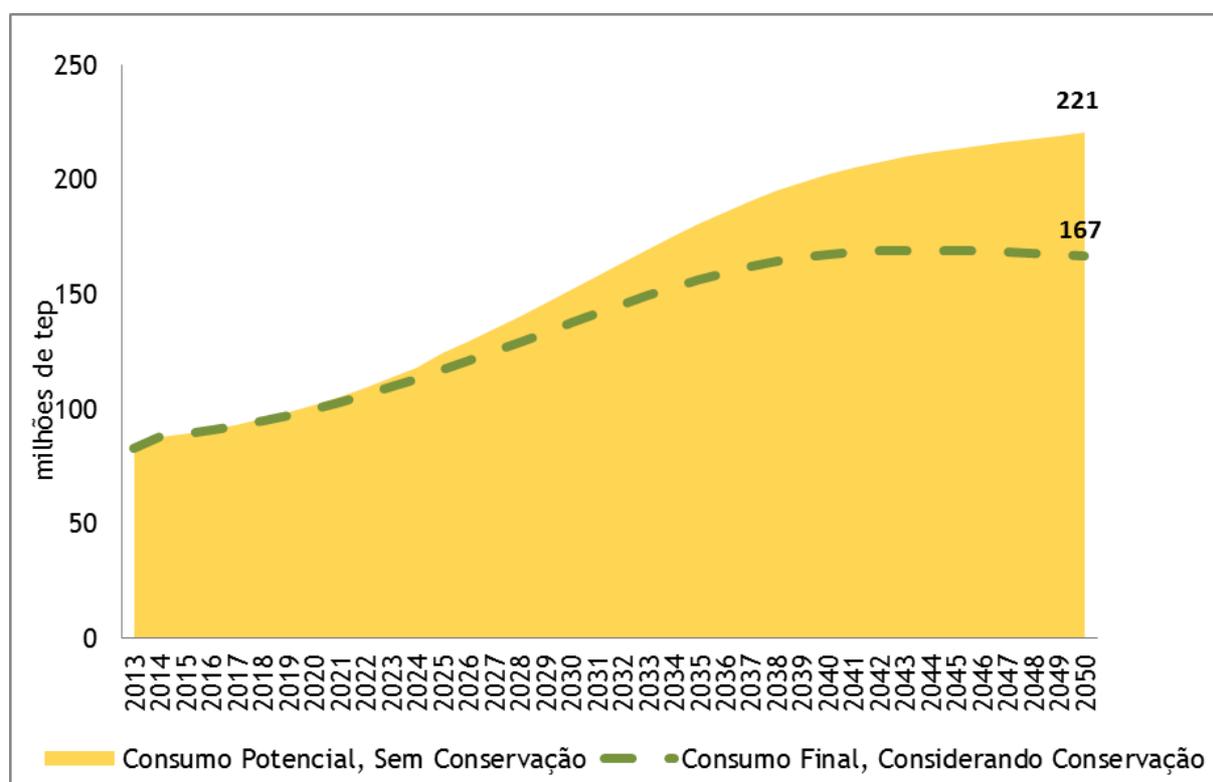


Figura 154- Projeção para o setor de transportes total (cargas e passageiros): Consumo final e o consumo potencial sem os ganhos de eficiência tecnológicos incrementais de cada modal (milhões de tep)

Fonte: Elaboração EPE

Observa-se que a energia economizada no setor de transportes totaliza 53 milhões de tep em 2050, conforme Tabela 36.

⁵⁸ Apesar da expectativa de melhorias operacionais do modal ferroviário, conforme citado anteriormente, foi adotado um ganho de eficiência (tep/t.km) mais conservador, próximo à taxa histórica da última década.

Tabela 36- Setor de transportes: consumo de energia e eficiência energética

Consumo (10 ³ tep)	2020	2030	2040	2050
Consumo sem conservação	101.769	151.994	202.371	220.651
Energia conservada ¹	1.787	14.533	34.750	53.649
Energia conservada, %	1,8	9,6	17,2	24,3
Consumo com conservação	99.982	137.461	167.620	167.003

Nota: 1- em relação ao ano de 2013.

Fonte: *Elaboração EPE*

Além dos ganhos tecnológicos incrementais de cada modal, considerados na tabela anterior, também se pode estimar o ganho de eficiência sistêmico do setor de transportes. Essa eficiência sistêmica inclui, entre outros, a mudança estrutural para modais mais eficientes e a penetração de veículos com tecnologias mais avançadas. Para estimar a demanda potencial sem os ganhos sistêmicos, calculamos qual seria a energia demandada caso a tecnologia de hoje não se alterasse, mantendo-se a mesma demanda futura por mobilidade e o mesmo perfil da matriz de transporte. Para tanto, utilizou-se a equação a seguir:

$$\text{Consumo sem conservação}_{\text{Ano } t} = \text{Atividade}_{\text{Ano } t} \times \text{Intensidade Energética}_{\text{Ano Base}}$$

Dessa forma, estimou-se a energia necessária para desempenhar a atividade de transporte de cada ano, mantendo a intensidade energética fixa no ano base. A energia conservada foi calculada por diferença entre o consumo sem conservação (286 milhões de tep em 2050) e o total com conservação (167 milhões de tep em 2050).

Os ganhos de eficiência assim calculados para o setor de transportes são estimados em 41% em 2050, como mostrado na Figura 155, superando 119 milhões de tep economizados, conforme Tabela 37.

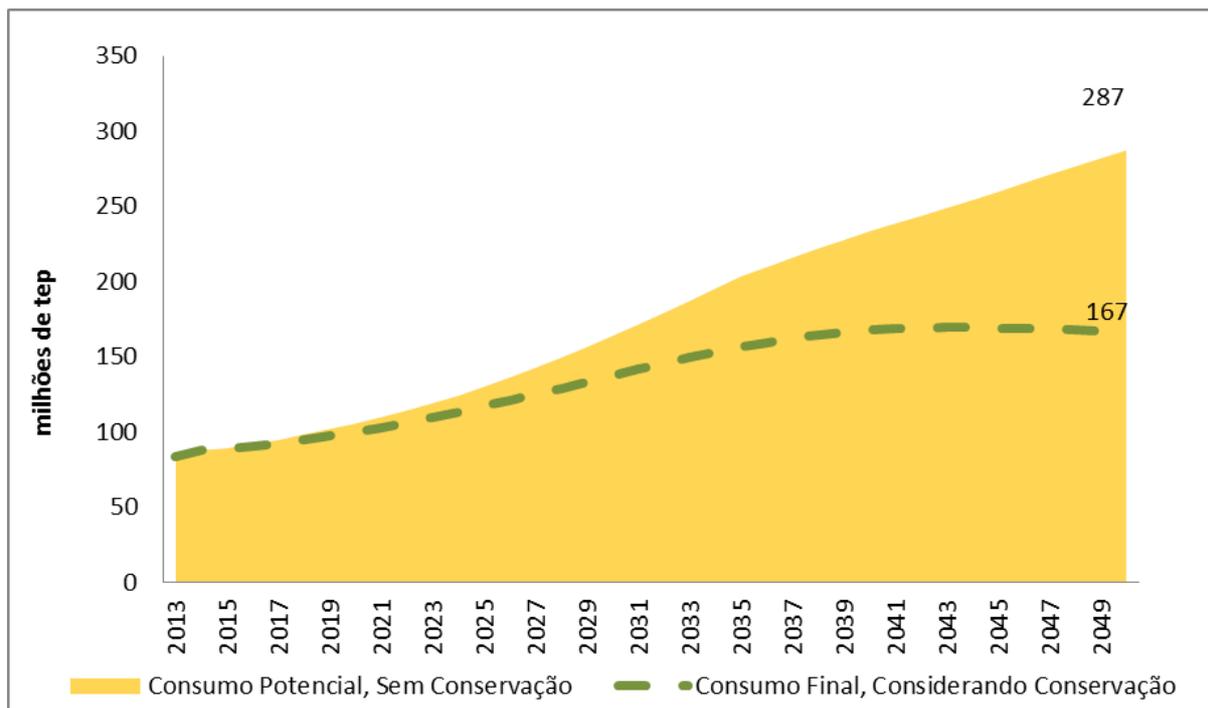


Figura 155- Projeção para o setor de transportes total (cargas e passageiros): Consumo final e o consumo potencial sem os ganhos de eficiência sistêmicos (milhões de tep)

Fonte: Elaboração EPE

Tabela 37- Setor de transportes: consumo de energia e eficiência energética sistêmica

Consumo (10 ³ tep)	2020	2030	2040	2050
Consumo sem conservação	105.457	163.805	233.353	287.232
Energia conservada ¹	5.475	26.345	65.733	120.229
Energia conservada, %	5,2	16,1	28,2	41,9
Consumo com conservação	99.982	137.461	167.620	167.003

Nota: 1- em relação ao ano de 2013.

Fonte: Elaboração EPE

4.2.5 Outros setores: eficiência energética

De acordo com o BEN 2014 (EPE, 2015), o consumo de energia no setor de serviços, que considera o comercial e o público, corresponde a 5% do consumo final energético do país, exclusive o setor energético. A fonte preponderante é a eletricidade, que concentra cerca de 90% da energia total consumida nesse setor, em seguida o GLP com 6%. A expansão do setor se dá com sustentação desta proporção em todo o horizonte, visto que o consumo relacionado à iluminação, refrigeração e força motriz, usos mais relevantes neste setor, é praticamente exclusivo desta fonte.

As projeções de demanda do setor de serviços no longo prazo foram obtidas utilizando o MIPE (Modelo Integrado de Planejamento Energético). A metodologia empregada compreendeu duas etapas sequenciais: obtenção da projeção da demanda de energia útil e o cálculo da demanda de energia final. Para as projeções, foi possível estimar a eletricidade conservada no setor serviços partindo dos ganhos energéticos apurados nas duas últimas edições do BEU (anos bases: 1994 e 2004) e admitindo-se a manutenção da dinâmica histórica destes ganhos no horizonte deste trabalho (2014-2050).

Segundo este procedimento de cálculo, estima-se em 18,6% a energia elétrica conservada neste setor no ano de 2050, o equivalente a uma redução de cerca de 114 TWh, e, para o montante da energia final conservada, que considera a parcela da eletricidade e combustível, estima-se uma redução de 18% no ano de 2050, que equivale a 9.900 mil tep.

No horizonte de longo prazo, estima-se ganho de participação do setor comercial no PIB brasileiro, o que, contribui para o crescimento da demanda de energia nesse setor, que ocorre à taxa média anual de 3,7% a.a. entre 2013-2050.

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

Tabela 38- Setor serviços (comercial e público): consumo de energia e eficiência energética

Discriminação	2020	2030	2040	2050
Consumo (10³ tep)				
Consumo sem conservação (mil tep)	15.706	25.683	38.711	55.871
Energia conservada (mil tep)	620	2.307	5.209	9.934
Energia conservada (%)	3,9	9	13	18
Consumo com conservação (mil tep) conservação	15.086	23.376	33.502	45.937
Intensidade energética (tep/R\$ milhões de 2010)				
Sem conservação	6,1	6,4	6,7	7,1
Com conservação	5,9	5,8	5,8	5,8

Nota: 1- em relação ao ano de 2013

Fonte: Elaboração EPE

Podem-se citar como possíveis mecanismos de ganhos de eficiência energética nos setores público/comercial a etiquetagem de edifícios públicos federais⁵⁹ e instalação de iluminação pública a LED⁶⁰, por exemplo.

⁵⁹ Conforme Instrução Normativa Nº 2, de 4 de Junho de 2014 (Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão), que torna obrigatória a etiquetagem de prédios públicos federais.

⁶⁰ Neste caso, considerando-se apenas cidades com população superior a 500 mil habitantes, cerca de 4,5 milhões de pontos de iluminação pública seriam elegíveis à substituição de lâmpadas a vapor de sódios para iluminação a LED (*Light Emitting Diode*), possibilitando reduzir o consumo em torno de 3,5 TWh/ano.

5 OFERTA DESCENTRALIZADA DE ENERGIA

5.1 Considerações iniciais

O atendimento da demanda de energia, a custos sócio, ambiental e economicamente viáveis, é o problema núcleo do planejamento energético e, historicamente, esse problema vem sendo resolvido através da expansão da oferta centralizada de energia. Isso é consequência principalmente das economias de escalas alcançadas com os grandes projetos.

Contudo, a questão da perda de capacidade de investimento do estado, das grandes quantidades de recursos necessários para os grandes projetos centralizados, da introdução do gerenciamento da demanda, da maior concentração populacional em grandes centros urbanos, das fontes renováveis de menores escalas e, a integração cada vez maior dos sistemas de energia aumenta a perspectiva de uma maior participação da oferta descentralizada de energia no atendimento da demanda.

Isso indica que o problema núcleo do planejamento energético, a definição da oferta viável para o atendimento da demanda, precisa da descrição de mais uma premissa: a Oferta Descentralizada de Energia⁶¹.

A questão da renovação e mudança de infraestrutura urbana também indica um maior grau de descentralização dos sistemas energéticos. Edificações cada vez mais integradas, seguindo conceitos dos ZEB (“*Zero Energy Buildings*”) ou NZEB (“*Net Zero Energy Buildings*”), indicam um alto grau de eficiência e grande penetração de tecnologias de geração distribuída. A penetração de outras tecnologias de mobilidade, como os veículos elétricos, também aumenta o grau de descentralização, introduzindo elementos de armazenamento no sistema de maneira distribuída.

Como consequência, a modernização das redes de energia elétrica é inevitável, a maior introdução de tecnologias de comunicação também será necessária e permitirá melhor gestão de recursos, em uma linha tendencial às redes inteligentes.

No que tange os sistemas dos outros energéticos, excluindo a eletricidade, a expansão das redes de gás, o aumento do rigor das legislações ambientais para mitigar impactos locais e globais, estruturam um cenário para um maior aproveitamento energético de resíduos orgânicos, principalmente gasosos.

⁶¹ Duas variáveis podem ser descritas nesse problema: a demanda de energia e a oferta de energia, com as respectivas caracterizações gerenciamento da demanda, e a oferta descentralizada de energia.

Neste cenário o biogás apresenta uma série de vantagens, pois é um energético flexível tanto no uso, podendo ser convertido em eletricidade, injetado na rede de gás após tratamento, ou usado como combustível, como na produção, podendo ser produzido a partir de resíduos rurais, urbanos e industriais. Essa característica sinaliza um grau de descentralização na produção e uso de combustíveis que introduz um fator de inovação no setor energético.

Por fim, o contexto de longo prazo dos sistemas energéticos cada vez mais sinaliza para uma maior integração de diferentes sistemas, sejam estes energéticos ou não, como a integração de redes de gás e redes de energia elétrica, redes de energia elétrica e comunicações, redes de utilidades⁶² e unidades geradoras. Essa integração necessariamente passa pela integração de elementos planejados, projetados e operados de maneira descentralizada, o que evidencia a importância da análise da Oferta Descentralizada de Energia no longo prazo.

5.2 Conceito da Oferta Descentralizada de Energia

O conceito clássico da Geração Distribuída de Energia é diretamente ligado à geração de energia elétrica e, em alguns casos, de energia térmica em esquemas de cogeração, como apresentado no item anterior. Essa abordagem é amplamente conhecida e aceita no setor energético. Todavia, existe ainda outra abordagem que é pouco difundida e que necessita de uma análise mais estruturada, é o conceito de Oferta Descentralizada de Energia.

O conceito da Oferta Descentralizada de Energia é próximo ao conceito de Geração Distribuída de Energia, porém não restrito somente a geração de eletricidade, incorporando a produção descentralizada de qualquer vetor energético. Esse conceito é aplicado principalmente a sistemas de bioenergia como na análise de Mangoyana e Smith (2011).

Assim, o conceito de Oferta Descentralizada de Energia utilizado no PNE será a união dos conceitos de Geração Distribuída de Energia e Produção Descentralizada de Combustíveis. Ou seja, Oferta Descentralizada de Energia é a produção de energia perto do ponto de consumo, com atendimento prioritário à demanda e com escalas relativamente reduzidas.

5.2.1 Geração Distribuída de Eletricidade

A Geração Distribuída pode ser classificada em diferentes aspectos, como localização e capacidade. Segundo Pepermans et al (2005), CIGRÉ⁶³ define geração distribuída como uma geração com capacidade máxima entre 50 e 100 MW, conectada à rede de distribuição e

⁶² Redes de vapor, frio, ar comprimido, entre outros.

⁶³ *Conseil International des Grande Réseaux Électriques.*

não planejada nem despachada de maneira centralizada; já IEEE⁶⁴ define como geração suficientemente menor que a geração centralizada de maneira que a conexão pode ser feita perto da carga.

Para o caso brasileiro, o PRODIST⁶⁵ define geração distribuída como centrais de qualquer potência conectadas à rede de distribuição, operando de forma isolada ou em paralelo e despachadas ou não de maneira centralizada. Já o decreto 5.163 de 2004 define como geradores, incentivados, conectados à rede de distribuição excluindo hidrelétricas com potência superior a 30 MW e termelétricas, cogeração incluída, com eficiência inferior a 75%. Nesta última são excluídos os resíduos e biomassa. Por último, a Resolução Normativa da ANEEL 482/2012, criou as figuras dos micro e minigeradores de energia elétrica, além do sistema de compensação de energia elétrica brasileiro.

Para este trabalho a definição considerada será a geração conectada na rede de distribuição até 30 MW de capacidade e localizada perto da carga. A classificação da escala da GD considerada será a seguinte:

- Micro GD - capacidade menor ou igual a 100 kW;
- Mini GD ou Pequena escala - capacidade superior a 100 kW e menor ou igual a 1MW;
- Média GD ou de Média escala - capacidade superior a 1 MW e menor ou igual a 5MW;
- Grande GD ou de Grande Escala - capacidade superior a 5 MW e menor ou igual a 30 MW.

Outra denominação dada à geração distribuída é a geração embutida, quando esta atende a carga local, no entanto ainda é mantida uma demanda em relação à rede pública, alterando assim, somente o perfil de demanda do consumidor, também conhecida como autoprodução.

Podem ser identificadas quatro principais tipologias de geradores distribuídos. A primeira tipologia segue a classificação da menor escala estabelecida, é a micro ou minigeração. Essa tipologia corresponde geradores de pequena escala que seguem uma lógica de decisão totalmente dispersa e dependente das realidades dos consumidores individuais. O segundo tipo é a autoprodução industrial, geração que segue a lógica de investimento industrial de grandes projetos. A Geração na Ponta é outra tipologia bastante difundida, onde o consumidor instala uma geração para retirar/reduzir o consumo e demanda de ponta, principalmente por conta dos elevados custos de atendimento neste horário. O último tipo é a Cogeração ou Multigeração, esquemas que além da geração de energia elétrica ainda há produção de utilidades.

⁶⁴ *Institute of Electrical and Electronic Engineers.*

⁶⁵ Procedimentos de Distribuição (ANEEL, 2013).

5.2.2 Produção Descentralizada de Combustíveis

A Produção Descentralizada de Combustíveis, diferente da geração distribuída de eletricidade, não apresenta conceito definido e aceito amplamente. Aqui a Produção Descentralizada de Combustíveis será definida como a produção de energéticos, perto de pontos ou centros de consumo e com escala relativamente reduzida quando comparada a produção centralizada.

O principal tipo de Produção Descentralizada de Energia é a Produção Descentralizada de Biocombustíveis ou a Produção de Pequena Escala de Biocombustíveis. Esse tipo de produção é consequência, essencialmente, da natureza da fonte de biomassa ser, na maioria das vezes, dispersa, possibilitando seu aproveitamento distribuído e em escalas reduzidas, em relação aos sistemas tradicionais centralizados.

Por este motivo, e para a realidade brasileira de grande produtor de biomassa, a conceituação da Produção Descentralizada de Combustíveis é algo que tende a se tornar relevante no longo prazo, com a difusão de diferentes tecnologias de produção de biocombustíveis em um cenário mais equilibrado ambientalmente e de integração de sistemas energéticos.

5.3 Geração Distribuída de Eletricidade

A introdução da Geração Distribuída no Planejamento Energético de longo prazo impõe-se como questão essencial. O contexto apresentado de renovação de infraestrutura urbana indica um ambiente favorável para a penetração da GD, principalmente de pequena e média escala. Todavia, a GD de grande escala tende a continuar importante com a expansão de parques industriais, com aumento da eficiência energética, dos custos e em necessidade ao atendimento de questões ambientais cada vez mais restritas.

As destacadas vantagens da integração da GD nos sistemas elétricos, a destacar aumento da confiabilidade, melhor gestão de alocação de recursos, aumento da eficiência energética sistêmica e aumento de renováveis na matriz, somente serão alcançadas se a GD for considerada no planejamento energético tanto nacional como local.

Vale destacar também que a inclusão da GD no planejamento energético dos diversos agentes envolvidos deve considerar as diferentes realidades de cada tipo de gerador. Além das diferenças óbvias entre tecnologias e fontes de energia primária, as diferenças de escalas de capacidade são fundamentais. A relação de escala de capacidade está diretamente ligada à lógica decisória de investimento, assim, as condições de contorno para a análise devem ser também diferenciadas entre pequenas e médias escalas, e grande escala.

As pequenas e médias escalas têm cenários mais definidos por questões de integração de sistemas urbanos, definição e estabelecimento de “*microgrids*”, evolução institucional e de formas de remuneração, enquanto as maiores escalas estão mais ligadas às lógicas do setor industrial como garantia do fornecimento e segurança energética, aumento da confiabilidade, aumento da eficiência energética e econômica dos empreendimentos.

Por estes motivos as análises a seguir expostas serão apresentadas pelas escalas de capacidades: pequena e média escala e grande escala.

5.3.1 Pequena e Média Escala

A Geração Distribuída de pequena e média escala, também considerada como geração dispersa, segue a lógica do investimento pulverizado em diversos agentes, com interesses específicos dependendo de cada realidade local. Por conta disso, as condições para que esse investimento aconteça de maneira difundida em larga escala, ou em outras palavras, para que haja a decisão pela GD por quantidade considerável de agentes, as condições de contorno são muito mais importantes que para a Geração Distribuída de grande porte ou para os investimentos centralizados.

Essas condições são o alicerce básico para que haja uma mudança de comportamento deste agente pulverizado em direção a maior aceitação da geração distribuída como investimento e passam, necessariamente, pela disponibilidade de fornecedores de serviços e equipamentos, como consequência do estabelecimento do mercado de serviços de energia. Já o estabelecimento do mercado de serviços de energia é consequência de situações institucionais que busquem ações de maior eficiência para os sistemas energéticos. O arcabouço institucional também deve estimular a renovação das infraestruturas dos sistemas elétricos e uma mudança no paradigma dos agentes distribuidores, para que os mesmos considerem a difusão da GD em seus planejamentos locais.

O acesso a financiamentos, programas de disseminação de informação, demonstração das melhores práticas e casos de sucessos, bem como a utilização da GD pelo setor público também fazem parte desse grupo de condições básicas.

Com isso, o cenário aqui considerado para a GD de pequena escala é de que as condições institucionais dos setores energéticos promoverão o ambiente necessário para que aconteça a renovação da infraestrutura, a mudança de paradigma dos agentes de distribuição e seja difundido o mercado de serviços de energia, estimulando esse investimento disperso.

5.3.1.1 Geração Distribuída Fotovoltaica

Até o final do século passado, a maioria da capacidade instalada fotovoltaica mundial foi instalada em sistemas isolados. No Brasil não foi diferente, onde se observou aplicações que visavam atender sistemas remotos viabilizados através de programas federais como o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) e posteriormente o LUZ PARA TODOS. No entanto, ao longo da última década, com a redução de custos e programas de incentivo, foi possibilitada a inserção em sistemas conectados à rede, de forma que em 2012 cerca de 99% da potência acumulada total correspondia a este tipo de aplicação. Destes, mais de 60% são de sistemas descentralizados (IEA PVPS, 2013).

A modularidade desta tecnologia a confere grande possibilidade de aplicação distribuída, principalmente na escala de micro geração para atendimento domiciliar e comercial, devendo ser a principal alternativa para o consumidor que deseje gerar sua própria energia, no horizonte de 2050. Dada a perspectiva do aumento desta modalidade de geração, faz-se necessário estimar sua contribuição ao atendimento da demanda nacional, sendo descrita na continuação a metodologia utilizada para tal e apresentados os resultados ao final.

5.3.1.1.1 Aspectos metodológicos

No caso da geração distribuída fotovoltaica de pequeno porte, a metodologia empregada busca estimar a penetração desta tecnologia na sociedade brasileira sob a ótica do consumidor final. Entende-se que a decisão pela adoção é formada por diversos fatores, como custos, conhecimento da tecnologia, conscientização ambiental, entre outros, sendo o primeiro deles o que desempenha papel principal. Desta forma, o modelo parte da avaliação do retorno financeiro dos sistemas fotovoltaicos ao longo da vida útil dos sistemas, juntamente ao mercado potencial de adotantes, seguindo uma curva padrão de adoção.

Este princípio metodológico foi empregado para todos os setores analisados: residencial, comercial, industrial e poder público, embora tenham sido utilizadas abordagens específicas para cada um de acordo com a disponibilidade de dados. No caso do setor residencial, em virtude da existência de projeções socioeconômicas e de demanda elétrica mais detalhadas para o ano de 2050, foi possível dar continuidade ao modelo (EPE, 2014e) empregado no Plano Decenal de Expansão de Energia 2022, enquanto que os demais setores foram modelados com dados mais agregados.

5.3.1.1.1.1 Viabilidade econômica

A aferição da viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica distribuída é realizada comparando-se, ano a ano, o custo nivelado da geração fotovoltaica e a tarifa final da distribuidora local de energia elétrica, assumindo-se como hipótese a manutenção do valor

da tarifa em termos reais ao longo do horizonte (EPE, 2012). O custo nivelado, por sua vez, considera parâmetros tais como: custo de investimento inicial, custos de operação e manutenção, e fatores de capacidade⁶⁶. Como premissa de redução de custos ao longo das próximas décadas, adotam-se como referência as projeções de redução percentual dos custos, segundo IEA (2012), sobre os custos de instalação no Brasil em 2013: R\$ 7,00/Wp para o setor residencial (Montenegro, 2013), R\$ 6,5/Wp para o setor comercial e poder público e R\$ 6,0/Wp para o setor industrial. A perspectiva ao longo das décadas é apresentada na Tabela 38.

Tabela 39- Perspectiva de redução de custos dos sistemas fotovoltaicos (R\$/Wp)

	2013	2020	2030	2040	2050
Residencial	7,0	4,4	3,2	2,7	2,3
Comercial	6,5	4,2	3,0	2,5	2,1
Industrial	6,0	3,4	2,7	2,3	2,0

Fonte: Elaboração EPE com base em IEA (2012).

Segundo as projeções de reduções de custos, estima-se que a geração fotovoltaica distribuída atinja a paridade tarifária em praticamente todo o território nacional, para os consumidores atendidos em baixa tensão, nos anos iniciais da década de 2020, enquanto que para consumidores atendidos em média tensão (grupo A4) a paridade tarifária deve se tornar realidade apenas ao final daquela década.

5.3.1.1.2 Premissas - Residências

Para caracterização do mercado potencial fotovoltaico residencial, utilizaram-se as projeções do número de domicílios ao longo do horizonte de longo prazo, segundo a Nota “Cenário Econômico 2050” e a evolução da demanda elétrica e da distribuição do consumo elétrico entre faixas de consumo, conforme o item 3.3.4.1 da presente nota técnica. Enquanto na projeção decenal foi identificado um nicho de mercado referente a unidades consumidoras com consumo superior a 500 kWh/mês, representando uma população de maior poder aquisitivo, no longo prazo trabalha-se com a premissa de os sistemas fotovoltaicos se tornarem mais acessíveis, através do próprio barateamento dos sistemas, assim como pela maior facilidade de financiamento e aparecimento de diferentes modelos de negócios (*leasing*⁶⁷, compras em grupo⁶⁸, compra de cotas de geração solar⁶⁹, dentre

⁶⁶ Mais detalhes sobre o cálculo e premissas do custo nivelado em EPE (2012).

⁶⁷ O sistema de *leasing* consiste no aluguel de um sistema fotovoltaico, sendo pago uma mensalidade pelo sistema. Em geral, o aluguel do sistema propicia uma economia de maneira que o valor da mensalidade mais a nova conta de energia seja menor que a conta antiga paga inteiramente à distribuidora. Este sistema tem custo inicial zero ao consumidor e, portanto, é um grande atrativo à adoção.

outras possibilidades). Com estas premissas, unidades com consumo superior a 100 kWh/mês, exceto baixa renda, foram consideradas como possíveis adotantes de sistemas fotovoltaicos no longo prazo.

Tendo em vista a manutenção do sistema de *net metering*, considera-se haver uma limitação do tamanho dos sistemas dependendo do consumo de cada unidade consumidora, uma vez que o sobre dimensionamento implica no desperdício de parte da energia gerada. Assim sendo, para cada faixa de consumo foi atribuído uma potência típica, conforme Tabela 39.

Tabela 40- Potência típica por faixa de consumo

Faixa de Consumo (kWh/mês)	Potência típica (kWp)
100 - 200	1
200 - 300	1,5
300 - 400	2
400 - 500	3
500 - 1000	4
> 1000	10

Fonte: Elaboração EPE

Seguindo a metodologia adotada em EPE (2013), foi adotado um fator limitador referente às restrições técnicas de instalação. O modelo de compra de cotas de geração, explicado no parágrafo anterior, pode contribuir significativamente para superar essas limitações, assim como se estima que às construções futuras sejam projetadas com sistemas fotovoltaicos integrados, ou com estrutura e orientação de telhados adequada para o aproveitamento solar, de forma a possibilitar a instalação fotovoltaica numa maior parcela das residências. Ainda, em linha com este raciocínio, antevê-se a maior difusão de edifícios de energia zero⁷⁰, que devem contribuir para a integração fotovoltaica. Com estes pontos de vista, determinou-se um fator técnico médio (dependendo da faixa de consumo) de 50% para o final do período.

⁶⁸ Através da organização de moradores, realiza-se uma compra conjunta de sistemas que reduz o custo individual. Durante estes programas a adoção é incentivada pelo espírito de comunidade, além do sentimento de que ao não aderir, está se perdendo uma oportunidade que pode não existir futuramente.

⁶⁹ Muitos usuários não têm condições técnicas de instalação (residência alugada com perspectiva de mudança, morar em apartamento, telhados impróprios, sombreamento etc). Para estes consumidores, seria adequado poder comprar cotas de um sistema fotovoltaico instalado em outra localidade, tendo direito à parcela da energia gerada por este sistema independente de onde se esteja residindo. É importante ressaltar que para que este modelo seja possível, são necessárias algumas mudanças regulatórias, como a permissão do *virtual net metering*.

⁷⁰ Edifício de Energia Zero, conhecidos como *Zero Energy Buildings* (ZEBs), são edifícios em que toda a energia consumida pelo mesmo.

Do mercado potencial técnico possível, foi adotado um fator de adoção, que representa a parcela deste que irá efetivamente instalar um sistema fotovoltaico ao final do período. Seguindo a teoria da difusão de Rogers (2003) e sua classificação de adotantes, estima-se que nas próximas décadas os sistemas FV deixem de ser uma tecnologia adotada apenas pela parcela inovadora e de adotantes iniciais da população, alcançando também a “maioria inicial” e “maioria tardia”. Neste horizonte, o fator de adoção também responde por um maior perfil investidor do brasileiro, atrelado a maior conscientização ambiental da sociedade. Em função destas premissas foi adotado um fator médio (dependendo da faixa de consumo) igual a 40% para 2050, no Cenário de Referência do Plano.

Adicionalmente, foi realizada uma análise de sensibilidade para as projeções, que resultou na trajetória denominada “Novas Políticas”. Entende-se que sob esta trajetória, as premissas mencionadas anteriormente sejam evidenciadas em maior escala, em função de políticas de fomento à geração fotovoltaica descentralizada, levando a uma maior adequação das edificações à instalação fotovoltaica, assim como estimulando a adoção por parte dos usuários. Dessa forma, adotou-se um fator técnico médio de aproximadamente 60%, e de adoção igual a 50%.

5.3.1.1.1.3 Premissas – Industrial, comercial e poder público

Em relação a estes setores, por não haver projeções detalhadas da evolução das unidades consumidoras e seus respectivos perfis de consumo por faixa, preferiu-se adotar uma abordagem *top-down* a partir da projeção da demanda elétrica por setor e da estimativa de atendimento percentual desta demanda através de sistemas fotovoltaicos.

Em geral, as premissas já citadas para o setor residencial se mantêm na análise dos setores desta seção. No caso específico do comércio e indústria, percebe-se uma preocupação cada vez maior com a adequação da imagem das empresas com o perfil de seu público. Logo, numa sociedade com maior consciência ambiental, avalia-se como patente o interesse pela geração de energia limpa por parte das companhias, sendo a fotovoltaica distribuída uma das alternativas, especialmente por trazer um benefício econômico direto no futuro, segundo as expectativas de redução e custos. No caso dos edifícios públicos, avalia-se como um setor estratégico para a difusão da energia fotovoltaica no país, ao tomar a iniciativa de integração desta tecnologia em suas instalações, servindo de exemplo à sociedade.

Considerando tais fatores e o momento em que a geração fotovoltaica distribuída atinja a paridade tarifária para cada setor, admite-se que os seguintes percentuais de atendimento da demanda de eletricidade sejam supridos via GD fotovoltaica: industrial: 3,5%; comercial: 9%; poder público: 10%. No caso da trajetória “Novas Políticas”, os percentuais estabelecidos foram: 7%; 14% e 18%, respectivamente.

5.3.1.1.4 Curva de inserção

Finalmente, após o cálculo de viabilidade econômica e da estimativa de mercado potencial fotovoltaico para o final do horizonte do Plano, foi traçada a curva de inserção desta tecnologia. Os sistemas fotovoltaicos de pequeno porte conectados à rede podem ser interpretados como uma inovação que depende da decisão dos consumidores para ser adotada, fundada em suas percepções quanto à mesma, sendo estas construídas socialmente, majoritariamente. Este processo de difusão de inovações ficou conhecido pelo trabalho de Rogers, em 1962, havendo sido base para diversos estudos posteriores em diversas áreas. Bass (1969) descreve um modelo matemático que representa a teoria de Rogers, sendo que o formato da curva de difusão segue uma curva sigmoide, no número acumulado de adotantes. Assim sendo, foi utilizado como base o modelo de Bass para delinear a inserção dos sistemas fotovoltaicos, tendo seu início, inclinação, ponto de inflexão e saturação delimitados de acordo com as características de cada setor.

5.3.1.1.2 Resultados

Através dos modelos descritos anteriormente se geraram as curvas de difusão da geração distribuída fotovoltaica no Brasil para longo prazo. Os resultados para o Cenário Referência foram sumarizados a seguir, em conjunto com os resultados da análise de sensibilidade que formam a trajetória Novas Políticas. Na Figura 156 são apresentadas as projeções da capacidade instalada acumulada, enquanto a Figura 157 traz a consequente energia gerada pelos sistemas. A Tabela 40 consolida os resultados desta fonte.

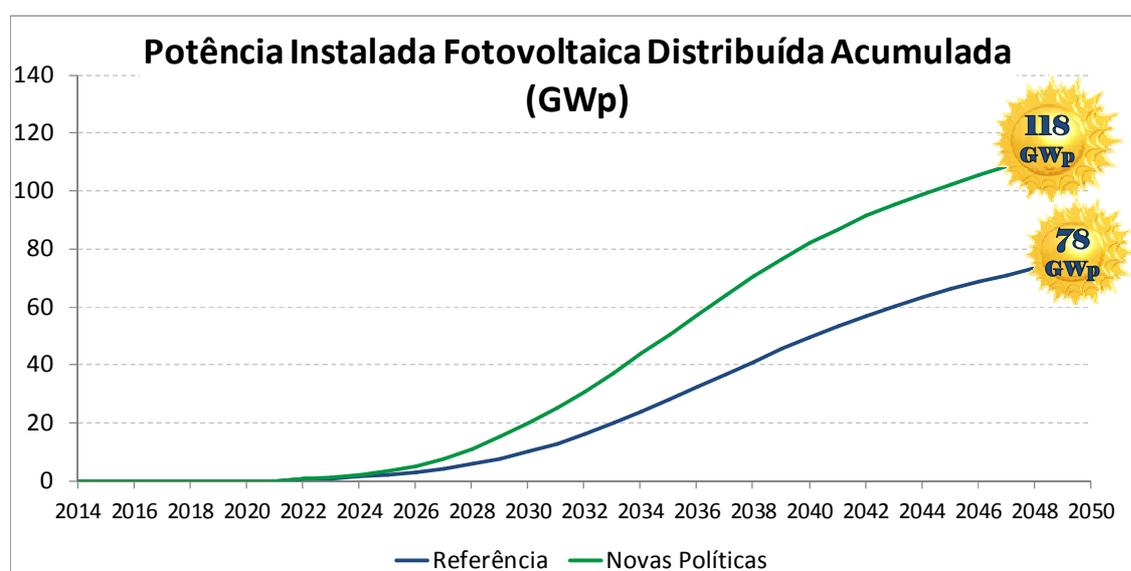


Figura 156- Projeção da capacidade instalada fotovoltaica distribuída no longo prazo
Fonte: Elaboração EPE

Energia Gerada Fotovoltaica Distribuída

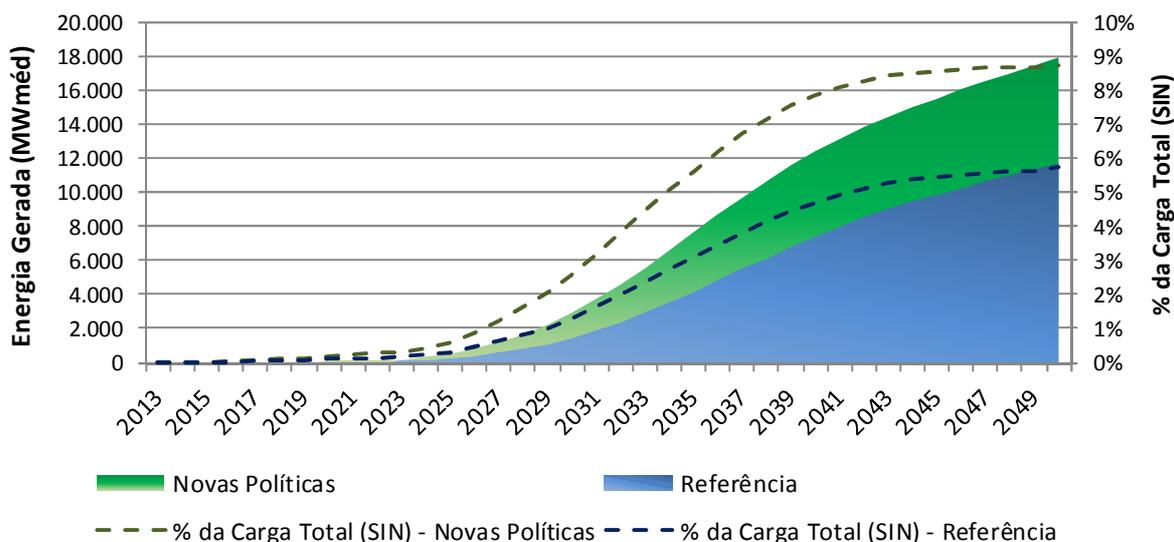


Figura 157- Projeção da geração de energia fotovoltaica distribuída

Fonte: Elaboração EPE

Tabela 41- Projeções da geração distribuída fotovoltaica

	Referência				Novas Políticas			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Potência Instalada (GWp)	0,5	10	50	78	1	20	82	118
Energia Gerada (MWméd)	78	1.523	7.466	11.797	153	3.001	12.511	18.029
% da Carga Total (SIN)	0,1%	1,3%	4,7%	5,7%	0,2%	2,6%	7,9%	8,7%

Fonte: Elaboração EPE

Assim, estima-se que a geração distribuída fotovoltaica atinja uma capacidade instalada de aproximadamente 78 GWp em 2050 no Cenário Referência. Ao longo das próximas duas décadas, esta tecnologia deve se desenvolver, tornando-se economicamente atrativa para os consumidores. No entanto, acredita-se que o grande crescimento ocorra depois da década de 2030, quando a geração fotovoltaica distribuída já esteja consolidada no mercado, com baixos custos e acessível ao grande público através de diferentes modelos de negócio, ao passo que o consumidor já esteja familiarizado com o conceito de gerar sua própria energia.

A projeção realizada representa a convicção de que a geração distribuída deve desempenhar papel importante no atendimento à demanda elétrica nacional nas próximas décadas. A potência estimada é capaz de gerar quase 12 GW médios ao final do período, o que corresponde a 5,7% da projeção da demanda total de energia elétrica ao Sistema Interligado nacional no mesmo ano. Esta parcela de atendimento à demanda está em linha

com algumas projeções internacionais, como a de IEA (2010), que prevê que 6,5% da geração total de energia mundial seja via fotovoltaica distribuída em 2050.

Portanto, dadas as premissas anteriormente adotadas, assim como as projeções internacionais, acredita-se ser factível atingir tais montantes no horizonte deste plano. Para que a trajetória “Novas Políticas” se concretize, porém, é necessário maior comprometimento dos governos, criando mecanismos de estímulo à adoção desta alternativa energética. Sob esta análise, atinge-se 118 GWp de potência instalada, gerando pouco mais de 18 GW médios de eletricidade, o que corresponderia a 8,7% da carga do SIN.

5.3.1.2 Geração Distribuída de Biogás

O potencial energético das biomassas no Brasil, apresentado na NT “Recursos Energéticos 2050”, remete a cerca de 540 milhões de tep em 2050, saindo de aproximadamente 200 milhões de tep em 2013. Do total, a biomassa residual, que responde por 56% em 2013, passa para 61% no final do período, considerando como biomassa residual as biomassas residuais agrícolas, incluindo as palhas e pontas da cultura da cana-de-açúcar, a biomassa residual da pecuária, a biomassa residual urbana e a vinhaça.

A natureza distribuída da biomassa residual leva conseqüentemente a análise da geração distribuída a partir do aproveitamento energético destes resíduos. Esse aproveitamento pode ser realizado através de diversas tecnologias de conversão. Todavia, algumas tecnologias são preferidas a outras dependendo da especificação da biomassa, do nível de desenvolvimento tecnológico e da relação das escalas e custos.

A digestão anaeróbica e conseqüente produção do biogás já possui tecnologia dominada internacionalmente a custos competitivos. Por este motivo, por conta da flexibilidade do uso e de armazenamento do biogás, por iniciativas de promoção de produção e uso do biogás, e do cenário traçado para a GD, a penetração do biogás no mercado de energia é extremamente promissora.

5.3.1.2.1 Metodologia

A penetração do biogás para geração de eletricidade distribuída é baseada na competitividade do biogás, atualmente, e em um conjunto de premissas estabelecidas para o cenário de referência.

A competitividade da opção de geração distribuída de eletricidade a partir do biogás depende de uma série de fatores tais como os custos de investimentos das unidades de biodigestão, em especial da unidade de biodigestão de resíduos urbanos, que necessita de uma unidade de triagem, e os custos das matérias-primas, que são conseqüência, essencialmente da logística.

A economicidade do aproveitamento de resíduos rurais indica que somente 24% do potencial teórico de biogás é viável economicamente. Não acontecendo por uma série de barreiras que não são diretamente relacionadas à viabilidade econômica do projeto de produção de biogás.

Com isso, a principal premissa assumida é que a zona de competitividade atual de 24% do potencial teórico, que hoje é competitivo será alcançada somente em 2050. Ou seja, existe uma premissa conservadora que o potencial de competitividade do biogás, em relação ao seu potencial teórico, continuará o mesmo ao longo do período. A segunda premissa é que dado o cenário positivo em relação ao desenvolvimento do biogás, essas barreiras não econômicas serão mitigadas paulatinamente até 2030, quando o cenário de expansão da produção de biogás se torna mais favorável à implantação de projetos de biogás.

Contudo, devido à competitividade relativa entre os usos do biogás, geração de eletricidade e produção de biometano, da penetração de 24% somente cerca de 30% dessa penetração desta será utilizada para a geração distribuída, ou seja, para geração de eletricidade será considerado somente 7% do potencial de produção de biogás em 2050. Assim como no caso da penetração da fotovoltaica distribuída, a penetração da geração distribuída a partir de biogás seguirá o modelo da curva de difusão de Bass (1969).

Por fim, também será testada uma curva com maior penetração da produção de biogás. A premissa básica desta sensibilidade é que a zona de competitividade do biogás dobra como consequência de um aprofundamento das questões ambientais e das medidas de incentivo à produção do energético. Essa sensibilidade, seguindo o mesmo entendimento utilizado para a solar fotovoltaica, também será chamada de “Novas Políticas”.

5.3.1.2.2 Projeções

Dado que as projeções são referenciadas ao potencial teórico de produção de biogás e as zonas de competitividades do mesmo, o gráfico a seguir apresenta a penetração prevista no horizonte, para o cenário de referência e para a trajetória de sensibilidade de novas políticas. A comparação entre o potencial e a penetração será feita através da contabilização do biometano equivalente, ou seja, tanto o biogás utilizado para a geração de eletricidade como do potencial foram transformados em milhões de m³/dia de biometano. A Figura 158, por sua vez, apresenta a penetração da geração distribuída de biogás em termos de energia elétrica.

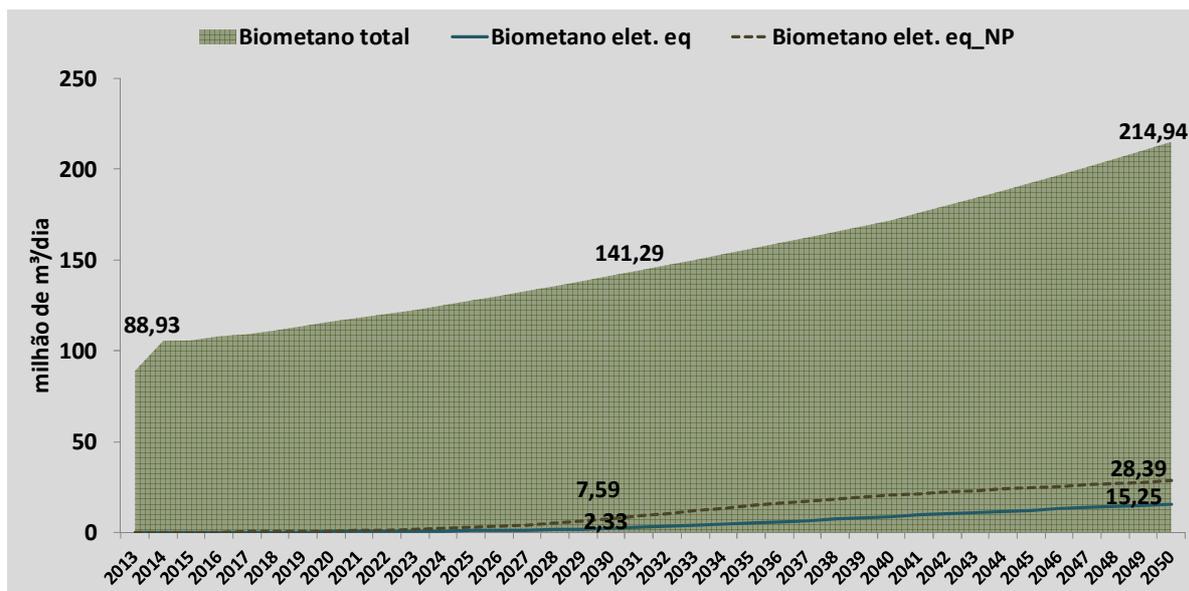


Figura 158- Projeção da penetração do biometano para geração distribuída versus potencial teórico

Fonte: Elaboração EPE

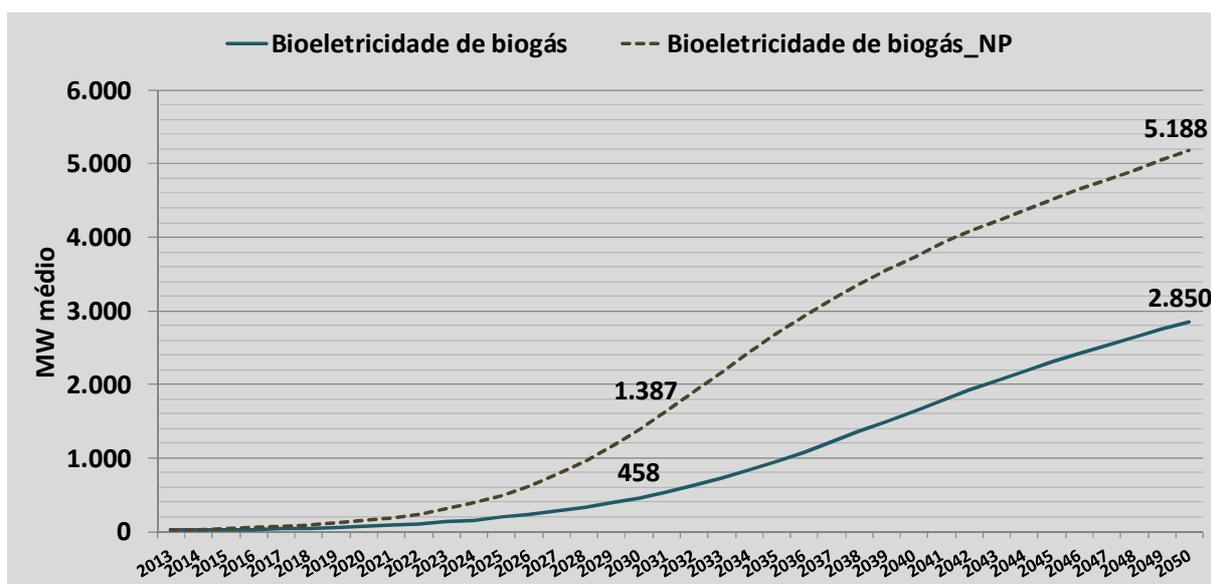


Figura 159- Projeção da penetração da geração distribuída de biogás

Fonte: Elaboração EPE

Como pode ser percebido através das curvas de penetração, o período dos próximos dez anos ainda é um período de estabelecimento das condições necessárias e demonstração de projetos de geração a partir do biogás. Além disso, o cenário aponta primeiro para a penetração do biogás urbano, que apresenta potencial bastante inferior ao potencial de produção de biogás rural. Isso é consequência da utilização do biogás de aterros já existentes e da obrigatoriedade de correta destinação já em 2014.

A partir de 2030, com a difusão e consolidação dos projetos pioneiros e estabelecimento da cadeia de serviços do biogás, o mercado do biogás encontra condições para o seu desenvolvimento, juntamente com as condições de cenário estabelecidas anteriormente.

Esta eletricidade será contratada majoritariamente através do esquema de compensação de energia, ou *net metering*, por conta da escala da unidade geradora de até 1 MW. Os setores público, por conta dos resíduos urbanos, e rural, por conta dos resíduos rurais, serão os principais consumidores.

5.3.2 Geração distribuída de grande porte

Para efeito desta nota técnica, considera-se como geração distribuída de grande porte a chamada autoprodução de energia elétrica, isto é, a geração de eletricidade do consumidor com instalações próprias de geração de energia elétrica, localizadas junto às unidades de consumo, que não utiliza, para o auto suprimento de eletricidade, a rede elétrica das concessionárias de transmissão/distribuição. A autoprodução constitui-se em importante elemento na análise do atendimento à demanda de eletricidade, uma vez que ela representa atualmente em torno de 10% de toda a energia elétrica consumida no país e tem grande potencial de expansão nos próximos anos.

A principal forma de autoprodução é a cogeração, uma forma de uso racional da energia, uma vez que o rendimento do processo de produção de energia é significativamente aumentado a partir da produção combinada de energia térmica e elétrica, com melhor aproveitamento do conteúdo energético do combustível.

O mercado potencial de cogeração é constituído, essencialmente, pelos segmentos industriais que utilizam grandes quantidades de vapor e eletricidade no próprio processo industrial e que, simultaneamente, geram resíduos de processo que podem ser utilizados tanto como combustível para a geração de eletricidade, quanto como fonte energética com fins térmicos. Os principais segmentos industriais que apresentam tais características são: papel e celulose, siderurgia, química e petroquímica, refino de petróleo, setor sucroalcooleiro, alimentos e bebidas e a produção têxtil.

Adicionalmente, é expressivo o montante de autoprodução de eletricidade através da geração termoelétrica a gás natural nas plataformas “*off shore*”. Tal parcela ainda deverá ganhar maior importância nos próximos anos com a exploração do Pré-sal. Estima-se que os requisitos de demanda de eletricidade para operação de equipamentos nestas plataforma apresentem aumento, correlacionando-se aos maiores desafios de exploração e produção em lâminas d’água e camadas de rocha no fundo marinho progressivamente mais profundas.

Para realizar a projeção da autoprodução relativa aos segmentos industriais considerados, além de informações existentes sobre novos projetos de empreendimentos de autoprodução e cogeração, com entrada em operação prevista no horizonte do estudo, formulam-se também premissas gerais sobre a evolução da autoprodução, com base nas perspectivas de expansão da capacidade instalada de produção dos diferentes segmentos industriais e na avaliação das potencialidades de cogeração que os respectivos processos industriais propiciam.

É o caso, por exemplo, da indústria de celulose, em que é de se supor que praticamente toda a expansão de capacidade que venha a ocorrer no futuro seja atendida via cogeração. Existirão, ainda, outros casos em que o autoprodutor será, não somente autossuficiente em energia elétrica, mas será, de fato, um ofertante líquido de energia para o sistema elétrico. É esse o caso de usinas siderúrgicas integradas com coqueria própria, destinadas à produção de placas. O uso de formas avançadas de cogeração, com aproveitamento dos gases de coqueria e de alto-forno, associado à não existência da fase de laminação (eletrointensiva), permite, em tais plantas siderúrgicas, gerar excedentes significativos de eletricidade.

Assim, considerou-se, como premissa básica, que toda a expansão nova de celulose será autossuficiente em energia elétrica. No caso da siderurgia, a expansão da capacidade instalada considerada foi classificada em diversos tipos de rota tecnológica, cada um dos quais apresenta diferentes características de consumo de eletricidade e de potencial de cogeração. Para cada um dos três tipos considerados de rota tecnológica (rota integrada com coqueria própria, rota integrada sem coqueria própria e rota semi-integrada), foi avaliado o respectivo potencial de cogeração, com base na prática existente no atual parque siderúrgico brasileiro.

No caso da indústria petroquímica, admitiu-se que praticamente toda a expansão da produção de eteno a partir de nafta seja atendida por autoprodução.

A autoprodução nos segmentos de açúcar e álcool, de exploração e produção de petróleo e gás natural, além do segmento de refino, foi correlacionada com as premissas sobre os respectivos níveis de atividade setorial. Assim, a autoprodução no segmento sucroalcooleiro se correlaciona com a produção de cana para a produção de açúcar e para a produção de etanol. A autoprodução em refinarias se correlaciona com o montante de carga processada. E a autoprodução na exploração e produção de petróleo e gás natural (E&P) se correlaciona com a produção de petróleo, distinguindo-se entre produção no Pós-sal e no Pré-sal: admitiu-se que a exploração de petróleo no Pré-sal requer maior quantidade de geração de energia elétrica para a extração da mesma quantidade de petróleo.

Na Tabela 41 estão resumidos alguns indicadores importantes associados às premissas adotadas para um conjunto de segmentos industriais selecionados.

Tabela 42- Indicadores/Premissas para segmentos industriais selecionados

Segmento industrial	Crescimento da produção física ⁽¹⁾	Unidade	Índice de auto-produção ⁽²⁾	Unidade
Celulose	29,5	10 ⁶ t/ano	950	kWh/t celulose
Petroquímica (eteno)	5,7	10 ⁶ t/ano	1.540	kWh/t eteno
Siderurgia (aço bruto)	45,4	10 ⁶ t/ano	-	-
<i>Rota integrada com coqueria própria destinada à produção de placas</i>	<i>9,4</i>	<i>10⁶ t/ano</i>	<i>390</i>	<i>kWh/t aço</i>
<i>Rota integrada com coqueria própria</i>	<i>21,9</i>	<i>10⁶ t/ano</i>	<i>280</i>	<i>kWh/t aço</i>
<i>Rota semi-integrada</i>	<i>6,4</i>	<i>10⁶ t/ano</i>	<i>0</i>	<i>kWh/t aço</i>
Refino de petróleo	5.459	10 ⁶ m ³ /ano	16	kWh/m ³ Petróleo
Sucroalcooleiro	590	10 ⁶ t/ano	23	kWh/t Cana
E&P (petróleo)	5.934	10 ⁶ m ³ /ano	100	kWh/m ³ Petróleo

(1) No período 2013-2050.

(2) Valores atuais.

Fonte: elaboração EPE

5.3.2.1 Resultados

5.3.2.1.1 Grandes consumidores industriais

É de crucial importância para o planejamento do setor elétrico avaliar a contribuição dos setores industriais grandes consumidores de energia, no que se refere ao montante de eletricidade que eles demandarão do sistema elétrico.

Nesse sentido, do consumo total de energia elétrica, resultado do produto da produção física (tonelada) pelo consumo específico de eletricidade (kWh/tonelada), deverá ser abatida a denominada autoprodução clássica, isto é, aquela que corresponde à geração local de energia elétrica para suprimento no próprio site da unidade consumidora, sem utilização da rede elétrica de concessionárias de distribuição e/ou de transmissão.

Com base nessas premissas, os resultados relativos à projeção da autoprodução dos grandes consumidores industriais de energia elétrica, para o horizonte do estudo, por segmento industrial, estão apresentados na Tabela 42.

Tabela 43- Grandes consumidores industriais: autoprodução por segmento (GWh)

Segmento	2013	2020	2030	2040	2050
Bauxita	0	0	0	0	0
Alumina	383	383	383	383	383
Alumínio Primário	2.740	2.740	2.740	2.740	2.740
Siderurgia	5.205	6.048	9.469	12.047	12.878
Ferro ligas	136	136	136	136	136
Pelotização	542	542	542	542	542
Cobre Primário	0	0	0	0	0
Soda	119	119	119	119	119
Petroquímica	2.459	2.459	4.133	7.488	8.920
Celulose	9.901	20.412	32.977	39.558	45.818
Pasta mecânica	7	7	7	7	7
Papel	803	1.857	5.175	8.516	10.904
Cimento	96	96	96	96	96
Total	22.390	34.798	55.775	71.631	82.542

Fonte: elaboração EPE

Como resultado das premissas expostas anteriormente, o consumo total de eletricidade do conjunto dos grandes consumidores industriais evoluirá conforme mostrado na Figura 160, decomposto nas parcelas: consumo na rede e autoprodução. A parcela de consumo na rede corresponde ao montante de energia elétrica que tais segmentos industriais demandarão do sistema elétrico.

A parcela de autoprodução, concentrada nos segmentos de papel e celulose, siderurgia e petroquímica, representa atualmente 23% do consumo total de eletricidade desses setores e passará a responder por cerca de 30% desse consumo a partir de 2030. A autoprodução cresce 2,8% ao ano no período 2013-2050, enquanto que o consumo total de energia elétrica dos segmentos eletro-intensivos cresce 1,9% ao ano.

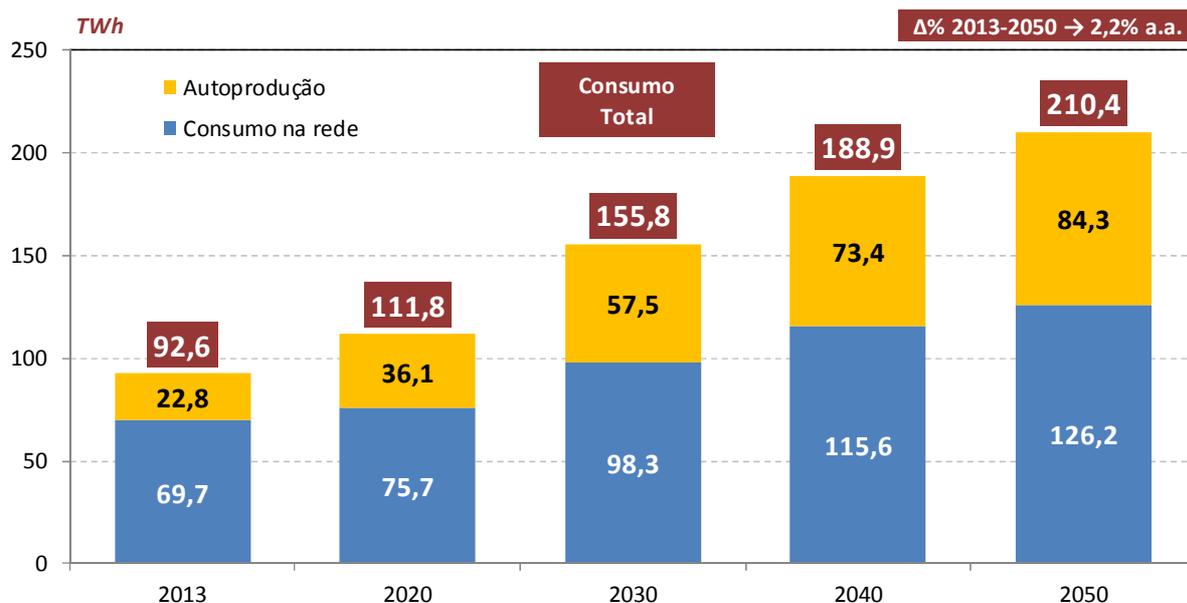


Figura 160- Grandes consumidores industriais: consumo de eletricidade, 2013-2050 (TWh)
 Fonte: elaboração EPE

5.3.2.1.2 Resultados totais: autoprodução de eletricidade de grande porte

Entende-se por autoprodução a geração de eletricidade do consumidor com instalações próprias de geração de energia elétrica, localizadas junto às unidades de consumo, que não utiliza, para o auto suprimento de eletricidade, a rede elétrica das concessionárias de transmissão/distribuição. A autoprodução constitui-se em importante elemento na análise do atendimento à demanda de eletricidade, uma vez que ela já representa quase 10% de toda a energia elétrica consumida no País, experimentou crescimento acelerado nos últimos dez anos e tem grande potencial de expansão no horizonte decenal.

O autoprodutor não demanda investimentos adicionais do sistema elétrico, além dos, naturalmente, relacionados a contratos de “back up” que ele mantenha com o gerador/comercializador de energia para suprimento em situações específicas, como pode ser o caso de paradas programadas ou eventuais paradas não programadas. O caso mais comum de autoprodução é o da cogeração.

A cogeração constitui-se em uma forma de uso racional da energia, uma vez que o rendimento do processo de produção de energia é significativamente aumentado a partir da produção combinada de energia térmica e elétrica, dando-se um melhor aproveitamento ao conteúdo energético do combustível básico.

O mercado potencial de cogeração é constituído, essencialmente, pelos segmentos industriais que utilizam grandes quantidades de vapor e eletricidade no próprio processo industrial. Os principais segmentos que apresentam tais características são: papel e celulose, químico e petroquímico, siderurgia, açúcar e álcool, alimentos e bebidas, e

têxtil. Além disso, é expressivo o montante de autoprodução de eletricidade através da geração termoelétrica a gás natural nas plataformas “off shore” e tal parcela deverá ganhar importância com a exploração do petróleo do pré-sal.

Prevê-se um expressivo crescimento da autoprodução até 2020, em torno de 7% ao ano, em média. Posteriormente, a autoprodução expande a taxas progressivamente mais baixas, atingindo uma taxa média de 2,6% ao ano no horizonte de longo prazo deste estudo. A Figura 161 mostra a previsão da autoprodução para o período 2013-2050. A participação da autoprodução no consumo total de eletricidade do País passará de quase 10% (valor verificado nos últimos anos) para cerca de 12% nos anos em torno de 2020, caindo gradualmente a partir daí até o final do horizonte, quando representará em torno de 8% do consumo total.

Vale ressaltar que o montante de autoprodução contabilizado como “Outros” setores, no gráfico, têm como principais componentes a autoprodução no setor sucroalcooleiro e a autoprodução nas refinarias de petróleo e nas plataformas de extração de petróleo “off shore”. Nessas plataformas, o combustível geralmente utilizado para a geração elétrica é o gás natural.

O montante de autoprodução em 2050, caso esse consumo fosse atendido pelo sistema elétrico, equivaleria a uma carga da ordem de 17 GWmédio, o que representa quase o dobro da garantia física da usina hidroelétrica de Itaipu.

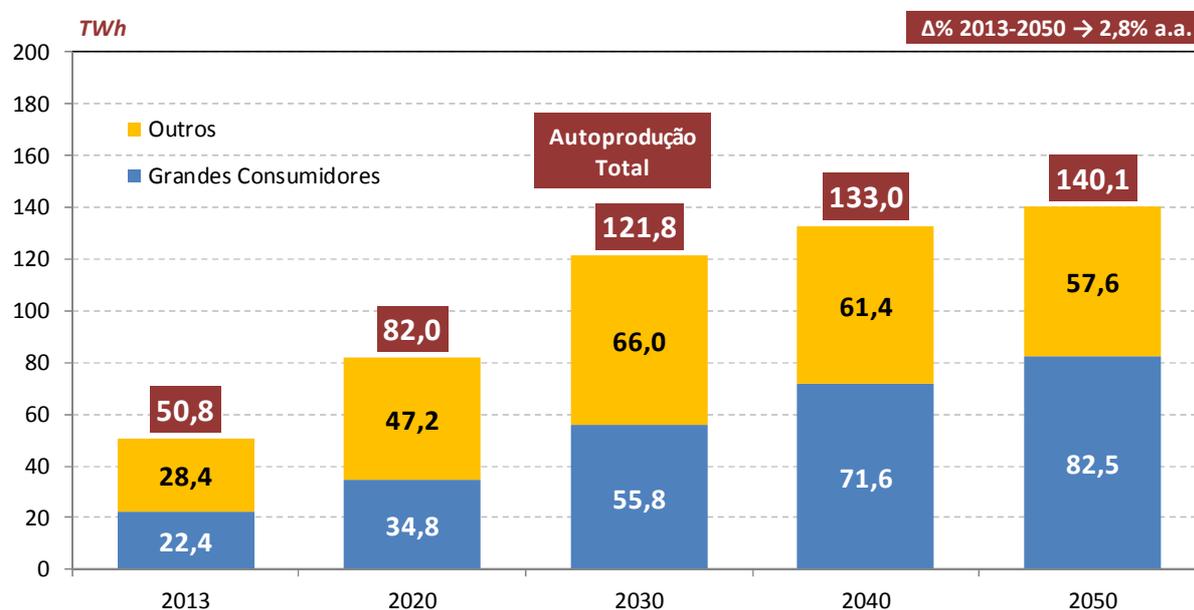


Figura 161- Autoprodução de eletricidade, 2013-2050 (TWh)

Notas: Autoprodução dos grandes consumidores concentrada em papel e celulose, siderurgia e petroquímica; autoprodução de “Outros”, concentrada nos segmentos de açúcar e álcool, de exploração e produção de petróleo e gás natural, e de refino.

Fonte: elaboração EPE

5.4 Produção Descentralizada de Combustíveis

Como mencionado anteriormente, as principais experiências em Produção Descentralizada de Combustíveis são com biocombustíveis. Por este motivo e pelo grande potencial de biomassa no Brasil é imprescindível que a análise de penetração no longo prazo seja realizada.

Dentro das diversas possibilidades existentes e que já foram experimentadas no Brasil, como micro-destilarias de etanol, pequenos produtores de biodiesel, produção de biogás e produção de combustíveis sólidos, serão analisados nesse prisma de descentralização somente o biometano, derivado do biogás, e os biocombustíveis sólidos na forma de pellets e briquetes.

A escolha do biometano e dos biocombustíveis sólidos é consequência de um conjunto de fatores: a lógica da grande escala da produção de etanol, a lógica de contratação centralizada do biodiesel⁷¹, a flexibilidade de usos do biogás, e a natureza dispersa dos resíduos sólidos agrícolas.

Assim como utilizado para a geração distribuída a partir do biogás, a produção descentralizada de biocombustíveis, aqui biometano e biocombustíveis sólidos, seguirão as mesmas premissas do cenário de bioenergia descentralizada. Essas premissas estabelecem o desenvolvimento inicial de projetos nos dez primeiros anos de maneira mais contida e até 2030 com maior intensidade. O estabelecimento dessa cadeia de serviços estruturada se dará com ações de diferentes agentes, públicos e privados, principalmente nas áreas de logística da biomassa, regulamentação, e serviços técnicos para os projetos de bioenergia e adequação de tecnologias de usos finais.

A questão ambiental também apresenta relevância estratégica no cenário de longo prazo da bioenergia. A necessidade de mitigação de impactos locais e globais da disposição dos resíduos orgânicos ocasionará na criação de modelos que busquem a correta destinação destes resíduos e, como consequência, o aproveitamento dos mesmos.

Com este cenário favorável, será possível a garantia da oferta dos energéticos da biomassa, fato este que aumentará a relação de confiança de investidores e consumidores, facilitando a difusão da produção e uso dos biocombustíveis. As respectivas análises de projeção desses mercados são apresentadas a seguir.

5.4.1 Produção de Biometano

Dado um cenário de maior pressão para mitigação de impactos locais e globais da destinação inadequada de resíduos, o desenvolvimento do mercado de serviços de energia,

⁷¹ Apesar de passível de mudança no longo prazo.

e a difusão do uso da tecnologia de digestão anaeróbica, a produção do biometano fica condicionada a competição pelo uso do biogás.

A competitividade do biometano em relação aos combustíveis líquidos, a destacar diesel e gasolina, e mesmo em relação ao gás mostra-se mais vantajosa que a geração de eletricidade. Junto a essa competitividade, observa-se existir demanda localizada junto aos potenciais centros produtores de biometano, fazendo com que a escolha pela produção de biometano seja a mais interessante.

Assim, como no caso da Geração Distribuída de Eletricidade, a produção de biometano também necessita que questões institucionais sejam estabelecidas para a criação de ambiente mais adequado ao investimento, pois pelos mesmos motivos a produção de biometano também terá a lógica de investimento descrita para a Geração Distribuída de Eletricidade de pequenas e médias escalas.

Entretanto, o desenvolvimento dessas questões deve ser mais bem coordenado, pois como o maior potencial é encontrado no setor rural e no setor de resíduos urbanos, é preciso que sejam encontrados modelos que facilitem a difusão dos agentes de mercados de serviços de energia nestes setores, Rural e Público.

5.4.1.1 Metodologia

As projeções de penetração do biometano seguirão basicamente as mesmas premissas que foram utilizadas para a projeção da geração distribuída a partir de biogás. Do mesmo modo, será considerada em 2050 a manutenção da zona competitiva hoje de 20% do potencial e que a penetração do mercado se dará somente nesta zona de competitividade.

O ponto de diferença em relação à penetração da geração distribuída é que para o biometano, devido a competitividade deste ser maior do que a da bioeletricidade, cerca de 17% do biometano total (70% dos 24% com economicidade) se dará para a produção de biocombustível. Do mesmo modo, também será testada uma trajetória de sensibilidade em que a zona de competitividade, em 2050, dobra em relação ao período inicial.

5.4.1.2 Projeção

As projeções para a produção descentralizada de biometano são apresentadas a seguir, novamente com a comparação com o potencial teórico disponível.

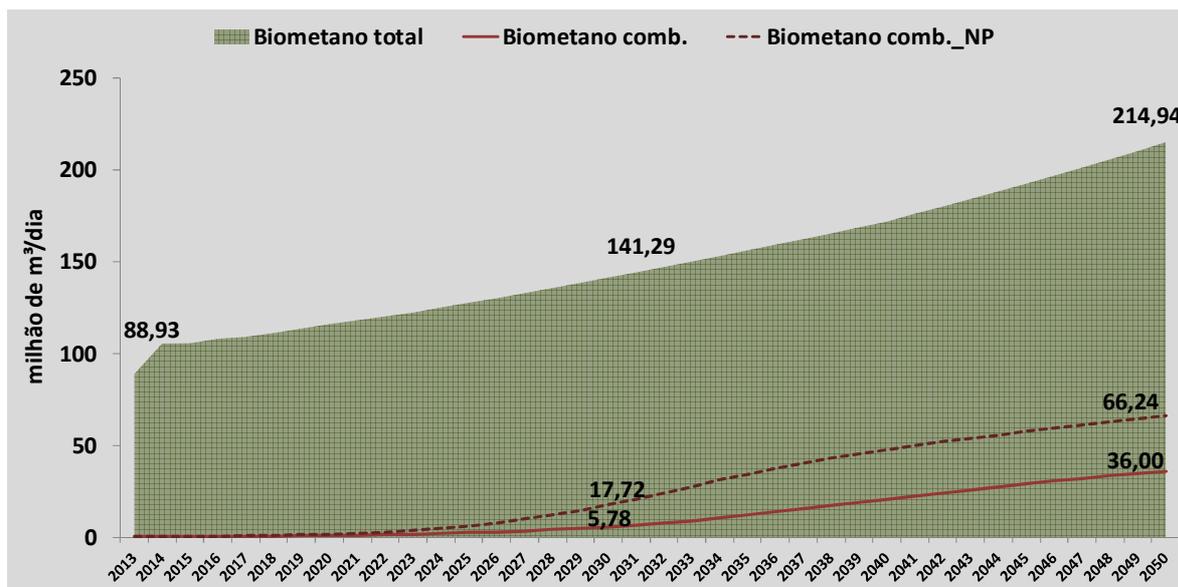


Figura 162- Evolução da penetração do biometano combustível versus potencial teórico
 Fonte: Elaboração EPE

A penetração projetada, no cenário de referência, em 2050 atinge o volume de 36 milhões de m³ por dia. Assim, como no caso do biogás para Geração Distribuída de Eletricidade, os primeiros anos são de estabelecimento das condições para o desenvolvimento do mercado, que ocorrerá de maneira mais intensa a partir de 2030. Além disso, devido a maior familiaridade do setor com projetos de geração de energia elétrica, e necessidade de adaptação de alguns usos finais, os anos iniciais apresentarão baixo volume de produção de biometano.

Em contrapartida, quando estabelecidas as condições descritas no cenário de referência, o biometano encontra mercados nos setores agropecuário, de transporte de cargas, e na frota de coleta de resíduos urbanos, substituindo majoritariamente o diesel. Projetos de injeção na rede de gás natural tendem a ser competitivos por questões de garantia de compra, como na legislação do governo do estado do Rio de Janeiro.

Na trajetória de sensibilidade de “Novas Políticas” foram simuladas considerando o estabelecimento dessas condições institucionais se estabelecendo antes e com maior grau de aceitação dos produtores de biomassas. Essas premissas mais fortes indicam um potencial de produção de biometano em 2050 de aproximadamente 66 milhões de m³ por dia, ampliando os mercados consumidores, principalmente através de projetos de injeção na rede de gás natural e de substituição de diesel no setor de transportes de cargas.

5.4.2 Biocombustíveis Sólidos (*Pellets*/Briquetes)

As fontes primárias consideradas para a produção descentralizada de biocombustíveis sólidos são os resíduos agrícolas, na forma de pellets e briquetes. Segundo a ABIPEL (Associação Brasileira das Indústrias de *Pellets*) a produção anual de pellets em 2012 foi de aproximadamente 60 mil toneladas, com uma capacidade instalada de aproximadamente 290 mil toneladas (ABIPEL, 2012).

Estes produtos podem ser utilizados para cogeração de energia elétrica e térmica, coqueima junto com outros combustíveis como o carvão ou na fabricação de cimentos, ou simplesmente em combustão direta para geração de calor útil.

5.4.2.1 Metodologia

A projeção do mercado de biocombustíveis sólidos será única para a produção de *pellets* e de briquetes, que serão tratados de maneira integrada apesar das diferenças de especificação e uso. Essa abordagem tem como principal objetivo identificar a tendência do tamanho do mercado que será estabelecido no longo prazo, dadas as condições de contorno dos cenários.

O cenário para a produção dos biocombustíveis sólidos segue o mesmo cenário utilizado para o desenvolvimento do biogás. Outro ponto importante é que a rota prioritária será a codigestão para a produção de biogás, devido à maior competitividade, conforme mencionado no item 5.4.1.1. Assim, o potencial de biomassa disponível para a produção de biocombustíveis sólidos será o potencial total menos o utilizado para a produção do biogás.

A competitividade dos biocombustíveis sólidos atualmente ainda é restrita, principalmente por conta dos custos de biomassa e custos logísticos, o que faz esses combustíveis apresentar custos da ordem de R\$ 200/t ou R\$ 13/GJ (BRIPELL, 2010 e EPE, 2014, no prelo). O estabelecimento das condições expostas do cenário de longo prazo da biomassa serão fatores de redução de custos tanto das biomassas como dos custos logístico, fazendo com que esses custos caiam pela metade no final do período.

5.4.2.2 Projeção

As projeções para o mercado de biocombustíveis sólidos são apresentadas a seguir, também com a comparação com o potencial teórico disponível. Este potencial difere entre o cenário de referência e a trajetória de sensibilidade “Novas Políticas”, pois foi estabelecida a premissa de destinação prioritária de biomassa para a produção de biogás.

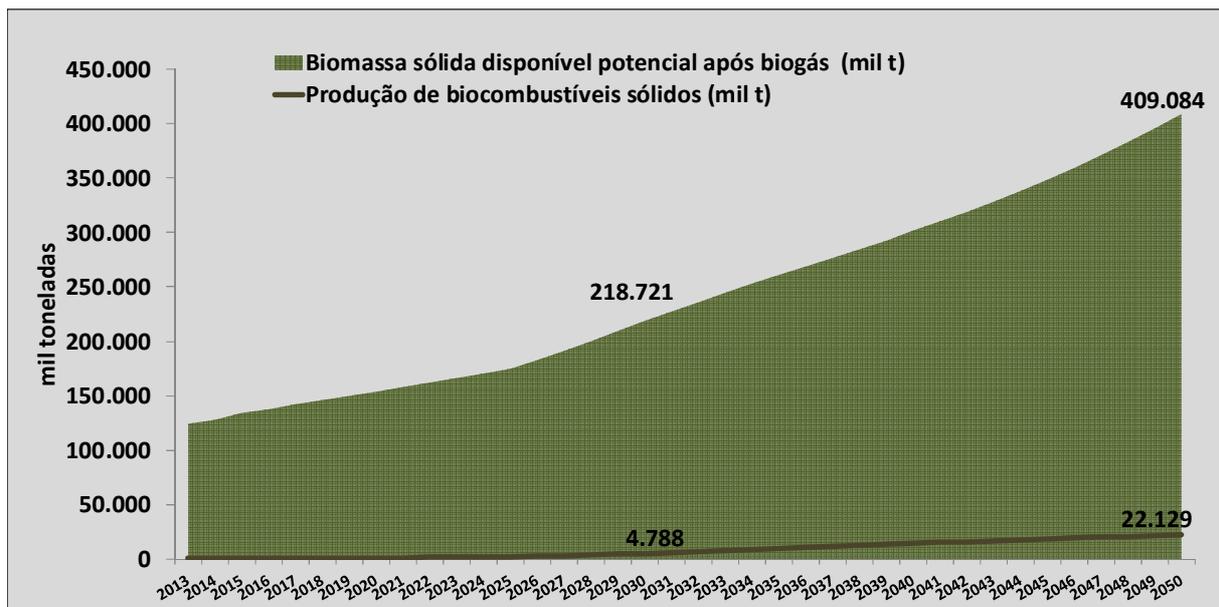


Figura 163- Evolução da penetração dos biocombustíveis sólidos versus potencial de biomassa sólida disponível

Fonte: Elaboração EPE

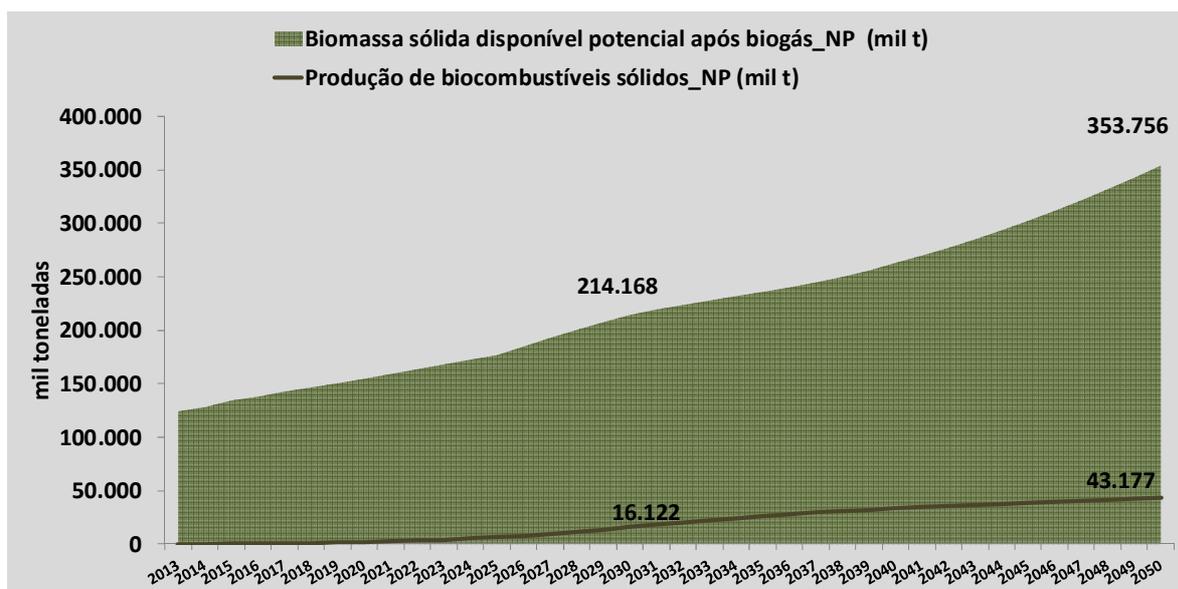


Figura 164- Evolução da penetração dos biocombustíveis sólidos versus potencial de biomassa sólida disponível na trajetória de sensibilidade de Novas Políticas

Fonte: Elaboração EPE

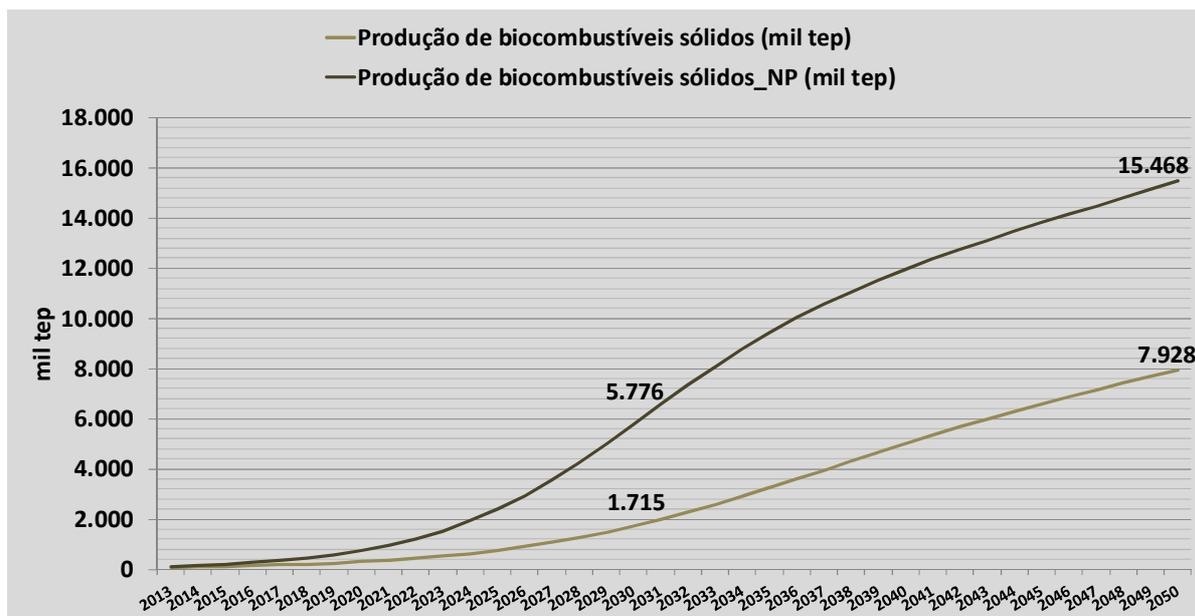


Figura 165- Evolução da penetração dos biocombustíveis sólidos versus potencial de biomassa sólida disponível

Fonte: Elaboração EPE

A penetração dos biocombustíveis sólidos encontrará mercado principalmente em substituição à lenha nos setores agropecuário e industrial (agroindustrial como preferência). Essa substituição será consequência de um aumento do custo da lenha, com o esgotamento da lenha de desmatamento no horizonte analisado, difusão da produção e redução de custos dos biocombustíveis sólidos, por conta da resolução das questões logísticas e desenvolvimento do mercado.

A sensibilidade de “Novas Políticas” novamente indica que o potencial de produção de biocombustíveis sólidos pode ser mais relevante para a matriz energética brasileira caso haja maior comprometimento dos diferentes agentes e que as questões institucionais sejam favoráveis ao cenário de bioenergia e oferta descentralizada de energia.

6 BIBLIOGRAFIA

ABICLOR [Associação Brasileira da Indústria de Álcalis, Cloro e Derivados]. Disponível em <<http://www.abiclor.com.br/>>. Acesso em 31 de julho de 2015.

_____.Relatório Anual: Indústria Brasileira de Álcalis, Cloro e Derivados. Rio de Janeiro/RJ. 2014a.

_____.Balanço Socioeconômico Indústria de Cloro-Álcalis. Rio de Janeiro/RJ. 2014b.

ABIQUIM [Associação Brasileira da Indústria Química]. Anuário da Indústria Química Brasileira 2012. São Paulo/SP. 2013.

ABIPEL (2012). A indústria brasileira de pellets. Revista da Madeira. Edição nº 133, dezembro de 2012.

ACEA [European Automobile Manufacturers Association]. *The Automobile Pocket Guide*. Bruxelas 2013. Disponível em: <<http://www.acea.be/publications/archives/category/acea-pocket-guide>>. Acesso em: abril 2014.

ACEA [European Automobile Manufacturers Association]. *The Automobile Pocket Guide*. Bruxelas, 2012. Disponível em: <<http://www.acea.be/publications/archives/category/acea-pocket-guide>>. Acesso em: abril 2014.

ACHÃO, C. C. L. Análise da estrutura de consumo de energia pelo setor residencial brasileiro. Tese MSc. COPPE/UFRJ. Disponível em <http://www.ppe.ufrj.br>. Rio de Janeiro/RJ. 2003.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Resolução Normativa nº 482/2012. Brasília/DF. 2012.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Módulo 3: Acesso ao Sistema de Distribuição - Seção 3.7: Acesso de micro e minigeração distribuída (Revisão 5 - 14/12/2012). Brasília - DF, 2012. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Módulo3_Revisao_5_Retificacao_1.pdf.

ANFAVEA [Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores]. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2013. São Paulo/SP. 2013a.

ANFAVEA [Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores]. Novas tecnologias de propulsão. Veículos leves de passageiros e comerciais leves. Apresentação realizada na EPE em 13/11/2013. Rio de Janeiro/RJ. 2013b.

ANTAQ [Agência Nacional de Transportes Aquaviários]. Caracterização da oferta e da demanda do transporte fluvial de passageiros da região amazônica. Brasília/DF. 2013.

ANTP [Associação Nacional de Transportes Públicos]. Sistemas de Informação da Mobilidade Urbana. Relatório 2011. São Paulo, Dezembro de 2012. Disponível em: <<http://www.antp.org.br/>>. Acesso em novembro de 2013.

ARUP, 2013. *It's alive! Can you imagine the urban building of future?* Disponível em www.arup.com. Acesso em março/2013.

BASS, F. M. *A New Product Growth Model for Consumer Durables*. *Management Science*, 15, 215-27, 1969.

BRASIL, Lei nº 12.587/2012: institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Brasília/DF. 2012.

BRASIL, Portaria Interministerial MME/MCTI e MDIC nº 1.007/2010. Brasília/DF. 2010.

BRIPELL (2010). Análise comparativa do briquete com outros combustíveis. Disponível em http://bripell.com/compara%E7%F5es/bpf_gas_lenha%20x%20bripell%202.htm/ Acessado em 19 de novembro de 2010.

CANALTECH, 2013. Teletrabalho - uma alternativa para a mobilidade urbana em São Paulo. Disponível em: <http://corporate.canaltech.com.br/noticia/mercado/Teletrabalho-uma-alternativa-para-a-mobilidade-urbana-em-Sao-Paulo/>. Acesso em: novembro de 2013.

CEMIG [Companhia Energética de Minas Gerais]. *Perspectiva de Oferta de Gás no Horizonte 2012 - 2020*. Apresentação realizada no evento “Seminário de Gás Não Convencional” (BNDES) em setembro/2012. Rio de Janeiro/RJ. 2012.

CEPAL [Comisión Económica para América Latina y el Caribe] *Eficácia institucional de los programas nacionales de eficiencia*. CEPAL - *série recursos naturales e infraestructura* nº 152. Santiago do Chile. 2011.

CNI [Confederação Nacional da Indústria]. *Indústria Automobilística e Sustentabilidade*. Brasília, 2012.

COHEN, C. Padrões de consumo, energia e meio ambiente. Textos para discussão. UFF/Economia. Disponível em: http://www.uff.br/econ/download/tds/UFF_TD185.pdf. Niterói/RJ. 2005.

CONTRUCCI, M. *Medidas Energéticas em Siderurgia: Valoração*. Estudo contratado no âmbito da Cooperação técnica EPE/GIZ. Rio de Janeiro/RJ. 2010.

COSTA, F. L. C. “Plano Nacional de Logística e Transportes: Permanente, Intermodal, Participativo e Integrado. Um Plano de Estado, Nacional e Federativo”. Apresentação realizada por Francisco Luiz Baptista da Costa, diretor do Ministério de Transportes em 07/07/2013. Rio de Janeiro/RJ. 2013.

CORREA, E. “Perspectivas para Veículos Híbridos e Elétricos no Brasil”. Apresentação realizada por Eduardo Correa (Petrobras) em 01/08/2013. Rio de Janeiro/RJ. 2013.

EIA [Energy Information Administration]. *Annual Energy Outlook 2012*. Disponível em <http://www.eia.doe.gov>.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. *Balanço Energético Nacional ano base 2014*. Rio de Janeiro/RJ. 2015.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. *Nota Técnica: “Cenário econômico 2050”*. Rio de Janeiro/RJ. 2014.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] - *Inventário Energético de Resíduos Sólidos Urbanos*. Nota Técnica. Rio de Janeiro, 2014a.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] - Inventário Energético de Resíduos Rurais. Nota Técnica. Rio de Janeiro, 2014b.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] - Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos. Nota Técnica. Rio de Janeiro, 2014c.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]- Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético de Resíduos Rurais. Nota Técnica. Rio de Janeiro, 2014d.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil - Condicionantes e Impactos. Nota Técnica. Rio de Janeiro, 2014e.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Balanço Energético Nacional ano base 2013. Rio de Janeiro/RJ. 2014f.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Balanço Energético Nacional ano base 2012. Rio de Janeiro/RJ. 2013.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Nota Técnica: “Consolidação de Bases de Dados do Setor Transporte: 1970-2010”. Disponível em <http://www.epe.gov.br>. Rio de Janeiro/RJ. 2012.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Nota Técnica. Rio de Janeiro: EPE, 2012. 58 p.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Nota técnica DEA 02/09: Caracterização do uso da Energia no Setor Siderúrgico Brasileiro”. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Rio de Janeiro/RJ. 2009.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro/RJ. 2007.

EPL [Empresa de Planejamento e Logística]. Informações disponíveis em <http://www.epl.gov.br>. Acesso em março/2013.

FERRUPATO, M. Planejamento Estratégico dos Transportes no Brasil: Um caso de Sucesso Mundial. Apresentação realizada na Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS. 2012.

GIZ [*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*]. Transporte Urbano e Eficiência Energética. Disponível em: www.giz.de. 2012.

GUASCH J. L (2002) “Logistics Costs and their Impact and Determinants in Latin America and Caribbean.” The World Bank. Washington, DC. Mimeo.

IEA [*International Energy Agency*]. *Key World Energy Statistics 2013*. Paris. 2012. Disponível em <http://www.iea.org>. Acesso em julho/2013.

IEA [*International Energy Agency*]. PVPS - *Photovoltaic Power Systems Programme. Trends 2013 in photovoltaic applications. Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2012*. Report IEA-PVPS T1-23:2013.

IEA [*International Energy Agency*]. *Energy Technology Perspectives 2012*. Paris. 2012.

IEA [*International Energy Agency*]. *Energy Efficiency Market Report 2013 -- Market Trends and Medium-Term Prospects*. Paris. 2013.

IEA [*International Energy Agency*]. *Developing Mechanisms for Promoting Demand-side Management and Energy Efficiency in Changing Electricity Businesses*. Paris. 2000.

ILM [Institute of Leadership & Management]. *Flexible working: Goodbye nine to five*. Institute of Leadership & Management. London, 2013.

INMETRO [Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia]. Tabelas de consumo/eficiência energética. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>. Consulta em setembro 2013.

INOVAR AUTO. Informações disponíveis em <http://www.inovarauto.com.br>. Acesso em abril/2013.

LAMBERTS, R. “Futuro das edificações: Padrões Construtivos e Tecnologias”. Apresentação realizada por Roberto Lamberts (LabEEE/UFSC) em 11/07/2013. Rio de Janeiro/RJ. 2013.

LUBES [Revista Lubes em foco]. A revista do negócio de lubrificantes: o mercado em foco. Publicação Bimestral. Ano VIII, nº 48. Abr/Mai 15. Rio de Janeiro/RJ. 2015.

LUCENA, P. Petrobras - posicionamento atual e perspectivas de produção de fertilizantes nitrogenados. Brasília/DF. 2010.

Mangoyana, Robert B.; Smith, Timothy F.; 2011. *Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil*. *Energy Policy*, V. 39.

MME [Ministério das Minas e Energia]. Plano Nacional de Eficiência Energética. Brasília/DF. 2011.

METALDATA. Análise setorial da indústria brasileira de produção de ferro-ligas. Estudo contratado pela EPE. Rio de Janeiro/RJ. 2009.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT. Relatório final. Disponível em <http://www.transportes.gov.br>. Brasília/DF. Setembro/2012.

MONTENEGRO, A. A. Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil. 175 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, SC., 2013.

MOTTA, M; ARALDI, F. “Ministério das Cidades”. Apresentação realizada por Marco Motta, diretor do Ministério das Cidades e Fernando Araldi (especialista) em 07/07/2013. Rio de Janeiro/RJ. 2013.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Cidades Inteligentes. Edição Especial. Edição 159-A. *National Geographic Brasil*. 2013.

OECD/ITF [Organisation for Economic Co-operation and Development/International Transport Forum]. *Transport Outlook. Meeting the Needs of 9 Billion People*. Disponível em: <<http://www.internationaltransportforum.org>>. Acesso em novembro de 2013.

ODYSSEE. *Energy Efficiency Database*. 2013.

ORNL [Oak Ridge National Laboratory]. *Transportation Energy Data Book*. Edition 29. 2010.

PEPERMANS, G.; DRIESSEN, J.; HAESLONCKX, D.; Belmans, R.; D’HAESELEER, W.; 2005. *Distributed Generation: definition, benefits and issues*. *Energy Policy*, v. 33, p. 787-798.

PROCEL EDIFICA. Informações disponíveis em <http://www.eletobras.com.br>. Acesso em março/2013.

PROCEL/ELETOBRAS. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de uso - setor residencial. Disponível em <http://www.procelinfo.com.br>. Rio de Janeiro. 2007.

ROMANELLI, T. L. Metodologia para estimativa do consumo de óleo diesel no segmento: agricultura, pecuária, e atividade florestal - “Diesel Agropecuário”. Polo Nacional de Biocombustíveis, ESALQ, USP, Estudo contratado pela EPE. Rio de Janeiro/RJ. 2006.

ROGERS, E. *The Diffusion of Innovations*. The Free Press, New York, USA, 5th edition, 2003.

SBS [Sociedade Brasileira de Silvicultura]. Fatos e números do Brasil florestal. São Paulo, 2008. Disponível em <http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>. Acesso em: 17/05/2010.

VALOR SETORIAL. Indústria Automotiva. Diferentes Rotações. Disponível em: www.valor.com.br. Outubro, 2013.