UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Jamaika Prado

COMPOSIÇÃO DOMICILIAR E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Juiz de Fora
2026

Jamaika Prado

COMPOSIÇÃO DOMICILIAR E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia. Área de concentração: Economia.

Orientador: Prof. Dr. Weslem Rodrigues Faria

Juiz de Fora

2026

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Prado, Jamaika.
Composição domiciliar e consumo de energia elétrica no Brasil / Jamaika Prado. -- 2026.
163 f. : il.

Orientador: Weslem Rodrigues Faria.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, 2026.

1. Composição domiciliar. 2. Tamanho do domicílio. 3. Consumo de energia elétrica. 4. Economias de escala. 5. Insumo-produto. I. Faria, Weslem Rodrigues, orient. II. Título.

Jamaika Prado

Composição domiciliar e consumo de energia elétrica no Brasil

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia. Área de concentração: Economia.

Aprovada em 14 de outubro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Weslem Rodrigues Faria - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Fernando Salgueiro Perobelli
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr.ª Terciane Sabadini Carvalho
Universidade Federal do Paraná

Dr.ª Pamila Cristina Lima Siviero
Universidade Federal de São Paulo

Dr. Ricardo Ojima
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Juiz de Fora, 28/09/2026.

Documento assinado eletronicamente por **Weslem Rodrigues Faria**, **Professor(a)**, em 14/10/2026, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Ojima**, **Usuário Externo**, em 15/10/2026, às 09:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Pamila Cristina Lima Siviero**, **Usuário Externo**, em 15/10/2026, às 11:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Terciane Sabadini Carvalho**, **Usuário Externo**, em 15/10/2026, às 14:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Fernando Salgueiro Perobelli**, **Diretor(a)**, em 26/10/2026, às 10:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **3249468** e o código CRC **92A16B65**.

AGRADECIMENTOS

Toda caminhada começa com fé. Por isso, agradeço primeiro a Deus, que me deu força e serenidade para seguir, mesmo nos dias em que o caminho parecia longo demais.

Olhando para trás, percebo com gratidão que cada membro desta banca já ocupava um lugar especial na minha trajetória muito antes de este momento chegar.

Esta história começou ainda no mestrado, em uma sala de aula da disciplina de Demografia Econômica. Foi ali, com a Profª. Drª. Pâmila Cristina Lima Siviero, que minhas pesquisas encontraram aquilo que se tornou a minha agenda de pesquisa. Hoje, ter você na banca que encerra este ciclo tem um significado imensamente especial. Obrigada por ter sido a ponte.

Nessa mesma época, para além da sala de aula, passei a ler, explorar e fundamentar meus estudos nos trabalhos do Prof. Dr. Ricardo Ojima, do Prof. Dr. Fernando Salgueiro Perobelli e da Profª. Drª. Terciane Sabadini Carvalho. As pesquisas de cada um de vocês foram o farol que me guiou. Elas me revelaram as fronteiras do conhecimento em que este estudo se insere e me deram a certeza dos caminhos que eu desejava trilhar.

Já no doutorado, cheguei ao meu orientador, Prof. Dr. Weslem Rodrigues Faria, que acreditou na minha ideia desde o primeiro instante. Minha sincera gratidão pela generosidade em compartilhar seu conhecimento e pela paciência, atenção e cuidado dedicados a cada etapa deste trabalho.

A todos os membros da banca examinadora, deixo o meu profundo agradecimento pelo tempo generosamente dedicado, pela leitura cuidadosa e pelas contribuições que enriqueceram este estudo.

Nada disso teria sido possível sem a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e o Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE), que me ofereceram estrutura e um ambiente acadêmico propício para crescer pessoal e profissionalmente. Agradeço, com carinho, à Profª. Drª. Flávia Chein, que, como coordenadora, me acolheu e me orientou com generosidade no momento decisivo da escolha do centro de pesquisa. Estendo minha gratidão a todos os professores que, com dedicação ao ensino, contribuíram para a minha formação, e aos secretários do PPGE, pela paciência e presteza de sempre.

Agradeço também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela bolsa de estudos e pelo apoio financeiro que tornaram esta pesquisa possível.

Mas uma tese não se faz só com livros e artigos. Ela se constrói com afetos e com pessoas. Aos meus amigos Dryelli e Lucas Leão, que caminharam ao meu lado com escuta atenta, incentivo constante e acolhimento, obrigada por tornarem os dias difíceis muito mais leves. Aos demais amigos e colegas do PPGE, agradeço pela parceria genuína, pelas

trocas de ideias, pelos cafés e por dividirmos os desafios e as alegrias da pós-graduação. E aos amigos de fora da universidade, obrigada pelas risadas tão necessárias e por me lembrarem da importância de manter o equilíbrio.

Por fim, volto ao lugar de onde tudo partiu: a minha família. Aos meus pais, Adiel e Eni, aos meus irmãos, Mirianrios, Fernando e Layde Dayane, e aos meus amados sobrinhos, dedico a minha gratidão mais profunda. Mesmo quando a distância física se fez presente, o amor, a torcida e o apoio incondicional de vocês ultrapassaram qualquer barreira geográfica e chegaram até mim em cada ligação, em cada mensagem e em cada oração. Saber que vocês estavam ali, vibrando com cada pequena conquista e me amparando nos momentos de cansaço, foi a força que me impulsionou a continuar. Esta tese também é de vocês!

A todos que, de alguma forma, fizeram parte desta história, o meu mais sincero agradecimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais *(FAPEMIG).*

RESUMO

O crescimento do consumo residencial de energia elétrica no Brasil ocorre em um contexto de transformações demográficas, marcado pela redução do número médio de moradores por domicílio, pelo envelhecimento da população e pela expansão do número de domicílios em ritmo superior ao da população. Como os domicílios apresentam economias de escala no consumo de recursos, essas mudanças podem elevar o consumo *per capita*, dimensão pouco considerada pelo planejamento energético. Esta tese examina os efeitos do tamanho e da composição etária dos domicílios sobre o consumo de energia elétrica no país, por meio de duas análises complementares. Na primeira, estima-se a relação entre a composição domiciliar e o consumo de eletricidade *per capita*, por modelos de regressão robusta e pelo modelo de limites ótimos de Gannon, Harris e Harris (2014), aplicados a 16.468 domicílios da Pesquisa de Orçamentos Familiares de 2017/2018. Na segunda, um modelo de insumo-produto, nas versões aberta e fechada em relação aos domicílios, mensura os requerimentos direto e indireto de energia elétrica por tipo de domicílio, em doze setores, em 2000 e 2015, a preços de 2000, com base nas Matrizes de Insumo-Produto do IBGE compatibilizadas com a Pesquisa de Orçamentos Familiares, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios e o Balanço Energético Nacional, e decompõe a sua variação entre os dois anos. Na primeira análise, os efeitos da composição sobre o consumo *per capita* variam com o tamanho do domicílio e com o nível de consumo. Nos domicílios menores, a entrada de um morador associa-se a maior consumo *per capita*, com efeito máximo nos unipessoais, e a economia de escala manifesta-se apenas a partir de quatro pessoas, sendo mais fraca nos domicílios de maior consumo. Nos domicílios unipessoais, o maior acréscimo associa-se à entrada de um morador de 15 a 24 anos, e crianças de 0 a 14 anos associam-se a menor consumo *per capita*. Na segunda análise, o requerimento total *per capita* decresce com o número de moradores do tipo de domicílio e, no domicílio de 1 morador, foi 6,1 vezes o dos domicílios com seis moradores ou mais em 2000 e 6,5 vezes em 2015. O componente indireto responde por 54% a 68% do requerimento total, com maior participação nos domicílios menores. Entre 2000 e 2015, o gasto *per capita* foi o principal fator do crescimento do requerimento total, e a mudança na distribuição dos tipos de domicílio, isolada do crescimento populacional, respondeu por cerca de um quinto do acréscimo, concentrada nos domicílios de um a três moradores. No modelo fechado, a renda induzida acrescenta até 9% ao requerimento total, sobretudo nos domicílios de três e quatro moradores. A origem setorial do requerimento indireto deslocou-se, no período, da metalurgia para os setores energético e comercial. Os resultados sugerem que a redução do tamanho dos domicílios e a formação de domicílios unipessoais tendem a se associar a maior consumo e maior requerimento total de energia elétrica *per capita*, e oferecem subsídios ao planejamento energético e a políticas de eficiência energética e de habitação.

Palavras-chave: Composição domiciliar; Tamanho do domicílio; Consumo de energia elétrica; Economias de escala; Insumo-produto.

ABSTRACT

The growth of residential electricity consumption in Brazil takes place in a context of demographic change, marked by the reduction in the average number of residents per household, population aging, and the growth of the number of households at a faster pace than the population. Because households exhibit economies of scale in resource consumption, these changes may raise *per capita* consumption, a dimension little considered by energy planning. This thesis examines the effects of household size and age composition on electricity consumption in the country, through two complementary analyses. In the first, the relationship between household composition and *per capita* electricity consumption is estimated using robust regression models and the optimal bounds model of Gannon, Harris and Harris (2014), applied to 16,468 households from the 2017/2018 Household Budget Survey. In the second, an input-output model, in its open and closed versions with respect to households, measures the direct and indirect electricity requirements by household type, across twelve sectors, in 2000 and 2015, at 2000 prices, based on the IBGE Input-Output Matrices reconciled with the Household Budget Survey, the National Household Sample Survey and the National Energy Balance, and decomposes their change between the two years. In the first analysis, the effects of composition on *per capita* consumption vary with household size and with the consumption level. In smaller households, an additional resident is associated with higher *per capita* consumption, with the largest effect in single-person households, and economies of scale emerge only from four residents onwards, being weaker in households with higher consumption. In single-person households, the largest increase is associated with an additional resident aged 15 to 24, whereas children aged 0 to 14 are associated with lower *per capita* consumption. In the second analysis, the total *per capita* requirement decreases with the number of residents of the household type and, in one-resident households, was 6.1 times that of households with six or more residents in 2000 and 6.5 times in 2015. The indirect component accounts for 54% to 68% of the total requirement, with a larger share in smaller households. Between 2000 and 2015, *per capita* expenditure was the main driver of the growth of the total requirement, and the change in the distribution of household types, net of population growth, accounted for about one fifth of the increase, concentrated in households with one to three residents. In the closed model, induced income adds up to 9% to the total requirement, mainly in households with three and four residents. The sectoral origin of the indirect requirement shifted, over the period, from metallurgy towards the energy and commercial sectors. The results suggest that the reduction in household size and the formation of single-person households tend to be associated with higher *per capita* electricity consumption and total requirement, and provide support for energy planning and for energy efficiency and housing policies.

Keywords: Household composition; Household size; Electricity consumption; Economies

of scale; Input-output.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução dos domicílios atendidos pela rede e consumo médio por domicílio, 2004–2022 30
Figura 2 – Média de moradores por domicílio, Brasil 30
Figura 3 – Consumo médio de energia elétrica em 2017/2018 para domicílios de diferentes tamanhos 44
Figura 4 – Requerimento de energia elétrica em nível (soma de todos os domicílios de cada tipo), total, direto e indireto, e participação de cada tipo de domicílio no requerimento total no Brasil em 2000 e 2015 – modelos aberto e fechado 94
Figura 5 – Requerimento indireto de energia elétrica *per capita* por setor de origem e tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 – modelos aberto e fechado 98
Figura 6 – Variação percentual do requerimento de energia elétrica associada à mudança na distribuição dos tipos de domicílio entre 2000 e 2015, por setor de origem, no Brasil – modelos aberto e fechado 101
Figura 7 – Efeitos dos fatores sobre a variação dos requerimentos direto e indireto de energia elétrica entre 2000 e 2015 no Brasil – modelos aberto e fechado 102
Figura 8 – Efeitos dos fatores sobre a variação do requerimento indireto de energia elétrica associado aos domicílios de 1 morador entre 2000 e 2015, por setor de origem – modelos aberto e fechado (milhões de MWh) 106
Figura 1A – Gráficos de resíduos das regressões estimadas por MQO: Modelos 1(A), 1(B) e 1(C) 130
Figura 2A – Número de eletrodomésticos por tamanho do domicílio 132
Figura 3A – Número de eletrodomésticos *per capita* por tamanho de domicílio 133
Figura 4A – Etapas da análise da composição domiciliar e do consumo de energia elétrica: dos dados à estimação dos modelos 140
Figura 1B – Etapas da análise de insumo-produto: dos dados ao cálculo dos requerimentos 162
Figura 2B – Gasto *per capita* em consumo final e sua composição setorial, por tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatísticas descritivas das variáveis 42
Tabela 2 – Resultados das regressões robustas de MQO para consumo de energia elétrica *per capita* 45
Tabela 3 – Resultados das regressões robustas de MM para consumo de energia elétrica *per capita* 49
Tabela 4 – Efeitos de limites do tamanho do domicílio no consumo de energia elétrica *per capita* 53
Tabela 5 – Efeitos de membros adicionais do domicílio em diferentes faixas etárias no consumo de energia elétrica *per capita* 56
Tabela 6 – Efeitos de membros adicionais do domicílio em diferentes faixas etárias no consumo de energia elétrica *per capita* 59
Quadro 1 – Setores Agregados 89
Tabela 7 – Tipos de domicílio 90
Tabela 8 – Requerimento de energia elétrica *per capita*, total, direto e indireto, e requerimento total por domicílio, por tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 – modelos aberto e fechado (MWh *per capita* e MWh por domicílio) 95
Tabela 9 – Requerimento de energia elétrica por real gasto, total, direto e indireto, nos modelos aberto e fechado, por tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 (MWh por milhão de R$ de 2000) 97
Tabela 10 – Decomposição da variação do requerimento direto de energia elétrica entre 2000 e 2015, por tipo de domicílio no Brasil – modelos aberto e fechado (milhões de MWh) 103
Tabela 11 – Decomposição da variação do requerimento indireto de energia elétrica entre 2000 e 2015, por tipo de domicílio no Brasil – modelos aberto e fechado (milhões de MWh) 105
Tabela 1A – Número de domicílios com diferentes composições domiciliares por tamanho de domicílio 131
Tabela 2A – Coeficientes de correlação de Pearson entre posse de eletrodomésticos e tamanho do domicílio 131
Quadro 1A – Resumo da literatura revisada dos efeitos do tamanho e da composição domiciliar no consumo de eletricidade 134
Tabela 1B – Consumo de energia elétrica por setor no Brasil nos anos de 2000 e 2015, segundo a classificação do Balanço Energético Nacional 141
Quadro 1B – Correspondência entre os setores agregados e os setores do Balanço Energético Nacional adotada neste estudo 142

Quadro 2B – Consumo de energia elétrica por setor agregado no Brasil nos anos de 2000 e 2015 143
Quadro 3B – Correspondência entre os setores agregados com as 55 atividades econômicas da matriz de insumo-produto do Brasil (2000) e o consumo final dos domicílios por atividade 144
Quadro 4B – Correspondência entre os setores agregados com as 67 atividades econômicas da matriz de insumo-produto do Brasil (2015) e o consumo final dos domicílios por atividade 146
Tabela 2B – Participação relativa dos tipos de domicílio nas despesas setoriais no Brasil, agregadas em 12 setores — POF 2002/2003 149
Tabela 3B – Estrutura setorial das despesas domiciliares por tipo de domicílio no Brasil, agregada em 12 setores — POF 2002/2003 150
Tabela 4B – Participação relativa dos tipos de domicílio nas despesas setoriais no Brasil, agregadas em 12 setores — POF 2008/2009 151
Tabela 5B – Estrutura setorial das despesas domiciliares por tipo de domicílio no Brasil, agregada em 12 setores — POF 2008/2009 152
Tabela 6B – Participação relativa dos tipos de domicílio nos rendimentos setoriais no Brasil, agregados em 12 setores — PNAD 2001 153
Tabela 7B – Estrutura setorial dos rendimentos domiciliares por tipo de domicílio no Brasil, agregada em 12 setores — PNAD 2001 154
Tabela 8B – Participação relativa dos tipos de domicílio nos rendimentos setoriais no Brasil, agregados em 12 setores — PNAD 2015 155
Tabela 9B – Estrutura setorial dos rendimentos domiciliares por tipo de domicílio no Brasil, agregada em 12 setores — PNAD 2015 156
Tabela 10B – Participação dos tipos de domicílio no consumo de energia elétrica da POF, consumo residencial do BEN atribuído e coeficiente direto no Brasil em 2000 e 2015 157
Tabela 11B – Requerimento de energia elétrica em nível, total, direto e indireto, segundo o setor de origem e o tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 – modelos aberto e fechado (milhões de MWh) 158
Tabela 12B – Multiplicadores setoriais de energia elétrica nos modelos aberto e fechado no Brasil em 2000 e 2015 (MWh por milhão de R$ de 2000) 160
Tabela 13B – Multiplicadores setoriais de energia elétrica no modelo aberto e no modelo fechado por tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 (MWh por milhão de R$ de 2000) 161

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanço Energético Nacional
BIC	Critério de Informação Bayesiano
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GWh	Gigawatt-hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
kWh	Quilowatt-hora
MIP	Matriz de Insumo-Produto
MM	Estimador MM, empregado na estimação de regressões robustas
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
MWh	Megawatt-hora
ODEX	Índice de Eficiência Energética
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
POF	Pesquisa de Orçamentos Familiares
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PTD	Primeira Transição Demográfica
RESET	Regression Equation Specification Error Test
SCN	Sistema de Contas Nacionais
SNA	System of National Accounts
STD	Segunda Transição Demográfica
TRU	Tabelas de Recursos e Usos
UC	Unidade de Consumo
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UHIES	Urban Household Income and Expenditure Survey
VIF	Fator de Inflação da Variância

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 TRANSIÇÃO DEMOGRÁFICA E CONSUMO DE ENERGIA NOS DOMICÍLIOS 22
3 COMPOSIÇÃO DOMICILIAR E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA 28
3.1 REVISÃO DA LITERATURA 28
3.1.1 O domicílio como unidade de análise e as economias de escala intradomiciliares 28
3.1.2 O mecanismo etário: intensidade de uso e confundimento com a escala 33
3.1.3 Limites da evidência disponível e lacuna de pesquisa 35
3.2 METODOLOGIA 36
3.2.1 Modelo de regressão linear 36
3.2.2 Modelo de limites ótimos 37
3.2.3 Base de dados 39
3.2.4 Estratégia de análise 40
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES 44
3.3.1 Resultados do modelo de regressão linear 45
3.3.2 Resultados do modelo de limites ótimos 52
4 ECONOMIAS DE ESCALA E REQUERIMENTOS DE ENERGIA ELÉTRICA 64
4.1 A DEMANDA RESIDENCIAL DE ELETRICIDADE NO BRASIL: FATORES DE CRESCIMENTO E A DIMENSÃO DEMOGRÁFICA DO CONSUMO DOMICILIAR 65
4.2 TAMANHO DO DOMICÍLIO E REQUERIMENTOS DE ENERGIA: EVIDÊNCIAS DA LITERATURA 68
4.3 METODOLOGIA 75
4.3.1 Modelo de insumo-produto 75
4.3.2 Base de dados 85
4.4 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS 93
4.4.1 Distribuição do requerimento entre os tipos de domicílio 93
4.4.2 Efeito da mudança na distribuição dos tipos de domicílio 100
4.4.3 Efeitos dos fatores sobre a variação do requerimento 101
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 108
REFERÊNCIAS 117
APÊNDICE A – Análise 1 130
APÊNDICE B – Análise 2 141

1 INTRODUÇÃO

Em 2024, o consumo mundial de energia elétrica cresceu 4%, ritmo superior à média anual de 2,7% observada entre 2010 e 2019 (Enerdata, 2025). Esse crescimento resulta de fatores como a expansão da economia global, a difusão dos centros de dados, a eletrificação do transporte e a maior demanda por refrigeração diante de condições climáticas mais severas. Nesse cenário, o Brasil é o maior consumidor de energia elétrica da América Latina: em 2024, consumiu cerca de 561 mil GWh, o equivalente a 36% da demanda regional e a 2,1% do total mundial (Enerdata, 2025; EPE, 2025a).

No âmbito global, o setor residencial está entre os principais consumidores de energia elétrica. Em 2021, os domicílios consumiram cerca de 27% da eletricidade mundial (IEA, 2023). No Brasil, essa participação é ainda mais expressiva. O setor residencial brasileiro é o segundo maior consumidor de energia elétrica do país, representando 31,4% do consumo total em 2024. Com 82,9 milhões de unidades consumidoras (88% do total), esse setor apresentou crescimento de 2,1% no número de conexões residenciais e de 7,2% no consumo total em relação a 2023 (EPE, 2025a). Esse crescimento, superior ao do número de unidades, indica aumento do consumo por unidade consumidora.

O consumo residencial de eletricidade é, por isso, variável relevante para o planejamento do setor elétrico, que precisa antecipar a expansão da demanda para dimensionar a oferta. Essa demanda depende da renda e dos preços e também do modo como a população se organiza em domicílios: o número de domicílios define o número de unidades consumidoras a serem atendidas, e o tamanho e a composição dos arranjos familiares condicionam o consumo de cada unidade e o compartilhamento de equipamentos e serviços energéticos entre os moradores (O'Neill; Chen, 2002; Liu *et al.*, 2003). O tema interessa, assim, a diferentes áreas. Na demografia, os arranjos familiares aparecem como determinantes do uso de recursos (Mackellar *et al.*, 1995; Liu *et al.*, 2003); na agenda ambiental, as mudanças demográficas têm sido associadas às emissões de dióxido de carbono (O'Neill *et al.*, 2012); e, nas políticas sociais, a parcela do orçamento destinada à energia varia com as características dos domicílios, como a idade do responsável (Carvalho; Santiago; Perobelli, 2021). As condições climáticas acrescentam outra dimensão, uma vez que a demanda por refrigeração figura entre os fatores do crescimento recente do consumo de eletricidade (Enerdata, 2025).

O Brasil possui um conjunto de políticas voltadas à redução da demanda residencial de energia, como detalhado no relatório do Atlas da Eficiência Energética de 2023 (EPE, 2023). A Lei nº 10.295/2001, por exemplo, estabelece índices mínimos de eficiência (ou índices máximos de consumo) para eletrodomésticos. Para auxiliar os consumidores na escolha de produtos mais eficientes, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) implementou um sistema de etiquetas que permite comparar diferentes modelos, enquanto

o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) reconhece e premia os produtos que apresentam os melhores índices de desempenho energético, incentivando a inovação e a oferta de produtos mais eficientes no mercado.

No entanto, o aumento do uso de eletroeletrônicos energeticamente eficientes nas residências, embora prometa reduzir o consumo total de energia, tem sido acompanhado de um fenômeno conhecido como 'efeito rebote'. Estudos empíricos conduzidos em diferentes contextos geográficos, como China (Lin; Liu, 2015), Pequim (Yu *et al.*, 2013) e Estados Unidos (Ghosh; Blackhurst, 2014), corroboram a hipótese de que o aumento da eficiência energética pode, paradoxalmente, levar a um aumento no consumo, devido a mudanças nos padrões de uso. A utilização mais frequente e prolongada desses equipamentos, decorrente de fatores como a percepção de menor custo operacional e a maior disponibilidade de energia, contribui para atenuar ou até mesmo reverter os ganhos esperados com a eficiência energética. Essa dinâmica evidencia a importância de uma análise mais aprofundada dos determinantes do consumo residencial, incluindo aspectos econômicos e comportamentais.

Acerca desses determinantes, o comportamento de consumo de energia nas residências tem sido relacionado a fatores socioeconômicos e demográficos, como a idade (Abrahão, 2020; Abrahão; Souza, 2021; Carvalho *et al.*, 2021; Huang, 2022; Su, 2019), o tamanho do domicílio (Abrahamse; Steg, 2009; O'Neill *et al.*, 2012; Supasa *et al.*, 2017; Zhang; Wang; Zhang, 2023), a urbanização (Tang; Chen, 2023; Wang; Zhang, 2015) e a renda (Perobelli *et al.*, 2015; Weiss de Abreu *et al.*, 2021). Dentre esses fatores, o tamanho do domicílio e a idade dos membros situam-se no centro das transformações demográficas em curso.

No que se refere a esses dois fatores, a literatura indica que ambos influenciam a demanda por eletricidade. Huebner *et al.* (2016), Simões e Leder (2022) e Xu *et al.* (2020) observaram que domicílios maiores apresentaram consumo total de energia mais elevado, enquanto o consumo *per capita* era menor em comparação com domicílios menores. Em relação à idade, Abrahão e Souza (2021) e Diógenes (2015, 2022) verificaram que o consumo de energia se altera ao longo do ciclo de vida. Dessa forma, mudanças nesses fatores, como o envelhecimento da população ou a redução do tamanho médio dos domicílios, podem levar a alterações no consumo de energia residencial.

Essas mudanças vêm ocorrendo no Brasil, uma vez que as famílias brasileiras têm experimentado transformações em sua estrutura ao longo das últimas décadas. A redução da fecundidade e o aumento da expectativa de vida são fatores que, em conjunto com as mudanças nos valores sociais, como a crescente secularização e individualização, têm remodelado de forma substancial a configuração familiar (Carvalho; Alves, 2012). Observa-se uma tendência à formação de unidades domiciliares menores, com declínio no número de filhos por mulher. A configuração de "ninho vazio"em casais de meia-idade e o crescimento dos domicílios unipessoais também se tornaram mais comuns. Essas

mudanças resultaram em uma população com menor taxa de crescimento e em rápido envelhecimento. Em consonância com essas transformações, observa-se um crescimento acelerado do número de domicílios, em ritmo superior ao da população total (Diógenes, 2015).

A dinâmica populacional brasileira aproxima-se, ademais, de uma inflexão. Segundo as projeções do IBGE (2024b), a população do país deverá atingir o máximo de cerca de 220,4 milhões de habitantes em 2041 e diminuir em seguida, chegando a 199,2 milhões em 2070, com taxa de fecundidade total de 1,57 filho por mulher em 2023. O país encontra-se, assim, em estágio avançado da transição demográfica, que Simões (2016) caracteriza pela redução gradual do crescimento populacional e pelo aumento da proporção de pessoas com 60 anos ou mais. Essa mudança da estrutura etária tem implicações econômicas e ambientais, pois altera o perfil dos bens e serviços demandados, e a proporção da população em idade de trabalhar, associada ao crescimento econômico, tende a perder peso com o envelhecimento (Prado; Santoyo; Soares, 2025). Os efeitos da redução populacional sobre o consumo de energia, contudo, não são necessariamente proporcionais. Liu *et al.* (2003) mostraram que o número de domicílios pode continuar crescendo mesmo onde a população se estabiliza ou diminui, em razão da redução do seu tamanho médio, e domicílios menores tendem a apresentar maior consumo *per capita* (O'Neill; Chen, 2002). Para o planejamento do setor elétrico, isso significa que projeções baseadas apenas no tamanho da população podem não captar a evolução da demanda residencial. O número, o tamanho e a composição dos domicílios tornam-se, assim, variáveis de interesse para o setor. O planejamento energético oficial incorpora essa divergência entre domicílios e população: o Plano Decenal de Expansão de Energia 2036 (PDE 2036) adota como premissa o crescimento do número de domicílios a 1,2% ao ano, até 89,8 milhões em 2036, ante 0,24% ao ano da população, e projeta crescimento de 23% do consumo residencial de eletricidade entre 2026 e 2036 (EPE, 2026).

O crescimento do número de domicílios, somado à redução do número médio de moradores por domicílio, pode influenciar os padrões e os níveis de consumo dos domicílios (Diógenes, 2015; Hogan, 2005). Os domicílios apresentam economias de escala, ou seja, à medida que o número de moradores aumenta, o custo *per capita* para manter o padrão de vida diminui. Isso ocorre devido ao compartilhamento de recursos por um maior número de pessoas, incluindo consumo de energia elétrica, mobília, transporte, espaço, aquecimento ou resfriamento. Assim, à medida que o número de moradores por domicílio diminui, perde-se a vantagem proporcionada pela economia de escala e aumenta, proporcionalmente, o consumo de recursos *per capita* (Mackellar *et al.*, 1995; O'Neill; Chen, 2002).

Para além do tamanho, o consumo também pode ser influenciado pela composição etária dos moradores de um domicílio (Huang, 2022; Su, 2019). A hipótese da Teoria do Ciclo de Vida pressupõe que os comportamentos individuais e domiciliares se alteram à medida que a idade avança, com reflexos sobre o padrão de consumo (Modigliani, 1986).

Decorre dessa hipótese que a estrutura etária de uma população tende a moldar seu perfil de consumo (Diógenes, 2015). Tendo em vista o peso da idade sobre as preferências, espera-se que os domicílios compostos por moradores de diferentes faixas etárias apresentem comportamentos de consumo distintos.

Diante das mudanças demográficas em curso no Brasil, caracterizadas por famílias menores e mais envelhecidas e por mais domicílios com menos pessoas, compreender os efeitos dessas mudanças no consumo residencial de energia elétrica pode auxiliar na identificação de padrões e níveis de consumo dos diferentes tamanhos e composições etárias, bem como identificar mudanças na estrutura de consumo ao longo do tempo. O problema de pesquisa que orienta a tese pode ser formulado da seguinte forma: em que medida a redução do tamanho dos domicílios e as mudanças na sua composição etária alteram o consumo de energia elétrica *per capita*, no próprio domicílio e ao longo das cadeias produtivas que abastecem o seu consumo? A hipótese central é a de que domicílios menores perdem economias de escala no uso da eletricidade, de modo que a redução do tamanho dos domicílios eleva a intensidade *per capita* tanto no consumo residencial quanto no requerimento incorporado aos bens e serviços. Para examiná-la, esta tese realiza duas análises: a primeira explora a relação entre a composição domiciliar e o consumo de energia elétrica nos domicílios brasileiros. A segunda investiga os efeitos das mudanças na estrutura domiciliar sobre o requerimento de energia elétrica mobilizado nos diferentes setores da economia para atender à demanda dos domicílios.

A primeira análise examina a relação entre a composição domiciliar, entendida como o número de moradores em diferentes faixas etárias, e o consumo residencial de energia elétrica no Brasil, e testa três hipóteses: H1, a de que o consumo total de eletricidade cresce com o número de moradores, ao passo que o consumo *per capita* decresce; H2, a de que essas economias de escala não são constantes, variando com o tamanho do domicílio e ao longo da distribuição do consumo; e H3, a de que a composição etária exerce efeito próprio sobre o consumo *per capita*, condicional ao tamanho do domicílio. Para isso, recorreu-se aos microdados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) de 2017/2018, que reúnem informações sobre o consumo de energia elétrica e as características dos domicílios, resultando em uma amostra de 16.468 domicílios. A estratégia empírica combinou modelos de regressão robusta, estimados pelos métodos de mínimos quadrados ordinários e MM, com o modelo de limites ótimos de Gannon, Harris e Harris (2014), que permite identificar de forma endógena subpopulações de domicílios e captar como os efeitos da composição domiciliar sobre o consumo *per capita* variam com o tamanho do domicílio e com o nível de consumo de energia elétrica.

Os resultados indicaram que esses efeitos variam conforme o tamanho do domicílio e o nível de consumo. Nos modelos de regressão robusta, a inclusão de um morador adicional associou-se à redução do consumo *per capita*; contudo, o teste de especificação RESET rejeitou a forma funcional linear e motivou o recurso ao modelo de limites ótimos.

Neste, o efeito de escala no consumo *per capita* manifestou-se apenas a partir de quatro pessoas, ao passo que, nos domicílios unipessoais, a entrada de um morador com 15 anos ou mais elevou o consumo *per capita*, com magnitude máxima na faixa de 15 a 24 anos. Os moradores de 0 a 14 anos associaram-se a menor consumo *per capita* em todos os tamanhos, e a economia de escala mostrou-se mais fraca nos domicílios de maior consumo de eletricidade.

Essa análise contribui para a compreensão dos efeitos das mudanças no tamanho e na composição etária dos domicílios sobre o consumo residencial de energia elétrica no Brasil. A evidência nacional é escassa e apoia-se, em parte, em amostras de alcance limitado, como em Simões e Leder (2022), ou organiza-se em torno da idade do responsável a partir de dados anteriores à aceleração do envelhecimento, como em Diógenes e Ojima (2020). São poucos, ademais, os trabalhos que identificam a não linearidade entre a idade e o consumo de eletricidade, a exemplo de Abrahão (2020) e Abrahão e Souza (2021). Nenhum deles, contudo, reúne simultaneamente o tratamento conjunto do tamanho e da composição etária, a admissão de não linearidade no número de moradores e o exame da heterogeneidade do efeito ao longo da distribuição do consumo, lacuna que esta análise busca preencher.

A segunda análise examina como as mudanças na estrutura domiciliar repercutem sobre a estrutura da demanda de energia elétrica, mensurando o requerimento direto e indireto dos domicílios segundo o tipo de domicílio, e testa duas hipóteses: H4, a de que o requerimento total do domicílio cresce menos que proporcionalmente ao número de moradores, de modo que o requerimento total *per capita* é máximo no domicílio de 1 morador; e H5, a de que esse efeito de escala não é neutro quanto à origem do requerimento nem quanto à sua distribuição setorial, incidindo mais sobre o componente indireto e associando-se, ao longo do tempo, à recomposição dos setores que suprem a cesta de consumo. Para tanto, empregou-se um modelo de insumo-produto, nas versões aberta e fechada em relação aos domicílios, sistematizado por Miller e Blair (2009), que permite rastrear tanto a eletricidade consumida no próprio domicílio quanto a energia incorporada às cadeias produtivas dos bens e serviços que compõem a cesta de consumo domiciliar, conforme a decomposição de Zhang, Wang e Zhang (2023). A comparação entre as duas versões permite isolar o efeito induzido pela recirculação da renda do trabalho, e a variação do requerimento entre 2000 e 2015 foi decomposta, seguindo Yu *et al.* (2026), nos efeitos da intensidade setorial, da estrutura produtiva, da estrutura do gasto, do gasto *per capita* e da população de cada tipo de domicílio. A análise apoiou-se nas Matrizes de Insumo-Produto do IBGE de 2000 e 2015, expressas a preços constantes de 2000, cuja demanda final foi desagregada em seis tipos de domicílio, definidos pelo número de moradores, de um a seis ou mais, e em doze setores produtivos. Para essa desagregação, as matrizes foram compatibilizadas com os microdados das Pesquisas de Orçamentos Familiares de 2002/2003 e 2008/2009, com os rendimentos das Pesquisas Nacionais por Amostra de Domicílios de

2001 e 2015 e com o consumo setorial de energia elétrica do Balanço Energético Nacional.

Os resultados indicaram que o requerimento total de energia elétrica *per capita* diminuiu com o número de moradores do tipo de domicílio, sendo, nos domicílios de 1 morador, cerca de 6,1 vezes o dos domicílios com seis moradores ou mais em 2000 e 6,5 vezes em 2015, com diferença absoluta crescente, de 2,7 para 4,1 MWh *per capita* ao ano. O componente indireto respondeu pela maior parte do requerimento total, entre cerca de 54% e 68%, com maior participação nos tipos de domicílio com menos moradores, e o efeito de escala recaiu sobretudo sobre esse componente. O efeito induzido pela renda do trabalho, isolado pela comparação entre os modelos aberto e fechado, concentrou-se nos domicílios de dois a quatro moradores, sobretudo nos de três e quatro. A decomposição da variação entre 2000 e 2015 indicou que o aumento do gasto *per capita* foi o principal fator do crescimento do requerimento total e que a mudança na distribuição dos tipos de domicílio, isolada do crescimento populacional, respondeu por cerca de um quinto do acréscimo, concentrada nos domicílios de um a três moradores. A composição setorial da energia incorporada variou de forma moderada entre os tipos de domicílio e alterou-se sobretudo ao longo do tempo, com a energia incorporada deslocando-se da indústria de base, como a metalurgia, para os setores energético e comercial. Ao indicar que domicílios menores se associam a maior requerimento total *per capita*, a tese oferece subsídios ao planejamento do setor energético e ao desenho de políticas de eficiência energética e de habitação atentas à estrutura domiciliar.

As contribuições desta tese situam-se em quatro planos. No plano empírico, a tese oferece, para o Brasil, estimativas do efeito do tamanho e da composição etária dos domicílios sobre o consumo residencial de eletricidade que admitem não linearidade e heterogeneidade ao longo da distribuição do consumo, e mensura, de forma inédita na literatura nacional revisada, o requerimento direto e indireto de energia elétrica associado à cesta de consumo de cada tamanho de domicílio, em dois anos e a preços constantes, e decompõe a sua variação nos fatores propostos por Yu *et al.* (2026). No plano metodológico, combina duas estratégias complementares, a microeconometria dos limites ótimos e a análise de insumo-produto nas versões aberta e fechada, apoiadas em um extenso trabalho de tratamento de dados, que reuniu microdados de três edições da POF e de duas edições da PNAD, duas matrizes de insumo-produto e o Balanço Energético Nacional em uma estrutura comum de doze setores e seis tipos de domicílio. No plano teórico, articula o mecanismo das economias de escala intradomiciliares ao requerimento de eletricidade incorporado às cadeias produtivas, sugerindo que a redução do tamanho dos domicílios repercute para além do medidor residencial e que o fechamento do modelo revela um canal de renda, concentrado nos tipos de domicílio intermediários, ausente dos estudos revisados, que trataram o consumo dos domicílios como demanda final exógena. No plano aplicado, os resultados indicam que o consumo e o requerimento total de eletricidade *per capita* variam com o tamanho e a composição etária dos domicílios; essas variáveis podem,

portanto, ser incorporadas às projeções de demanda do planejamento energético.

A tese está organizada em cinco capítulos. O Capítulo 1 corresponde a esta introdução, na qual se apresentam o contexto e a justificativa, o problema de pesquisa, as hipóteses, os procedimentos metodológicos e a estrutura do trabalho. O Capítulo 2 apresenta um panorama da transição demográfica no mundo e no Brasil e de suas possíveis consequências sobre o consumo de energia das famílias. O Capítulo 3 desenvolve a primeira análise, que relaciona o tamanho e a composição etária dos domicílios ao consumo residencial de energia elétrica: a seção 3.1 revisa os mecanismos que ligam a estrutura domiciliar ao consumo e delimita a lacuna de pesquisa; a seção 3.2 descreve a metodologia, que compreende o modelo de regressão linear, o modelo de limites ótimos, a base de dados e a estratégia de análise; e a seção 3.3 apresenta e discute os resultados dos modelos de regressão e de limites ótimos. O Capítulo 4 desenvolve a segunda análise, sobre a redução do tamanho dos domicílios e os requerimentos direto e indireto de energia elétrica entre 2000 e 2015: a seção 4.1 caracteriza a demanda residencial de eletricidade no Brasil; a seção 4.2 revisa a literatura e formula as hipóteses; a seção 4.3 detalha a metodologia de insumo-produto e as bases de dados; e a seção 4.4 apresenta e discute os resultados. O Capítulo 5 reúne as considerações finais das duas análises. Por fim, apresentam-se as referências e os apêndices.

2 TRANSIÇÃO DEMOGRÁFICA E CONSUMO DE ENERGIA NOS DOMICÍLIOS

O consumo residencial de energia elétrica é influenciado pela estrutura e pela composição dos domicílios, que, por sua vez, são moldadas pela dinâmica demográfica de uma população. Tendo isso em vista, compreender os determinantes do consumo de energia nos domicílios requer, primeiramente, situar as transformações demográficas que reconfiguram o tamanho, a composição etária e o número de domicílios ao longo do tempo. Este capítulo apresenta um panorama dessas transformações no mundo e, em especial, no Brasil, a partir da segunda metade do século XX.

Essas transformações têm sido interpretadas à luz da Teoria da Transição Demográfica, proposta inicialmente por Thompson (1929) e posteriormente formulada por Notestein (1945), que procura explicar como ocorreram as mudanças na estrutura da população ao longo do tempo e quais foram as suas causas. Em linhas gerais, a teoria descreve a passagem de um regime de altas taxas de fecundidade e mortalidade para um regime de baixas taxas, com implicações sobre o ritmo de crescimento populacional, a estrutura etária e o número e o tamanho dos domicílios. Ao longo do tempo, essa formulação foi ampliada, de modo que a literatura passou a distinguir diferentes momentos do processo de transição, apresentados a seguir.

A teoria inscreve-se em um debate mais antigo sobre a relação entre população e recursos, que remonta ao final do século XVIII. Malthus (1798) sustentou que o crescimento populacional tenderia a superar a expansão dos meios de subsistência, uma vez que, na ausência de controles, a população cresceria em progressão geométrica, ao passo que a subsistência cresceria apenas em progressão aritmética. A Teoria da Transição Demográfica, ao descrever a queda da fecundidade que acompanha a redução da mortalidade, ofereceu uma leitura distinta da dinâmica populacional. A preocupação com a escala da demanda humana sobre os recursos permanece, contudo, no debate contemporâneo, com uma inflexão relevante para esta tese: a literatura tem mostrado que o uso de recursos depende tanto do número de pessoas quanto do modo como elas se organizam em domicílios, isto é, do número e do tamanho das unidades que consomem (Liu *et al.*, 2003; O'Neill; Chen, 2002).

Há certo consenso na literatura sobre a existência de duas transições demográficas: a Primeira Transição Demográfica (PTD) e a Segunda Transição Demográfica (STD) (Gandra, 2023; Lesthaeghe, 2010; Lesthaeghe; Neidert, 2009; Lesthaeghe; Surkyn, 1988; Van de Kaa, 1994). A PTD teve início nos países industrializados da Europa nos séculos XVIII e XIX, durante a Revolução Industrial, expandiu-se posteriormente pelo resto do mundo no século XX e pode ser definida como um processo de modernização que levou uma sociedade de um regime demográfico pré-moderno, com altas taxas de fecundidade e mortalidade, para um regime demográfico pós-moderno, com baixas taxas de natalidade e mortalidade. Inicialmente, verificou-se uma redução abrupta nas taxas de mortalidade,

seguida por uma redução mais gradual nas taxas de fecundidade. Essa dinâmica resultou em um período de significativo crescimento populacional, seguido por um retorno progressivo ao equilíbrio entre as taxas de natalidade e mortalidade (Kirk, 1996).

Diferentemente da PTD, a STD constitui um fenômeno mais recente e ainda em curso, iniciado nos países ocidentais no início da segunda metade do século XX. Trata-se de um processo decorrente da própria PTD, caracterizado pela continuidade da queda da fecundidade, que passa a se situar permanentemente abaixo do nível de reposição, pelo crescimento populacional negativo, pelo aumento da diversidade de uniões e arranjos familiares, pela desconexão entre casamento e procriação e pela elevação do número de divórcios (Lesthaeghe, 2010).

No Brasil, a PTD teve início no final da primeira metade do século XX, período caracterizado por elevadas taxas de mortalidade e fecundidade. A partir de 1940, a mortalidade registrou redução significativa, enquanto a fecundidade permaneceu elevada. O resultado foi um crescimento populacional acelerado, com taxas em torno de 3% ao ano. A partir da década de 1960, a taxa de fecundidade total, então de 6,3 filhos por mulher, passou a declinar rapidamente e atingiu 1,9 em 2010, abaixo do nível de reposição[1]. Paralelamente, a expectativa de vida ao nascer elevou-se de 48,0 para 75,5 anos entre 1960 e 2022 (IBGE, 2023b), ganho que resultou da combinação entre o controle das doenças infecciosas na infância, a ampliação do cuidado às condições crônicas e as transformações associadas à urbanização e à queda da fecundidade (Chaimowicz; Chaimowicz, 2022). Ao longo da segunda metade do século XX, essas mudanças consolidaram a passagem do país para um regime de baixa mortalidade e baixa fecundidade, base sobre a qual se desenvolveriam as transformações associadas à STD.

O declínio da fecundidade tem sido apontado como o principal fator por trás da transformação da estrutura etária da população brasileira. Em 1980, 38,2% da população tinha até 14 anos de idade, proporção que recuou para 19,8% em 2022. No outro extremo da pirâmide etária, o percentual de idosos com 60 anos ou mais, que era de 6,1% em 1980, passou para 15,8% da população total em 2022, com um crescimento de 46,6% em relação ao Censo Demográfico de 2010, quando esse grupo representava 10,8% da população. Dessa maneira, os grupos mais jovens representam menor proporção da população total, relativamente aos grupos de adultos e pessoas idosas. Esse processo configura o envelhecimento da população. Além da queda da fecundidade, rápida no Brasil, contribuiu para esse fenômeno, em menor medida, a redução da mortalidade em todos os grupos etários, inclusive entre pessoas idosas (IBGE, 2023a).

A queda da fecundidade também tem sido relacionada às alterações na composição e no tamanho das famílias, que, por sua vez, integram as motivações associadas à STD.

[1] Taxa de fecundidade de 2,1 filhos por mulher, necessária para assegurar a reposição das gerações.

Os principais fatores que contribuíram para a redução da fecundidade incluem a queda da mortalidade, menor contribuição econômica dos filhos, transformações nas unidades conjugais e enfraquecimento dos apoios culturais para a criação de filhos, maior acesso a métodos contraceptivos, o adiamento do casamento e a difusão de novas práticas comportamentais. Esses fatores contribuem para a diversidade nas trajetórias de vida e configurações familiares. Atualmente, são comuns as famílias com apenas um filho, casais sem filhos, ninho vazio do casal de meia-idade, famílias monoparentais chefiadas por mulheres e domicílios unipessoais. O aumento dos domicílios unipessoais está relacionado aos processos de maior longevidade dos idosos e de individualização da sociedade, que levam ao aumento do número de pessoas que vivem sozinhas. Os jovens, por sua vez, adiam cada vez mais o casamento e formam domicílios unipessoais (Bongaarts, 2001; Therborn, 2006; Arriagada, 2007; Rosero-Bixby *et al.,* 2009; Carvalho; Alves, 2012; Sette, 2017).

Essas mudanças na estrutura das famílias estão associadas a um fenômeno mais amplo que é o processo de reconfiguração dos domicílios no Brasil (Diógenes, 2015). Esse processo inclui a redução do número de moradores por domicílio e o crescimento acelerado do número de domicílios. Segundo dados do Censo de 2022, no período de 1970 a 2022, a população brasileira passou de 93,1 milhões para 203,1 milhões de habitantes. Paralelamente, o número de domicílios particulares permanentes ocupados passou de 17,6 milhões para 72,4 milhões. Esses dados revelam uma redução no número médio de moradores por domicílio, que diminuiu de 5,3 para 2,8 indivíduos ao longo desse período. Entre os anos de 2010 e 2022, a população brasileira apresentou um crescimento de 6,5%, enquanto o número total de domicílios registrou aumento de 26,3%. O número de domicílios unipessoais aumentou 241,5% entre 2000 e 2022, sendo este aumento mais rápido do que o de outros tipos de arranjos familiares (IBGE, 1970, 2010, 2024). Essa dinâmica indica que, enquanto a população dobrou entre 1970 e 2022, o número de domicílios quadruplicou.

Essa dinâmica de redução do tamanho e de diversificação dos arranjos domiciliares pode influenciar o padrão e os níveis de consumo nos domicílios (Diógenes, 2015; Hogan, 2005; Liu *et al.*, 2003; Nelson, 1988; O'Neill *et al.*, 2012), uma vez que os domicílios apresentam economias de escala. No âmbito da microeconomia, o conceito de economias de escala, inicialmente definido como as vantagens de custo decorrentes do aumento da escala de produção, foi posteriormente estendido ao consumo de energia dos domicílios, no sentido de que o custo *per capita* de consumo de energia tende a diminuir à medida que aumenta o número de moradores (Huang, 2022; O'Neill; Chen, 2002; Underwood; Zahran, 2015; Zhang; Wang; Zhang, 2023; Cao *et al.*, 2024).

O tamanho e a composição dos domicílios figuram entre os determinantes mais importantes do consumo residencial de energia (Brounen *et al.*, 2012; Kaza, 2010; O'Neill; Chen, 2002). Dentre os determinantes socioeconômicos do consumo doméstico de energia, o tamanho do domicílio é o de maior impacto (Kelly, 2011). Um aumento no número de

moradores está frequentemente associado a um maior consumo total de energia e a um menor consumo *per capita* (O'Neill; Chen, 2002), embora esse impacto seja heterogêneo e varie conforme a composição do domicílio (Huang, 2022; Su, 2019; Van Raaij; Verhallen, 1983). As economias de escala domésticas resultam da partilha, simultânea ou sucessiva, de espaços, bens e serviços entre os coresidentes, incluindo o espaço habitacional, os eletrodomésticos, os utensílios domésticos, a alimentação, a iluminação, a lavanderia, o aquecimento e a refrigeração (Ala-Mantila *et al.*, 2016; Belaïd, 2016; Guo *et al.*, 2018; Ivanova; Büchs, 2020; Mackellar *et al.,* 1995; O'Neill; Chen, 2002; Underwood; Zahran, 2015; Zhang; Wang; Zhang, 2023). Dessa maneira, em domicílios com múltiplos membros, observa-se uma otimização no uso desses recursos, que se traduz em menor consumo de energia *per capita*, uma vez que a demanda é diluída entre os moradores. Os domicílios unipessoais, por outro lado, não usufruem das mesmas vantagens de escala: a necessidade de manter eletrodomésticos e bens duráveis individualmente, ainda que a demanda de um único indivíduo seja menor, conduz a um consumo de energia *per capita* mais elevado (Yates, 2018).

O consumo direto de energia elétrica refere-se à eletricidade usada pelos moradores no cotidiano do domicílio, em iluminação, aquecimento ou resfriamento, preparo de alimentos, uso de eletrodomésticos, entre outros. Já o consumo indireto refere-se ao consumo de energia elétrica gerado de forma indireta pelo consumo de bens e serviços não energéticos. Uma vez que a produção de qualquer tipo de bem ou serviço requer a utilização de energia, o consumo indireto corresponde à soma da energia utilizada em todos os setores envolvidos no processo de produção dos produtos não energéticos consumidos. O uso de um refrigerador no domicílio, por exemplo, gera consumo direto ao conectá-lo à rede elétrica para seu funcionamento, mas também gera consumo indireto durante seu processo de produção. As peças que o compõem demandam materiais como metais, plástico e componentes elétricos e eletrônicos, além de energia para serem produzidas, transportadas e montadas na fábrica, seguindo-se o transporte até o ponto de venda e, por fim, a entrega ao consumidor final. Ao rastrear esse caminho, verifica-se que, ao comprar um refrigerador, consome-se indiretamente uma quantidade expressiva de energia (Yates, 2018).

Nesse contexto, a redução do tamanho médio dos domicílios apresenta um efeito duplo sobre o consumo de energia elétrica. O primeiro efeito é que domicílios menores, em média, consomem menos energia em termos absolutos do que domicílios maiores; no entanto, quando se considera o consumo *per capita*, a eficiência energética pode ser menor, uma vez que a infraestrutura básica de uma residência, como iluminação, aquecimento e refrigeração, precisa ser mantida independentemente do número de pessoas que a ocupam. O segundo efeito é o aumento no número de domicílios, decorrente da diminuição do seu tamanho, que intensifica a demanda por materiais de construção, eletrodomésticos e outros bens duráveis para equipar as novas unidades habitacionais, elevando a necessidade de energia para a produção e o transporte desses itens (Liu *et al.,* 2003; Yates, 2018).

As famílias respondem pela maior parcela da demanda final de bens e serviços na economia brasileira, 63% em 2023 (IBGE, 2024). Dessa forma, são responsáveis pelo consumo direto de energia e, de modo indireto, pela energia necessária à produção dos demais bens e serviços presentes em sua cesta de consumo (Perobelli *et al.,* 2015; Weiss de Abreu *et al.,* 2021).

Em 2008, os domicílios brasileiros respondiam por 51% da demanda total de energia do país. Desse total, 16% correspondiam ao consumo direto nos domicílios, enquanto 35% estavam incorporados nos produtos e serviços adquiridos por eles. Essa dinâmica evidencia que, no Brasil, a maior parte da energia consumida pelos domicílios estava indiretamente ligada à compra de produtos e à utilização de serviços. O consumo de energia incorporada nas despesas domiciliares derivava principalmente de gastos com transporte público de passageiros e carga, compra de veículos e peças, habitação (construção e manutenção residencial, aquisição de eletrodomésticos) e alimentação (Weiss de Abreu *et al.,* 2021).

Além do tamanho, a composição etária dos membros constitui outro determinante relevante do consumo de energia nos domicílios (Abrahão, 2020; Huang, 2022; Su, 2019). A Teoria do Ciclo de Vida de Modigliani oferece uma estrutura analítica para compreender o comportamento de consumo ao longo da vida, na qual a estrutura etária de uma população, conforme elucidado por Modigliani (1986), atua como fator determinante desse comportamento. A teoria estabelece uma relação entre variáveis como renda, preço dos produtos e consumo, traçando uma trajetória que explica o comportamento do consumo ao longo do ciclo de vida. Segundo essa perspectiva, os indivíduos dedicam-se à acumulação de riqueza e patrimônio, os quais, somados à renda do trabalho, financiam o consumo em diferentes fases da vida. Quando as pessoas são jovens e trabalham, parte da renda é destinada às despesas domiciliares, enquanto o excedente é convertido em riqueza ou patrimônio. Essa acumulação depende de diversos fatores, como o tamanho do domicílio, a existência de herança, as oportunidades de investimento e a propensão individual à poupança. A renda tende a crescer com a idade, atingindo um pico entre 60 e 65 anos, ou até a aposentadoria. A riqueza também tende a crescer ao longo do ciclo de vida e a se dissolver na fase de aposentadoria, quando há redução da renda decorrente da queda da produtividade individual. Logo, a teoria presume que os idosos, inseridos na fase de aposentadoria, utilizam a dissolução da riqueza e do patrimônio acumulados para complementar a renda nessa fase, provendo o consumo, as despesas e o nível de conforto do ciclo de vida (Modigliani, 1986). Assim, os comportamentos individuais e domiciliares se alteram à medida que a idade avança; mudanças na estrutura etária traduzem-se, assim, em mudanças no perfil de consumo (Diógenes, 2015).

Aplicando esse referencial ao consumo de energia, diferentes estudos têm observado que as necessidades de consumo da população idosa divergem das da população jovem, resultando em padrões de consumo (Hassan; Salim, 2015) e níveis de atividade econômica distintos (Liddle, 2013). Mudanças na estrutura etária alteram a composição de bens e

serviços demandados pela sociedade (Mao; Xu, 2014; O'Neill *et al.*, 2010) modificando a demanda por energia incorporada em diversos produtos. Como a energia constitui um insumo para a produção de bens e serviços ou para o atendimento das necessidades de serviços energéticos da demanda final (Bhattacharyya, 2019), a composição etária do domicílio pode afetar tanto o consumo direto de energia elétrica quanto o indireto, por meio da mudança nos padrões de consumo relacionados à idade (Bin; Dowlatabadi, 2005; Schipper, 1996).

Essa mudança na estrutura etária atinge tanto o lado da demanda quanto o da oferta, ou seja, a capacidade produtiva (Denton; Spencer, 2000). Han *et al.* (2022) destacaram que a idade é um determinante endógeno de características biológicas, psicológicas, econômicas e sociais que afetam o comportamento individual de consumo de energia. Nessa direção, Mao e Xu (2014) observaram que os jovens tendem a alocar maior proporção de seus orçamentos em alimentação, educação, cultura e lazer; os indivíduos de meia-idade, por sua vez, destinam parcela significativa de seus gastos a roupas, transporte e comunicação; já os idosos priorizam alimentação, assistência médica e serviços de saúde.

Esses diferentes padrões também se manifestam no consumo de energia elétrica nos domicílios, influenciado por fatores como a idade dos moradores e seus hábitos de consumo. Indivíduos mais velhos tendem a apresentar maior sensibilidade à temperatura ambiente (Hajat *et al.,* 2007; Xiong *et al.,* 2019), enquanto os mais jovens passam mais tempo *online* e usam mais dispositivos eletrônicos (Han *et al.,* 2022). Dessa forma, o processo de envelhecimento populacional impacta tanto a demanda quanto a oferta de bens e serviços: o consumo seletivo, característico das populações mais idosas, influencia diretamente a demanda por determinados produtos e serviços, ao passo que, de modo indireto, o envelhecimento também molda o sistema econômico, levando a mudanças nos padrões de produção e de consumo de energia (Han *et al.,* 2022).

Compreender de que forma as transformações demográficas em curso se relacionam com o consumo de energia elétrica nos domicílios brasileiros pode contribuir para uma visão mais abrangente dos determinantes da demanda energética no país. O Brasil vivencia simultaneamente o envelhecimento populacional, a redução do tamanho médio dos domicílios e o crescimento acelerado do número de unidades habitacionais, fenômenos que tendem a modificar tanto o consumo direto de energia nas residências quanto o consumo nos demais setores da economia. Isso ocorre porque domicílios de diferentes tamanhos e composições etárias apresentam perfis de demanda distintos entre si, diferença que pode alterar o volume e a composição dos produtos e serviços requeridos para atender às necessidades de seus membros e, consequentemente, o consumo de energia a eles associado. Diante desse contexto, a análise das implicações energéticas dessas transformações demográficas para o setor elétrico brasileiro constitui o objeto central deste estudo.

3 COMPOSIÇÃO DOMICILIAR E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Este capítulo examina a relação entre o tamanho dos domicílios, sua composição etária e o consumo residencial de energia elétrica. A discussão retoma o argumento desenvolvido no capítulo anterior: a transição demográfica brasileira, marcada pela queda da fecundidade, pelo envelhecimento populacional e pela expansão de arranjos domiciliares com menor número de moradores, altera a forma como a energia é demandada no espaço doméstico. O consumo residencial não responde, portanto, apenas ao crescimento populacional ou à renda, mas também ao modo como as pessoas se organizam em unidades domiciliares e compartilham equipamentos, espaço e serviços energéticos.

A unidade de análise adotada é o domicílio. Essa escolha decorre da própria natureza do objeto: a eletricidade residencial é contratada, medida e faturada por unidade consumidora, e parcela de seu uso ocorre por meio de bens e serviços compartilhados entre os moradores. O indivíduo não constitui, portanto, uma unidade observável de consumo, e o consumo *per capita* aqui empregado é uma grandeza derivada, o consumo domiciliar dividido pelo número de moradores, e não uma medida direta de uso individual. Todas as variáveis explicativas, inclusive as de composição etária, são igualmente definidas no nível domiciliar.

3.1 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão que se segue organiza-se em torno dos mecanismos que ligam a estrutura domiciliar ao consumo de eletricidade, e não do inventário cronológico dos estudos disponíveis. Três mecanismos estruturam a exposição: o caráter compartilhado do consumo residencial, que justifica a adoção do domicílio como unidade de análise (seção 3.1.1); as economias de escala intradomiciliares, que fazem o consumo *per capita* divergir do consumo total (seção 3.1.1); e o efeito da composição etária, que opera tanto por intensidade de uso quanto por seu entrelaçamento com o próprio tamanho do domicílio (seção 3.1.2). A seção 3.1.3 avalia criticamente a qualidade da evidência acumulada e delimita a lacuna que a análise empírica deste capítulo pretende preencher.

3.1.1 O domicílio como unidade de análise e as economias de escala intradomiciliares

O domicílio, e não o indivíduo, é a unidade de análise adotada para a demanda residencial de eletricidade. Essa escolha não decorre apenas da forma como os dados são coletados, mas encontra respaldo na teoria da produção domiciliar formulada por Becker (1965), segundo a qual as famílias não demandam bens de mercado por si mesmos, e sim os combinam com o tempo de seus membros para produzir as mercadorias que efetivamente ingressam na função de utilidade. Sob essa perspectiva, a eletricidade não

constitui um bem final, e sim um insumo mobilizado na produção doméstica de conforto térmico, conservação de alimentos, iluminação, higiene pessoal e serviços de informação e lazer. O que se registra no medidor corresponde, dessa maneira, ao requerimento energético da tecnologia doméstica de produção, e não a uma demanda individual identificável.

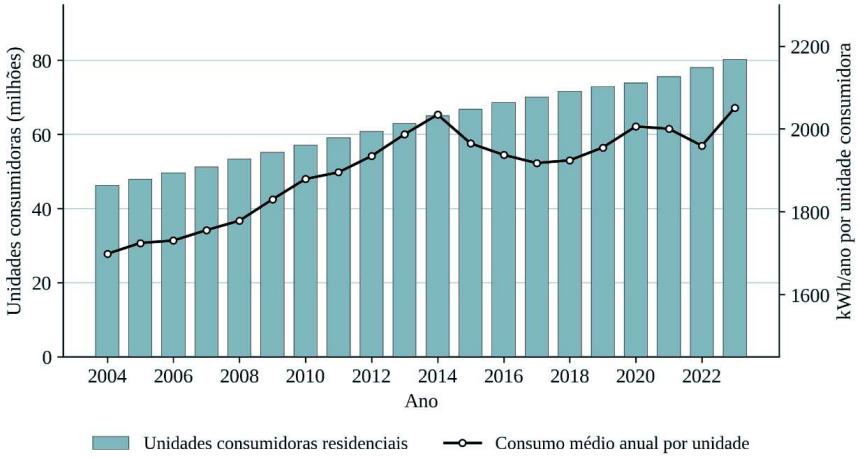
Embora a energia seja consumida em atividades individuais, o consumo residencial decompõe-se em dois componentes de natureza distinta. O primeiro é aproximadamente invariante ao número de moradores, pois a refrigeração de alimentos, a iluminação das áreas comuns, os equipamentos de conectividade e, em alguma medida, a climatização dos ambientes atendem simultaneamente a todos os residentes, de modo que seu uso por um morador adicional não é rival no sentido econômico estrito (Nelson, 1988). O segundo varia com o número de usuários e com a intensidade de uso, como no aquecimento de água, na lavagem de roupas, na cocção e nos dispositivos pessoais (Barten, 1964).

Dado que o primeiro componente independe, dentro de certos limites, do número de moradores, o consumo domiciliar não corresponde à soma de consumos individuais, mas a uma função côncava do tamanho do domicílio. Um refrigerador, um roteador, um televisor ou parte da iluminação não passam a consumir metade da energia quando o domicílio deixa de ter duas pessoas e passa a ter apenas uma, por exemplo. Desse mecanismo decorrem duas implicações que orientam o restante da revisão. A primeira refere-se ao nível de análise. Abordagens centradas exclusivamente no indivíduo atribuem a cada morador um consumo que, na origem, constitui propriedade da unidade de moradia; com isso, fica comprometida a mensuração do componente compartilhado da demanda. A segunda refere-se à dinâmica demográfica. A redução do tamanho médio dos domicílios pode elevar o consumo *per capita* ainda que o consumo por domicílio permaneça estável ou se reduza, de modo que a demanda total por domicílio e a demanda *per capita* seguem trajetórias distintas. Esse mecanismo é designado como economias de escala intradomiciliares.

O comportamento agregado do setor residencial brasileiro mostra-se compatível com essa leitura, ainda que não constitua demonstração dela. Nas últimas décadas, o número de unidades consumidoras residenciais cresceu em ritmo inferior ao do consumo total do segmento. Esse descompasso sugere intensificação do uso de eletricidade por residência. Esse movimento ocorreu em concomitância com a difusão de equipamentos eletroeletrônicos, com a busca por conforto térmico e conectividade e com a redução do número médio de moradores por domicílio.

A Figura 1 sintetiza essa tensão. Enquanto a base de domicílios atendidos crescia de forma persistente, o consumo médio anual por domicílio oscilava em patamar elevado e voltava a crescer no período recente.

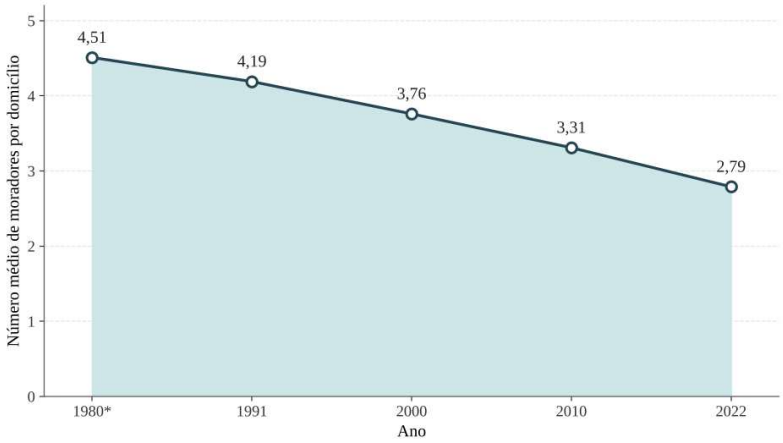
Figura 1 – Evolução dos domicílios atendidos pela rede e consumo médio por domicílio, 2004–2022



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados setoriais de energia elétrica do MME (2023).

A Figura 2 documenta a contraparte demográfica do processo, dada pela queda continuada do número médio de moradores por domicílio. A adoção do domicílio como unidade não implica, contudo, tratá-lo como categoria homogênea. A implicação metodológica é que o número de moradores não pode ser tratado como um regressor cujo efeito seja constante entre subpopulações, e a heterogeneidade desse efeito é parte do objeto, e não ruído a ser eliminado por agregação.

Figura 2 – Média de moradores por domicílio, Brasil



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados dos Censos Demográficos (IBGE).
Nota: * Dado do Banco Multidimensional de Estatísticas (BME).

No Reino Unido, domicílios com três ou mais membros exibiam maior propensão ao

consumo elevado do que os de um ou dois moradores (Jones; Lomas, 2015); na Alemanha, a dispersão do consumo ampliava-se entre domicílios com quatro ou mais membros (Frondel *et al.*, 2019); na Grécia, o consumo domiciliar crescia com a renda disponível, o nível educacional, a idade e o número de membros ocupados ao longo de toda a distribuição condicional (Kostakis, 2020). A convergência é suficientemente ampla para que o sinal positivo do número de moradores sobre o consumo total possa ser tomado como premissa, e não como hipótese a testar.

A queda do consumo *per capita* com o tamanho do domicílio foi verificada nos Estados Unidos por O'Neill e Chen (2002), documentada em corte transversal por Huebner *et al.* (2016) e Xu *et al.* (2020) e replicada, para o Brasil, por Simões e Leder (2022). A magnitude do efeito, todavia, importa mais do que seu sinal. Uma das poucas estimativas obtidas com dados longitudinais proveio de Wu *et al.* (2021), que, com painel representativo de domicílios chineses entre 2010 e 2016, quantificaram em 17,0% a 23,6% a elevação do consumo *per capita* associada à redução de um morador. O resultado refere-se à China e não se transpõe ao Brasil, dadas as diferenças de clima, de estrutura tarifária e de composição dos usos finais; oferece, quando muito, uma referência de ordem de grandeza para o que pode estar em jogo na queda brasileira de 3,31 para 2,79 moradores por domicílio entre 2010 e 2022. Daí o interesse em estimar a magnitude dessa diferença com dados brasileiros, e não apenas confirmar o sinal do efeito.

Três qualificações delimitam a validade dessa proposição. A primeira é que o efeito de escala não é linear, como mostraram Hung e Huang (2015), que identificaram relação em formato de U, cujo ponto de inflexão se situava em domicílios de três membros; as economias de escala esgotavam-se, portanto, a partir de certo tamanho. Huang (2022), com modelos de limiar (*threshold models*) aplicados à *Family Income and Expenditure Survey* de Taiwan de 2020, estendeu o argumento ao encontrar que o efeito de escala decorrente do acréscimo de um morador somente se manifestava em domicílios com três ou mais membros. A implicação é que, se as economias de escala são descontínuas, o impacto demográfico da redução do tamanho dos domicílios depende de onde, na distribuição, essa redução ocorre, ou seja, a transição de três para dois moradores pode não ser energeticamente equivalente à de dois para um, e uma especificação linear no número de moradores impõe, por construção, uma equivalência que a evidência disponível não sustenta.

A segunda qualificação é que o efeito não é homogêneo ao longo da distribuição do consumo. Huebner *et al.* (2016) verificaram que a dispersão do consumo aumentava com o tamanho do domicílio, e Kim (2020) e Zhang *et al.* (2017) encontraram efeitos do número de moradores que variavam conforme o nível de consumo do próprio domicílio. Huang (2022) reuniu as duas qualificações ao investigar a relação entre a composição do domicílio e o consumo residencial de eletricidade em Taiwan e encontrou que os efeitos da composição e do tamanho do domicílio diferiam conforme o tamanho e o nível de consumo de eletricidade, resultado que aponta para relações não lineares dependentes da posição

do domicílio na distribuição. Disso decorre uma implicação metodológica: estimadores de média condicional podem produzir um efeito que não descreve bem nenhum segmento particular da distribuição. Daí o recurso a métodos que a examinem explicitamente, seja pela regressão quantílica, como em Kostakis (2020), seja por modelos de limiar de corte transversal, como em Huang (2022).

A terceira qualificação, a validade externa, é a que mais motiva a análise aqui proposta. Os estudos disponíveis trataram majoritariamente de contextos nos quais o aquecimento de ambientes respondia por parcela dominante do consumo residencial (Reino Unido, Alemanha, Irlanda, China setentrional), ou nos quais a estrutura tarifária diferia substancialmente da brasileira. Como o componente compartilhado do consumo é justamente aquele mais sensível ao clima e à tecnologia de climatização predominante, não há razão para presumir que a magnitude das economias de escala estimada nesses contextos se transfira ao caso brasileiro. A forma funcional e a magnitude da relação no Brasil permanecem, assim, como questão empírica em aberto.

As três qualificações aparecem reunidas em Huang (2022), que é, entre os trabalhos revisados, o de desenho mais próximo ao adotado neste capítulo. A autora estimou modelos de limiar de corte transversal, segundo o procedimento de Gannon, Harris e Harris (2014), sobre os 16.478 domicílios da *Family Income and Expenditure Survey* de Taiwan de 2020, tomando como variável dependente o consumo anual de eletricidade *per capita* e medindo a composição pelo número de moradores em cinco faixas etárias. Na especificação linear, o morador adicional associou-se a uma redução de 326,5 kWh *per capita*, com coeficientes etários todos negativos e próximos entre si; o teste RESET, contudo, rejeitou a forma funcional linear, e essa rejeição motivou o recurso aos limiares.

Os modelos de limiar mostraram por que a média condicional era insuficiente. Com o tamanho do domicílio como variável de limiar, o efeito do morador adicional era positivo abaixo de três moradores, +1.389,0 kWh nos unipessoais e +144,9 kWh nos de dois, e negativo a partir daí, até −264,5 kWh nos maiores. Com o nível de consumo como limiar, o efeito permaneceu negativo em toda a distribuição, mas seu módulo caiu de −1.099,9 kWh, no regime de menor consumo, para −57,4 kWh, no de maior. O padrão etário acompanhou essa lógica: o morador de 45 a 64 anos gerou a maior economia de escala, o de 25 a 44 elevou o consumo nos domicílios pequenos e o idoso inverteu de sinal entre os extremos da distribuição, de −1.589,1 a +250,8 kWh. Trata-se de valores próprios do contexto tarifário e climático taiwanês, obtidos, ademais, com consumo imputado a partir da despesa pela tarifa progressiva; o que se aproveita aqui é a estratégia de identificação da não linearidade, e não as magnitudes estimadas.

3.1.2 O mecanismo etário: intensidade de uso e confundimento com a escala

A idade correlaciona-se com a posse de equipamentos, com o tempo de permanência no domicílio e com o padrão de atividades, de modo que membros em idade ativa plena tenderiam a demandar mais serviços energéticos. A evidência que isola esse mecanismo, tipicamente aquela que mede a idade pela composição dos membros e o consumo em nível domiciliar, converge para um perfil não monotônico, com pico nas idades intermediárias. Su (2019), com amostra de 7.677 domicílios taiwaneses coletada entre 2014 e 2017, verificou maior consumo *per capita* entre indivíduos de 35 a 64 anos, atribuindo-o à sua condição de principais provedores, com maior aquisição e uso de equipamentos intensivos em energia. O padrão repetiu-se na Irlanda, onde o consumo era significativamente superior nos domicílios cujos membros tinham de 45 a 64 anos, com redução expressiva acima dos 64 (Leahy; Lyons, 2010), e nos Estados Unidos, onde os domicílios com membros acima de 55 anos ou entre 19 e 35 anos apresentavam consumo mais reduzido (Kavousian *et al.*, 2013). McLoughlin *et al.* (2012) qualificaram o padrão ao encontrarem, também na Irlanda, consumo crescente com a idade até as faixas mais altas, divergência que ilustra a sensibilidade desses resultados ao recorte das faixas etárias adotado.

O segundo mecanismo, o confundimento entre idade e escala, reconcilia os resultados aparentemente opostos. O envelhecimento do responsável vem acompanhado da redução do número de moradores (saída dos filhos, viuvez, formação de arranjos unipessoais). Consequentemente, um domicílio envelhecido é, em média, um domicílio pequeno, e um domicílio pequeno é, pelo mecanismo da seção 3.1.1, intensivo em consumo *per capita*. Por isso Bardazzi e Pazienza (2023) e Cho *et al.* (2022) encontraram domicílios chefiados por idosos mais intensivos em energia *per capita*, em razão do menor tamanho, do maior número de cômodos por pessoa, do maior tempo de permanência em casa e de necessidades associadas à saúde, ao passo que Su (2019), Leahy e Lyons (2010) e Kavousian *et al.* (2013) apontaram menor consumo entre idosos. Os dois grupos de resultados não se contradizem: o primeiro mediu consumo *per capita* em domicílios cujo tamanho era endógeno à idade; o segundo mediu consumo domiciliar total, no qual o efeito de escala atuava em sentido contrário ao de intensidade. A resultante depende de qual efeito domina, e isso varia com o clima, com a composição domiciliar predominante e com o contexto institucional.

Essa chave interpretativa explica também a divergência quanto à presença de crianças. Sobre o consumo total, o sinal positivo predominou: adultos que residiam com crianças consumiam mais do que os que viviam sozinhos ou apenas com outros adultos (McLoughlin *et al.*, 2012); domicílios com crianças consumiam cerca de um quinto a mais de eletricidade (Brounen *et al.*, 2012); o número de crianças afetava positivamente o consumo (Hansen, 2018; Romero-Jordán *et al.*, 2016). Decisivo, porém, é que Brounen *et al.* (2012) registraram simultaneamente menor consumo *per capita* nesses domicílios, ou seja, o mesmo dado sustentou sinais opostos conforme a métrica, exatamente como previsto.

Os resultados discordantes situaram-se, coerentemente, do lado do consumo total: Hasanov e Mikayilov (2017) verificaram, no Azerbaijão, menor consumo associado à faixa de 0 a 14 anos, e Leahy e Lyons (2010) não encontraram, na Irlanda, diferenças significativas entre domicílios com e sem crianças. No Brasil, Simões e Leder (2022) constataram que domicílios de três membros, um deles criança, consumiam o equivalente a domicílios de seis ou sete adultos, atribuindo-o ao uso de ventiladores e a atividades de lazer intensivas em energia, achado que, se confirmado em amostra representativa, indicaria que o efeito da criança no clima brasileiro supera largamente o documentado em climas temperados.

A evidência brasileira, examinada sob essa chave, deixa de ser anômala. Abrahão e Souza (2021) identificaram maiores consumos nos grupos de 0 a 59 anos, com destaque para a população economicamente ativa de 15 a 59 anos, resultado alinhado ao mecanismo de intensidade. Já Diógenes (2015, 2022) e Diógenes e Ojima (2020) encontraram consumo *per capita* mais elevado nos domicílios cujo responsável tinha idade mais avançada. No último, a taxa específica de consumo (TEC) crescia de forma monotônica com a idade do chefe, de cerca de 45,5 kWh nos domicílios com chefe abaixo de 20 anos para 78,0 kWh naqueles com chefe de 70 anos ou mais. Os autores concluíram que a transição da estrutura etária domiciliar pressionava o consumo agregado ainda que a população crescesse a taxas decrescentes. O perfil crescente não contradiz o pico intermediário encontrado em Taiwan, na Irlanda e nos Estados Unidos, pois mede outra coisa. Ao tomar o consumo *per capita* e aferir a idade pelo responsável, a TEC incorporou à taxa de cada faixa etária os efeitos de escala e de renda dos domicílios envelhecidos, em geral menores e de maior renda *per capita*, limitação que os próprios autores reconheceram (Diógenes, 2015; Diógenes; Ojima, 2020). O que a série documentou não foi, portanto, que idosos usassem mais eletricidade, mas que os domicílios chefiados por idosos concentravam arranjos menores, de consumo *per capita* mais elevado, proposição de conteúdo e de implicações analíticas distintas.

A interação entre os dois mecanismos, escala e idade, foi, ela própria, objeto de investigação recente. Huang (2022) demonstrou que, em domicílios de um ou dois moradores, o acréscimo de um membro de 25 a 44 anos elevava o consumo mais do que o de membros de outras faixas; o efeito etário era, portanto, condicional ao tamanho do domicílio, e não aditivo a ele. Vo (2025), com microdados vietnamitas, e Wijaya *et al.* (2013), com mais de dois milhões de observações domiciliares na Indonésia entre 2017 e 2024, confirmaram que idade do responsável e composição etária permaneciam estatisticamente associadas ao consumo mesmo após controle por renda, preço da eletricidade, características da moradia e posse de equipamentos. A idade, portanto, não opera apenas como *proxy* de capacidade aquisitiva. O Quadro 1A do Apêndice sistematiza a evidência sob essa organização, explicitando a métrica de cada estudo.

3.1.3 Limites da evidência disponível e lacuna de pesquisa

Resta qualificar o quanto a evidência disponível permite afirmar sobre esses mecanismos. Dois limites merecem registro, pois delimitam tanto o alcance das conclusões da literatura examinada quanto o desenho da análise empírica deste capítulo. Há, antes de tudo, um problema de identificação. Quase toda a evidência examinada, com a exceção parcial de Wu *et al.* (2021) e Bardazzi e Pazienza (2023), que dispuseram de dados longitudinais, proveio de cortes transversais nos quais tamanho e composição etária do domicílio eram tratados como exógenos ao consumo. A decisão de coabitar, o tamanho da moradia e o número de moradores são escolhas conjuntas, condicionadas por renda permanente e por preços da habitação. Os coeficientes estimados devem ser lidos como associações condicionais, e não como efeitos causais. Essa ressalva raramente foi explicitada pelos autores dos estudos examinados.

Resta a questão da validade externa e da escala das amostras. A evidência brasileira específica é escassa e apoia-se, em parte, em amostras de alcance limitado. Simões e Leder (2022) analisaram dois conjuntos habitacionais em João Pessoa (PB), desenho valioso pela riqueza de detalhe, mas insuficiente para sustentar inferência nacional. A evidência de maior fôlego (Diógenes; Ojima, 2020) baseou-se na POF 2008/2009, anterior à aceleração do envelhecimento e da unipessoalização documentada no Censo de 2022, e organizou-se em torno da idade do responsável, com as limitações interpretativas apontadas na seção 3.1.2.

Desses limites decorre a lacuna desta tese: na literatura consultada, não foram identificados, para o Brasil, trabalhos que reúnam simultaneamente o uso de microdados domiciliares de abrangência nacional recente, o tratamento conjunto de tamanho e composição etária, a admissão de não linearidade no número de moradores e o exame da heterogeneidade do efeito ao longo da distribuição do consumo. É possível que estudos com esse desenho existam e não tenham sido alcançados pela revisão aqui empreendida. É a esse espaço que a análise empírica deste capítulo procura contribuir.

Formalmente, a revisão sustenta três hipóteses a serem testadas com os microdados da POF 2017/2018. A primeira (H1) é que o consumo total de eletricidade cresce com o número de moradores, ao passo que o consumo *per capita* decresce, em razão das economias de escala intradomiciliares (seção 3.1.1). A segunda (H2) é que a magnitude dessas economias não é constante, atenuando-se a partir de determinado número de moradores e variando ao longo da distribuição do consumo (seção 3.1.1, primeira e segunda qualificações). A terceira (H3) é que a composição etária exerce efeito próprio sobre o consumo *per capita*, condicional ao tamanho do domicílio (seção 3.1.2).

A seção seguinte apresenta os modelos, a base de dados e a estratégia empírica adotadas para examinar essas hipóteses.

3.2 METODOLOGIA

Neste estudo, a análise da relação entre a composição domiciliar e o consumo de energia elétrica no Brasil é abordada por meio da aplicação de dois modelos: o modelo de regressão linear e o modelo de limites ótimos. Os procedimentos metodológicos envolvem a estimação inicial do modelo de regressão linear, com o propósito de avaliar se a relação entre a composição domiciliar e o consumo de eletricidade é linear. Caso seja identificada uma relação não linear, o modelo de limites ótimos é empregado como uma abordagem adequada para capturar a heterogeneidade no consumo de energia elétrica, que surge em decorrência das diferentes composições domiciliares. A Figura 4A do Apêndice A resume os procedimentos metodológicos desta análise, da organização dos microdados da POF à estimação e à seleção dos modelos.

3.2.1 Modelo de regressão linear

O modelo de regressão linear da relação da composição domiciliar no consumo de energia elétrica pode ser escrito da seguinte forma:

$$C_i = \alpha + \beta X_i + \theta Z_i + u_i \tag{1}$$

Em que C é o consumo de energia elétrica *per capita* do domicílio; X representa a composição domiciliar; Z é o vetor de variáveis de controle de outras características do domicílio; α, β e θ são os parâmetros estimados; u é o termo de erro; e i indexa os domicílios (i = 1, 2, ..., 16.468).

A estimação do modelo de regressão linear envolve inicialmente a utilização do método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). No entanto, Marazzi (1993) destaca que, na presença de *outliers* nos dados, a suposição de que os erros seguem uma distribuição normal torna-se inválida. Para lidar com esse tipo de problema, a regressão robusta é empregada, executando um procedimento iterativo para identificar *outliers* e reduzir seu impacto nas estimativas dos coeficientes de regressão. A principal diferença em relação à estimação por MQO reside na função objetivo da regressão robusta, que pode adotar uma função de perda diferente, atribuindo menor peso aos resíduos de grande magnitude. A escolha adequada da função de perda é crucial para obter robustez e alta eficiência gaussiana.

Conforme observado por Verardi e Croux (2009) os estimadores MM, desenvolvidos por Yohai (1987), constituem o método mais adequado, devido à alta resistência a *outliers* e alta eficiência para modelos de regressão com erros que seguem uma distribuição normal. As estimativas MM são obtidas em três etapas. Na primeira etapa, é calculada uma estimativa inicial de regressão que é consistentemente robusta e apresenta um alto ponto de ruptura, embora não seja necessariamente eficiente. Na segunda etapa, é calculada uma

estimativa M da escala dos erros, utilizando resíduos baseados na estimativa inicial. Por fim, na terceira etapa, é calculada uma estimativa M dos parâmetros de regressão com base no estimador de escala obtido na segunda etapa. A consistência e a normalidade assintótica das estimativas MM são verificadas, e um algoritmo numérico iterativo convergente é fornecido para sua aplicação.

Conforme Wooldridge (2015) destacou, as relações lineares não são suficientes para todas as aplicações econômicas. Nesse contexto, o teste de erro de especificação de regressão RESET de Ramsey (1969) pode ser utilizado para avaliar se a inclusão de combinações não lineares de variáveis explicativas pode ajudar a explicar a variável dependente. A implementação do teste RESET consiste em adicionar os termos quadrados e cúbicos dos valores ajustados como variáveis explicativas. A hipótese nula associada a esse teste postula que os coeficientes dos termos adicionados são iguais a zero. Uma estatística F significativa indica que o modelo linear está mal especificado, sugerindo a necessidade de considerar um modelo de regressão não linear.

3.2.2 Modelo de limites ótimos

A análise não linear permite corrigir estimativas tendenciosas em pressupostos lineares e capturar características assimétricas e não lineares de determinados fenômenos econômicos. Sob a hipótese de que a relação entre o consumo doméstico de energia elétrica e a composição domiciliar pode variar dependendo do tamanho do domicílio e do nível de consumo de energia elétrica, o modelo proposto por Gannon, Harris e Harris (2014) foi utilizado para avaliar os efeitos dos limites das características demográficas.

Esse método permite que os coeficientes de regressão variem de acordo com os valores da variável de limite, indicando a possibilidade de coeficientes não constantes no modelo. Portanto, o modelo de coeficiente constante pode ser expandido para acomodar efeitos diferenciais de X sobre C, que são determinados pelos valores da variável de limite. Nesse contexto, C representa o consumo de energia doméstica *per capita*, X denota a composição domiciliar, e Z representa um vetor de outras variáveis explicativas. Com base no estudo de Huang (2022), o modelo de limite ótimo pode ser expresso da seguinte forma:

$$C_i = \alpha + \sum_{m=1}^{M} \beta_m \left(X_i D_{m,1}\right) + \theta Z_i + u_i \tag{2}$$

α e β são os parâmetros estimados; D é uma variável *dummy,* com os indicadores de subpopulações definidos da seguinte forma:

$$D_{m,i} = 1\left\{\tau_{m-1} < D_i \leq \tau_m\right\}, m = 1, \ldots, M, \tag{3}$$

onde $\tau_1, \ldots, \tau_{M-1}$ representam os parâmetros de limiar e M é o número de subpopulações ou regimes, determinado pelos limiares τ. Além disso, $1\{\mathrm{A}\}$ é a função indicadora

que assume valor 1 se for verdadeiro e 0 caso contrário. Portanto, $D_{m,1}$ é igual a 1 se a observação i satisfizer as condições de limiar para a subpopulação m e 0 caso contrário. Se houver M populações, haverá $(M-1)$ parâmetros de limiar. Este modelo divide os dados em M subpopulações, cada uma com um coeficiente X_i dado por $\beta_1, \ldots, \beta_M$. Sob a suposição do número de subpopulações, os valores ótimos dos parâmetros são estimados pelo método de máxima verossimilhança. Em relação ao número de subpopulações, Gannon, Harris e Harris (2014) sugeriram que esse número fosse estimado considerando todos os modelos possíveis com m subpopulações, onde *m=1,...,M*. A seleção do modelo é feita comparando os valores do Critério de Informação Bayesiano (BIC) para todos os modelos possíveis e optando pelo modelo com o menor valor do critério.

Para avaliar a adequação do modelo de limite em relação ao modelo de regressão linear, utilizou-se o teste de razão de verossimilhança para comparar o ajuste entre os modelos. As estatísticas do teste de razão de verossimilhança são aproximadas por uma distribuição qui-quadrado. O teste avalia a variação no poder explicativo entre modelos com m e m+1 subpopulações, seguindo uma distribuição qui-quadrado com graus de liberdade iguais à diferença no número de parâmetros estimados. A hipótese nula do teste de razão de verossimilhança é que o modelo com m+1 subpopulações não apresenta ganho de poder explicativo em relação ao modelo com m subpopulações. Adicionalmente, o critério BIC é utilizado para determinar o número ótimo de subpopulações, selecionando o modelo que, dentre os considerados, melhor se ajusta aos dados, mesmo quando o modelo verdadeiro é desconhecido. Este critério pode ser aplicado para determinar a melhor aproximação para o tamanho dos domicílios ou níveis de consumo de energia elétrica. A significância da inclusão da subpopulação m+1 foi avaliada como um incremento independente da adequação do modelo ajustado, considerando o elevado número de graus de liberdade do modelo mais amplo.

A estimação emprega o método de busca em grade sobre todos os modelos possíveis, m = 1, ..., M, e seleciona o modelo que minimiza o critério de informação Bayesiano (BIC). Dessa forma, estimam-se simultaneamente os parâmetros M, τ e θ. Os resultados obtidos permitiram analisar os efeitos da composição domiciliar no consumo de energia elétrica *per capita*, considerando diferentes tamanhos de domicílio e níveis de consumo de energia elétrica.

A opção pelo modelo de limites ótimos justifica-se pela natureza do fenômeno investigado e pelas limitações das alternativas disponíveis. A relação entre a composição domiciliar e o consumo de energia elétrica *per capita* é, conforme a revisão da seção 3.1, marcada por economias de escala intradomiciliares que se manifestam de forma desigual ao longo da distribuição do tamanho do domicílio e do nível de consumo, padrão que contraria o pressuposto de efeito constante subjacente à regressão linear. Especificações lineares, ainda que corrigidas para *outliers*, impõem um único coeficiente a toda a amostra e, por isso, encobrem a heterogeneidade que constitui o próprio objeto da análise. Uma primeira

alternativa para acomodar não linearidades seria a introdução de termos polinomiais, quadráticos ou cúbicos, na especificação; essa estratégia, contudo, impõe *a priori* uma forma funcional à relação, não identifica os pontos em que o efeito se altera e torna os coeficientes de difícil interpretação econômica (Wooldridge, 2015). O modelo de limites ótimos supera essas restrições ao estimar endogenamente tanto o número de regimes quanto os valores de corte que os separam, permitindo que os coeficientes variem entre subpopulações sem que a forma da não linearidade seja imposta pelo pesquisador.

O método mostra-se, ademais, particularmente adequado ao caso em análise por identificar os limiares a partir dos próprios dados, mediante máxima verossimilhança, e por selecionar o número de subpopulações pelo critério de informação bayesiano e pelo teste de razão de verossimilhança, o que confere ao recorte dos regimes fundamento estatístico, e não arbitrário (Gannon; Harris; Harris, 2014). Essa propriedade é decisiva quando as quebras de comportamento coincidem com categorias de interesse teórico, como o tamanho do domicílio e as faixas de consumo, cujos pontos de transição não são conhecidos *a priori*. O emprego do modelo por Huang (2022) no estudo do consumo residencial de eletricidade segundo a estrutura domiciliar, em contexto comparável ao brasileiro, reforça a pertinência da escolha e permite o cotejo dos resultados. Dessa forma, o modelo de limites ótimos alia a flexibilidade necessária para captar as economias de escala assimétricas discutidas na seção 3.1 ao rigor na determinação dos regimes. Essas propriedades o tornam preferível às especificações lineares e polinomiais para os fins desta análise.

3.2.3 Base de dados

Neste estudo, a base de dados utilizada foi a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) para o Brasil, referente aos anos de 2017/2018, conduzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) com periodicidade quinquenal. A pesquisa tem por objetivo quantificar as estruturas de despesas e receitas das famílias e avaliar a percepção das condições de vida da população, tendo em vista as características dos domicílios e seus moradores.

A POF é realizada por amostragem e abrange domicílios particulares permanentes, com representatividade em todas as unidades da federação, tanto na área urbana quanto na rural. A pesquisa POF relativa ao período 2017-2018 abarcou uma amostra de 178.431 pessoas distribuídas em 57.920 unidades domiciliares, com coleta de dados realizada durante o intervalo de tempo compreendido entre junho de 2017 e julho de 2018 (IBGE, 2019).

No âmbito domiciliar, identifica-se a unidade de investigação primária, conhecida como unidade de consumo (UC), que consiste em um único morador ou um conjunto de moradores que compartilham a mesma fonte de alimentação ou despesas relacionadas à moradia.

A construção da base exigiu um trabalho extenso de tratamento dos microdados. As informações utilizadas encontram-se distribuídas em registros distintos da POF 2017/2018, referentes aos moradores, aos domicílios, às despesas coletivas, ao inventário de bens duráveis e aos rendimentos, que foram integrados por meio das chaves de identificação do domicílio e da unidade de consumo. Do registro de moradores, contabilizou-se o número de residentes em cada faixa etária, identificaram-se as características do responsável e calculou-se a renda *per capita*; do registro de despesas coletivas, extraiu-se a quantidade de energia elétrica consumida, em kWh; e do inventário de bens duráveis, obteve-se a posse de dezesseis tipos de eletrodomésticos, agregada por domicílio. Como apenas parte dos domicílios informou a quantidade consumida, e não apenas o valor da despesa, a amostra foi restrita aos 16.468 domicílios com essa informação, e a presença de valores extremos foi tratada pelos estimadores robustos descritos na seção 3.2.1. Esse trabalho de leitura, padronização e cruzamento de registros referentes a 57.920 domicílios e 178.431 pessoas constituiu etapa prévia indispensável às estimações.

3.2.4 Estratégia de análise

Neste estudo, utiliza-se como variável dependente o consumo doméstico de energia elétrica *per capita* anual, medido em quilowatt-hora (kWh), calculado pela divisão do consumo total de energia elétrica anual pelo número de membros do domicílio.

As variáveis explicativas podem ser classificadas em três categorias: características do chefe do domicílio, características do domicílio e atributos da moradia. As características do chefe do domicílio são idade, sexo e escolaridade. A idade do chefe do domicílio, medida por uma variável contínua, pode revelar a fase do ciclo de vida e os efeitos geracionais no consumo doméstico de eletricidade (Huang, 2015; Schipper *et al.,* 1989; Valenzuela *et al.,* 2014).

O sexo é uma variável *dummy*, com valor 1 se o chefe do domicílio for homem e 0 se a chefe for mulher. Devido às diferentes socializações e papéis sociais, o sexo do chefe pode influenciar no uso de eletricidade e na propensão a mudanças de comportamento de consumo. Estudos conduzidos por Carlsson-Kanyama e Lindén (2007), Räty e Carlsson-Kanyama (2010) e Zelezny *et al.* (2000) indicaram que as mulheres são mais propensas a adotar práticas de economia de energia do que os homens. No entanto, Nisiforou *et al.* (2012) observaram diferenças de sexo nos hábitos de consumo de energia e constataram que as mulheres estavam mais insatisfeitas com a temperatura do ambiente do que os homens. Clark *et al.* (2003) e Martinsson *et al.* (2011) não identificaram diferenças estatisticamente significativas no comportamento e consumo de energia entre homens e mulheres.

O nível de escolaridade é medido pelo grau mais elevado obtido pelo chefe do domicílio. As variáveis *dummies* representam sete níveis de instrução: sem instrução, ensino fundamental incompleto, ensino fundamental completo, ensino médio incompleto,

ensino médio completo, ensino superior incompleto e ensino superior completo. Pessoas mais instruídas podem buscar uma melhor qualidade de vida e, consequentemente, consumir mais energia em comparação com aquelas menos instruídas. Estudos demonstraram que o aumento na educação dos membros do domicílio está associado a maiores despesas com energia, especialmente em relação à iluminação (Miah *et al.,* 2011; Narasimha Rao; Reddy, 2007). Por outro lado, aqueles com maior nível de instrução podem ter uma maior probabilidade de adotar medidas de economia de energia (Huang, 2015).

As características do domicílio são: o tamanho do domicílio, a composição domiciliar e o rendimento domiciliar. O tamanho do domicílio é definido pelo seu número de membros. Na amostra, o tamanho do domicílio varia de 1 a 17 membros. Embora seja possível identificar uma relação positiva entre o consumo total de energia elétrica domiciliar e o tamanho do domicílio, estudos realizados por Brounen *et al.* (2012), Druckman e Jackson (2008) e Fong *et al.* (2007) sugerem que as economias de escala podem influenciar o consumo de energia elétrica em ambiente residencial. Isso ocorre devido ao compartilhamento de aparelhos eletrodomésticos entre os membros, o que pode resultar na redução do consumo de eletricidade *per capita* com a inclusão de um membro.

As variáveis de composição domiciliar são expressas como o número de membros no domicílio nas faixas etárias de 0 a 14 anos, 15 a 24 anos, 25 a 44 anos, 45 a 59 anos e 60 anos ou mais. Visto que os padrões de consumo de energia elétrica podem variar entre as gerações mais jovens e as mais velhas, as variáveis de composição domiciliar podem capturar os efeitos da idade dos seus membros (Huang, 2015, 2022).

A variável renda *per capita* do domicílio é medida em reais (R$) e é calculada pela razão entre a renda total do domicílio e o número de seus membros. Esse indicador de rendimento pode representar a capacidade econômica do domicílio. A maior parte dos estudos indica um efeito positivo e significativo da renda sobre o consumo de energia nos domicílios (Cayla *et al.,* 2011; Huang, 2022; Miah *et al.,* 2011; Pachauri, 2004). Isso sugere que domicílios com rendimentos mais elevados têm maior propensão a utilizar mais energia. Os domicílios com maiores rendimentos, contudo, geralmente dispõem de recursos que lhes permitem adquirir aparelhos e equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético. Essa escolha por aparelhos eficientes, como documentado por (Huang, 2015) pode resultar na redução do consumo de eletricidade. Além disso, outros pesquisadores, como Poortinga *et al.* (2004) e Sardianou (2007), identificaram uma correlação positiva entre renda e a adoção de comportamentos de poupança de energia. Isso implica que domicílios com rendas mais elevadas tendem a adotar práticas de conservação de energia com maior frequência. Contudo, Hori *et al.* (2013) verificaram que o efeito da renda no comportamento da poupança de energia nos domicílios é muito fraco. Isso sugere que outros fatores podem influenciar as decisões de economia de energia.

Os atributos relacionados à habitação incluem a situação de propriedade, o tipo de

moradia, o número de cômodos e a posse de eletrodomésticos. A condição de propriedade é representada por uma *dummy* com três classificações: próprio, alugado ou cedido. Esse *status* de propriedade pode exercer influência sobre a decisão dos moradores quanto ao investimento em eletrodomésticos mais eficientes e sobre sua disposição para adquirir esses dispositivos. Geralmente, os moradores que são proprietários de suas residências têm uma tendência maior a investir em aparelhos energeticamente eficientes e, com isso, a consumir menos energia (Schipper *et al.,* 1989; Valenzuela *et al.,* 2014). No entanto, Kaza (2010) identificou que os proprietários podem ter um incentivo para utilizar sistemas de refrigeração mais eficientes em termos energéticos, mas também são mais propensos a possuir aparelhos que consomem mais energia (Huang, 2022). Portanto, é possível que os domicílios habitados pelos proprietários consumam mais eletricidade do que aqueles habitados por locatários.

A Tabela 1 apresenta as principais estatísticas descritivas das variáveis dependente e independentes utilizadas nas estimações. A escolha dessas variáveis teve como objetivo contemplar características de consumo de energia elétrica dos domicílios, características do chefe do domicílio, características do domicílio e atributos da moradia.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas das variáveis

Variáveis	**Média**	**Desvio-padrão**	**Mínimo**	**Máximo**
Consumo de Energia Elétrica *per capita* anual (kWh)	421,29	270,80	18,46	1.200
Tamanho do Domicílio (N° de moradores)	2,69	1,55	1	17
N° de moradores com idade 0 a 14 anos	1,62	0,92	1	9
N° de moradores com idade 15 a 24 anos	1,4	0,70	1	7
N° de moradores com idade 25 a 44 anos	1,4	0,54	1	5
N° de moradores com idade 45 a 59 anos	1,3	0,48	1	5
N° de moradores com idade 60 anos ou mais	1,3	0,47	1	5
Idade do Chefe do domicílio	50,65	16,90	12	107
Renda *per capita* anual (R$)	15.617,21	21.727,57	0	56.835,15
N° de Eletrodomésticos	5,87	2,81	0	34
Variáveis *Dummies*	**Frequência**	**%**	**Mínimo**	**Máximo**
Tipo de Domicílio:				
Domicílio Unipessoal*	3.998	24,28	0	1
Domicílio de Duas Pessoas	4.743	28,80	0	1
Domicílio de Três Pessoas	3.569	21,67	0	1
Domicílio de Quatro Pessoas	2.289	13,90	0	1

(continua)

(continuação)

Variáveis	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Domicílio de Cinco Pessoas	1.059	6,43	0	1
Domicílio de Seis Pessoas ou Mais	810	4,92	0	1
Sexo do Chefe do Domicílio:				
Feminino*	7.419	45,05	0	1
Masculino	9.049	54,95	0	1
Nível de Instrução do Chefe do Domicílio:				
Sem Instrução*	2.497	15,16	0	1
Ensino Fundamental Incompleto	7.748	47,05	0	1
Ensino Fundamental Completo	1.269	7,71	0	1
Ensino Médio Incompleto	815	4,95	0	1
Ensino Médio Completo	2.938	17,84	0	1
Ensino Superior Incompleto	327	1,99	0	1
Ensino Superior Completo	874	5,31	0	1
Propriedade do Domicílio:				
Domicílio Alugado*	2.755	16,73	0	1
Domicílio Próprio	11.901	72,27	0	1
Domicílio Cedido ou Outro	1.812	11,00	0	1
Tipo de Habitação:				
Casa*	15.488	94,05	0	1
Apartamento	934	5,67		1
Outro tipo de Habitação	46	0,28	0	1
Número de Cômodos por Domicílio:				
Domicílio de um Cômodo*	52	0,32	0	1
Domicílio de Dois Cômodos	309	1,88	0	1
Domicílio de Três Cômodos	1.158	7,03	0	1
Domicílio de Quatro Cômodos ou mais	14.949	90,78	0	1
Total de Observações		**16.468**		

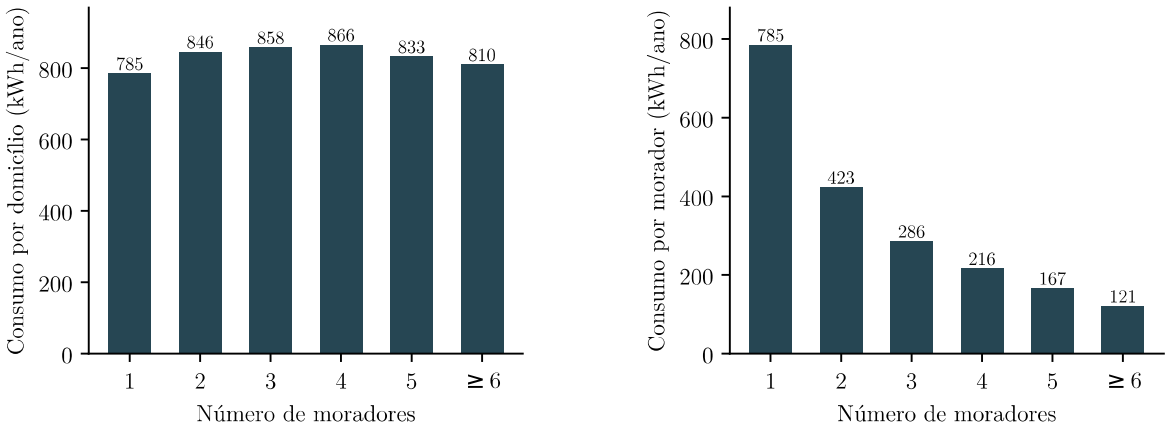
Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2017/2018 (IBGE, 2019).
Nota: * Utilizado como categoria de referência.

O número de cômodos é uma variável *dummy* com quatro classificações: um cômodo, dois cômodos, três cômodos, quatro cômodos ou mais. Um maior número de cômodos pode estar associado a maior consumo de energia elétrica (Craice, 2016). A posse de eletrodomésticos também contribui para o aumento das necessidades energéticas no domicílio (Huang, 2015). O número de eletrodomésticos, para fins de análise agregada,

inclui DVD e Blu-Ray, ar-condicionado, chuveiro elétrico, equipamento de som, ferro elétrico, forno elétrico, micro-ondas, *freezer*, geladeira, máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa, microcomputador ou *notebook*, purificador de água, *tablet*, televisão e ventilador ou circulador de ar.

A Figura 3 apresenta o consumo médio de energia elétrica em 2017/2018 para domicílios de diferentes tamanhos. O consumo médio de energia elétrica no domicílio é mais elevado quando o número de moradores é de até quatro pessoas. À medida que o tamanho do domicílio aumenta, o consumo de energia *per capita* diminui. Nos domicílios unipessoais, o consumo médio de eletricidade é de aproximadamente 785 kWh *per capita*, enquanto nos domicílios com seis pessoas ou mais, o consumo médio é cerca de 121 kWh *per capita*.

Figura 3 – Consumo médio de energia elétrica em 2017/2018 para domicílios de diferentes tamanhos



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2017/2018 (IBGE, 2019).
Nota: O tamanho médio dos domicílios com seis ou mais membros é de 6,9.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo, os modelos de regressão linear e de limites ótimos foram utilizados para estimar a relação entre a composição domiciliar e o consumo de energia elétrica no Brasil. O modelo de regressão linear foi empregado para estimar como o uso de energia elétrica se altera com a composição e o tamanho do domicílio. Por sua vez, o modelo de limites ótimos foi utilizado para captar como o efeito da composição domiciliar sobre o consumo de energia *per capita* varia entre subpopulações de domicílios. Os resultados dos modelos são apresentados e discutidos nas duas próximas subseções.

Os resultados apresentados a seguir decorrem de um conjunto amplo de estimações, organizadas em quatro etapas. Na primeira, estimaram-se por mínimos quadrados ordiná-

rios três especificações (Modelos 1(A), 1(B) e 1(C)), que diferem na forma de representar o tamanho e a composição do domicílio. Na segunda, diante da presença de *outliers*, as mesmas três especificações foram reestimadas pelo estimador robusto MM (Modelos 2(A), 2(B) e 2(C)). Na terceira, estimaram-se os modelos de limites ótimos com o tamanho do domicílio (Modelo 3) e o nível de consumo (Modelo 4) como variáveis de limite; para cada um, foram estimadas versões com uma a seis subpopulações, num total de 12 modelos, entre os quais se selecionou o de menor BIC. Na quarta, os modelos de limites ótimos foram estimados separadamente para cada uma das cinco faixas etárias, com o tamanho do domicílio (Modelos 5(A) a 5(E)) e com o nível de consumo (Modelos 6(A) a 6(E)) como variáveis de limite, novamente com uma a seis subpopulações para cada faixa, o que corresponde a 60 modelos. Ao todo, foram estimados 78 modelos, dos quais os 18 selecionados são apresentados nas Tabelas 2 a 6.

3.3.1 Resultados do modelo de regressão linear

Os resultados desta seção foram obtidos pela estimação da especificação de regressão linear apresentada na seção 3.2.1. A Tabela 2 apresenta os resultados do modelo de regressão linear robusto estimado por MQO. O modelo considera três tipos de especificações diferentes para capturar os efeitos dos membros do domicílio no consumo de energia elétrica, considerando as características do chefe do domicílio, características do domicílio e atributos de moradia.

Tabela 2 – Resultados das regressões robustas de MQO para consumo de energia elétrica *per capita*

Variáveis Explicativas	**Modelo 1 (A)**	**Modelo 1 (B)**	**Modelo 1 (C)**
Tamanho do Domicílio	-111,68***	-	-
	(1,77)		
N° de Membros 0-14 anos	-	-85,53***	-
		(1,99)	
Nº de Membros 15-24 anos	-	-104,40***	-
		(2,40)	
Nº de Membros 25-44 anos	-	-143,05***	-
		(2,85)	
N° de Membros 45-59 anos	-	-145,86***	-
		(3,35)	
Nº de Membros 60 anos ou mais	-	-174,75***	-
		(4,29)	
Domicílio de Duas Pessoas	-	-	-363,06***
			(4,46)
Domicílio de Três Pessoas	-	-	-497,84***

(continua)

(continuação)

Variáveis Explicativas	**Modelo 1 (A)**	**Modelo 1 (B)**	**Modelo 1 (C)**
			(4,58)
Domicílio de Quatro Pessoas	-	-	-565,65***
			(4,73)
Domicílio de Cinco Pessoas	-	-	-607,86***
			(4,88)
Domicílio de Seis Pessoas ou mais	-	-	-648,37***
			(4,97)
Idade do Chefe do Domicílio	1,38***	3,19***	0,31***
	(0,12)	(0,17)	(0,09)
Sexo do Chefe do Domicílio (masculino)	-17,39***	-7,37**	-13,09***
	(2,95)	(2,95)	(2,31)
Fundamental Incompleto	27,16***	24,58***	17,68***
	(4,64)	(4,57)	(3,74)
Fundamental Completo	32,98***	29,66***	18,91***
	(6,93)	(6,88)	(5,65)
Médio Incompleto	22,79***	19,94**	26,06***
	(7,94)	(7,85)	(6,18)
Médio Completo	30,55***	33,38***	26,72***
	(6,05)	(5,98)	(4,77)
Superior Incompleto	60,91***	66,13***	36,47***
	(13,14)	(13,30)	(10,14)
Superior Completo	48,59***	52,51***	38,73***
	(10,19)	(10,19)	(7,22)
Renda *Per capita*	0,002***	0,002***	0,001***
	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Domicílio Próprio	-15,68***	-11,78***	0,56
	(4,34)	(4,33)	(3,55)
Domicílio Cedido ou outro	-11,13*	-12,15**	-3,98
	(5,70)	(5,64)	(4,66)
Apartamento	31,79***	31,33***	14,59**
	(7,94)	(7,82)	(6,12)
Outro tipo de habitação	-1,19	6,96	-12,50
	(33,91)	(33,15)	(27,94)
Domicílio de Dois Cômodos	54,09*	69,97**	32,66
	(27,95)	(28,24)	(26,86)
Domicílio de Três Cômodos	56,12**	74,87***	55,91**
	(25,77)	(26,04)	(25,01)
Domicílio de Quatro Cômodos ou mais	23,04	48,08*	57,11**
	(25,01)	(25,34)	(24,50)

(continua)

(continuação)

Variáveis Explicativas	**Modelo 1 (A)**	**Modelo 1 (B)**	**Modelo 1 (C)**
N° de Eletrodomésticos	1,62**	2,98***	9,02***
	(0,63)	(0,63)	(0,46)
Constante	584,93***	504,30***	640,19***
	(27,03)	(27,47)	(25,75)
Teste RESET	F(3, 16.446) = 2.232,62***	F(3, 16.441) = 688,09***	F(3, 16.442) = 160,27***
Total de Observações		16.468	

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.
Nota: *, ** e *** representam os níveis de significância de 10%, 5% e 1% respectivamente. Os valores entre parênteses são erros padrão. As categorias de referência omitidas para as variáveis qualitativas são: Domicílio Unipessoal (para tipo de domicílio), Feminino (para sexo), Sem Instrução (para instrução do chefe do domicílio), Domicílio Alugado (para propriedade do domicílio), Casa (para tipo de habitação) e Domicílio de um Cômodo (para número de cômodos por domicílio).

O Modelo 1(A) utiliza o tamanho do domicílio como medida para avaliar o efeito de um membro adicional no consumo de energia elétrica *per capita*. No Modelo 1(B), são incorporadas variáveis que representam o número de membros no domicílio por faixa etária: 0 a 14 anos, 15 a 24 anos, 25 a 44 anos, 45 a 59 anos e 60 anos ou mais. Isso permite avaliar os efeitos diferenciais relacionados à idade dos membros. No Modelo 1(C), são utilizadas variáveis *dummies* para o tipo de domicílio, que incluem domicílios com uma pessoa, duas pessoas, três pessoas, quatro pessoas, cinco pessoas, seis pessoas ou mais. Essa especificação visa medir a diferença no consumo de energia elétrica *per capita* devido ao tamanho do domicílio, sendo o grupo de referência os domicílios unipessoais.

Após a estimação das regressões pelo método de mínimos quadrados ordinários, foram realizadas análises gráficas para identificar a presença de *outliers*, que foram detectados, como mostra a Figura 1A do Apêndice A. Como observado por Marazzi (1993), na presença de *outliers,* a suposição de que os erros seguem uma distribuição normal torna-se inválida. Para lidar com esse problema, os modelos de regressão robusta são estimados pelo estimador MM, reconhecido por sua alta resistência à presença de *outliers* e alta eficiência para modelos com erros que seguem uma distribuição normal.

Os resultados da Tabela 2 confirmaram a presença de economias de escala no consumo domiciliar de eletricidade. No Modelo 1(A), cada morador adicional reduziu o consumo *per capita* anual em 111,68 kWh, o equivalente a 26,5% da média amostral (421,29 kWh). O Modelo 1(C), que substitui o termo linear por *dummies* de tamanho, mostrou que essa redução não foi constante. Em relação ao domicílio unipessoal, o consumo *per capita* foi 363,06 kWh menor nos domicílios de duas pessoas e 648,37 kWh menor nos de seis ou mais, mas a redução marginal decresceu a cada morador acrescentado: 363,06

kWh na passagem de um para dois moradores, 134,78 kWh de dois para três, 67,81 kWh de três para quatro e cerca de 41 kWh nas passagens seguintes. Mais da metade da diferença entre os extremos (56%) concentrou-se, portanto, na saída do arranjo unipessoal. O padrão é coerente com a literatura que associa as economias de escala domésticas ao compartilhamento de equipamentos e espaços (Brounen *et al.*, 2012; Druckman; Jackson, 2008; Fong *et al.*, 2007) e com o maior consumo *per capita* dos domicílios unipessoais (Yates, 2018). Como o número de eletrodomésticos foi mantido constante nas estimações, esses coeficientes captaram apenas a parcela do compartilhamento que não passa pela posse de equipamentos, de modo que o efeito total de escala tende a ser superior ao estimado.

O Modelo 1(B) mostrou que a diluição dependeu da idade do morador acrescentado, como sugerem Huang (2015, 2022). Todos os coeficientes foram negativos, mas sua magnitude cresceu com a idade, de −85,53 kWh para moradores de 0 a 14 anos a −174,75 kWh para os de 60 anos ou mais. Como a variável dependente é expressa *per capita*, a leitura exige cuidado: um coeficiente menos negativo não indica menor consumo, e sim que o morador adicional acrescentou mais ao consumo total do domicílio e, por isso, reduziu menos a média por pessoa. Mantidas constantes a renda e a posse de eletrodomésticos, crianças e jovens elevaram o consumo total mais do que adultos e idosos. Por se tratar de efeitos médios para toda a amostra, esses coeficientes podem ocultar diferenças segundo o tamanho do domicílio, examinadas adiante pelo modelo de limites ótimos.

A idade do chefe apresentou efeito positivo nos três modelos, compatível com a leitura do ciclo de vida (Huang, 2015; Schipper *et al.*, 1989; Valenzuela *et al.*, 2014), mas sua magnitude dependeu da forma como o tamanho do domicílio foi controlado. No Modelo 1(A), uma diferença de 30 anos na idade do chefe associou-se a cerca de 41 kWh a mais *per capita*; no Modelo 1(C), com *dummies* de tamanho, a mesma diferença correspondeu a apenas 9 kWh, cerca de 2% da média. A redução reforça a interpretação de que o gradiente etário descrito na literatura nacional, como em Diógenes e Ojima (2020), refletia em boa parte o menor tamanho dos domicílios chefiados por pessoas mais velhas.

As variáveis de controle mostraram-se, em geral, coerentes com a literatura que orientou sua escolha. A renda *per capita* associou-se positivamente ao consumo, como em Cayla *et al.* (2011), Miah *et al.* (2011), Pachauri (2004) e Huang (2022), mas com efeito modesto: na renda média da amostra (R$ 15.617), correspondeu a cerca de 16 a 31 kWh *per capita*, conforme o modelo; parte da influência da renda parece, portanto, ter se transmitido pela posse de eletrodomésticos, também controlada. O número de aparelhos associou-se positivamente ao consumo, em linha com Huang (2015), e, no Modelo 1(C), a posse média de 5,87 aparelhos correspondeu a cerca de 53 kWh *per capita*. A escolaridade do chefe elevou o consumo em relação aos chefes sem instrução, com acréscimos entre 18 e 66 kWh, maiores no ensino superior. O resultado aproxima-se, assim, da hipótese de que maior instrução se traduz em maior demanda por conforto (Miah *et al.*, 2011; Narasimha Rao; Reddy, 2007), e não da hipótese de maior adoção de práticas de economia (Huang,

2015). O número de cômodos apresentou sinal positivo, como em Craice (2016), mas com significância irregular, possivelmente em razão do reduzido número de domicílios de um cômodo na categoria de referência (52 casos).

Outros resultados dialogaram de forma menos direta com a literatura. Os domicílios chefiados por homens consumiram de 7 a 17 kWh a menos *per capita* do que os chefiados por mulheres, diferença pequena, mas que contraria os estudos que atribuem às mulheres maior propensão à economia de energia (Carlsson-Kanyama; Lindén, 2007; Räty; Carlsson-Kanyama, 2010; Zelezny *et al.*, 2000) e se aproxima da evidência de Nisiforou *et al.* (2012) sobre a maior sensibilidade feminina ao conforto térmico. Os domicílios próprios apresentaram consumo inferior ao dos alugados nos Modelos 1(A) e 1(B), resultado que favorece a hipótese de que proprietários investem mais em equipamentos eficientes (Schipper *et al.*, 1989; Valenzuela *et al.*, 2014) em detrimento da hipótese de Kaza (2010), mas o efeito perdeu significância no Modelo 1(C), sinal de sua associação com o tamanho do domicílio. Os domicílios em apartamento, por sua vez, consumiram mais do que os localizados em casas, resultado que pode refletir o contexto urbano e a maior posse de equipamentos de climatização e que merece investigação adicional.

O teste RESET rejeitou a forma funcional linear nas três especificações. A estatística foi mais elevada no Modelo 1(A) (F = 2.232,62), em que o tamanho entra de forma linear, e bem menor no Modelo 1(C) (F = 160,27), que admite efeitos distintos por tamanho. Parte da má especificação decorre, portanto, da não linearidade do efeito do número de moradores. Esse resultado, somado à presença de *outliers*, justificou a estimação robusta por MM (Tabela 3) e o recurso ao modelo de limites ótimos.

Tabela 3 – Resultados das regressões robustas de MM para consumo de energia elétrica *per capita*

Variáveis Explicativas	**Modelo 2 (A)**	**Modelo 2 (B)**	**Modelo 2 (C)**
Tamanho do Domicílio	-71,95***	-	-
	(1,39)		
N° de Membros 0-14 anos	-	-62,97***	-
		(1,46)	
Nº de Membros 15-24 anos	-	-70,39***	-
		(1,65)	
Nº de Membros 25-44 anos	-	-82,31***	-
		(1,93)	
N° de Membros 45-59 anos	-	-73,20***	-
		(2,19)	
Nº de Membros 60 anos ou mais	-	-80,10***	-
		(2,91)	
Domicílio de Duas Pessoas	-	-	-358,85***

(continua)

(continuação)

Variáveis Explicativas	**Modelo 2 (A)**	**Modelo 2 (B)**	**Modelo 2 (C)**
			(108,99)
Domicílio de Três Pessoas	-	-	-507,28***
			(110,13)
Domicílio de Quatro Pessoas	-	-	-577,32***
			(110,49)
Domicílio de Cinco Pessoas	-	-	-623,30***
			(110,91)
Domicílio de Seis Pessoas ou mais	-	-	-665,83***
			(111,37)
Idade do Chefe do Domicílio	0,61***	0,85***	0,23**
	(0,08)	(0,12)	(0,11)
Sexo do Chefe do Domicílio	-8,95***	-7,14***	-5,80***
	(2,08)	(2,10)	(1,99)
Fundamental Incompleto	11,43***	10,46***	10,63***
	(3,47)	(3,51)	(3,51)
Fundamental Completo	7,02	5,57	13,02***
	(4,79)	(4,86)	(4,80)
Médio Incompleto	1,36	1,28	11,23**
	(5,69)	(5,70)	(5,25)
Médio Completo	14,56***	15,83***	17,61***
	(4,40)	(4,42)	(5,75)
Superior Incompleto	16,40*	18,88**	12,69
	(9,38)	(9,48)	(13,35)
Superior Completo	3,08	2,16	16,07**
	(6,78)	(6,89)	(6,83)
Renda *Per capita*	0,003***	0,003***	0,001***
	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Domicílio Próprio	-10,25***	-9,30***	-3,24
	(3,04)	(3,08)	(3,94)
Domicílio Cedido ou outro	-8,14**	-7,61*	-3,91
	(4,04)	(4,08)	(6,15)
Apartamento	13,19**	13,13**	8,76
	(6,42)	(6,42)	(8,02)
Outro tipo de habitação	-8,35	-7,85	-69,16*
	(25,72)	(26,18)	(41,78)
Domicílio de Dois Cômodos	32,85	45,15*	-7,78
	(26,86)	(26,80)	(25,30)
Domicílio de Três Cômodos	30,42	43,54*	27,76
	(25,29)	(25,16)	(31,88)
Domicílio de Quatro Cômodos ou mais	26,30	40,37	30,02

(continua)

(continuação)

Variáveis Explicativas	**Modelo 2 (A)**	**Modelo 2 (B)**	**Modelo 2 (C)**
	(24,83)	(24,71)	(21,56)
N° de Eletrodomésticos	1,66***	1,81***	5,41***
	(0,47)	(0,46)	(0,44)
Constante	447,58***	423,52***	710,84***
	(26,51)	(26,50)	(97,85)
Total de Observações		**16.468**	

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.
Nota: *, ** e *** representam os níveis de significância de 10%, 5% e 1% respectivamente. Os valores entre parênteses são erros padrão. As categorias de referência omitidas para as variáveis qualitativas são: Domicílio Unipessoal (para tipo de domicílio), Feminino (para sexo), Sem Instrução (para instrução do chefe do domicílio), Domicílio Alugado (para propriedade do domicílio), Casa (para tipo de habitação) e Domicílio de um Cômodo (para número de cômodos por domicílio).

Para detectar a multicolinearidade, foram calculados os fatores de inflação da variância (VIF) dos modelos. O valor mais elevado observado para o fator de inflação da variância foi de 4,37, o que sustenta a conclusão de que não há multicolinearidade relevante entre as variáveis. A Tabela 3 apresenta os resultados das estimações dos modelos de regressão robusta, que foram obtidos por meio do estimador MM.

O resultado do Modelo 2(A) indica que o efeito do tamanho do domicílio é estatisticamente significativo: a inclusão de um membro adicional no domicílio resulta em uma redução de 71,95 kWh no consumo de eletricidade *per capita* no domicílio. Esse resultado é consistente com os achados de Huang (2022), sugerindo que um aumento no número de membros no domicílio leva a uma redução no consumo de energia elétrica *per capita*.

O Modelo 2(B) também revela que os efeitos de um membro adicional são significativos para todas as faixas etárias. O efeito de economia de escala se manifesta de forma diferenciada quando se considera um aumento no número de membros no domicílio em diferentes faixas etárias. Um aumento no número de membros com idade entre 25 e 44 anos e 60 anos ou mais resulta em uma redução mais expressiva no consumo de eletricidade *per capita*, com uma diminuição de 82,31 kWh e 80,10 kWh, respectivamente. Por outro lado, um aumento no número de membros na faixa etária de 0 a 14 anos exibe um efeito menos pronunciado, equivalente a uma redução de 62,97 kWh *per capita*.

A inclusão de um membro adicional na faixa etária de 15 a 24 anos resulta em uma redução de 70,39 kWh no consumo de energia *per capita*, enquanto para membros com idades entre 45 e 59 anos, a redução no consumo *per capita* é de 73,20 kWh. Esses resultados estão alinhados com os estudos de Brounen (2012) e Su (2019) e Huang (2022), sugerindo que o efeito da idade não está monotonicamente associado ao consumo de energia

elétrica.

Os resultados apresentados no Modelo 2(C) indicam a significância estatística de todas as variáveis *dummies* referentes ao tipo de domicílio. A maior redução do consumo *per capita* ocorre na passagem de uma para duas pessoas (358,85 kWh); entre as passagens seguintes, a mais acentuada é a de duas para três pessoas, de aproximadamente 148 kWh. Mais uma vez, esses resultados corroboram as conclusões de Huang (2022), que indicam uma redução no consumo *per capita* à medida que o número de membros no domicílio aumenta.

Esses resultados destacam a variabilidade do efeito de um membro adicional no consumo de energia elétrica *per capita*, a qual depende do tamanho do domicílio. Além disso, a adição de membros em diferentes faixas etárias pode produzir efeitos diversos no consumo de energia elétrica. Como o teste RESET rejeitou a forma funcional linear em todas as especificações, a próxima seção examina a relação não linear entre a composição domiciliar e o consumo de energia.

3.3.2 Resultados do modelo de limites ótimos

Nesta seção, o modelo de limites ótimos especificado na seção 3.2.2 é utilizado para explorar a relação não linear entre o consumo de energia elétrica *per capita* e a composição domiciliar. A composição domiciliar é representada pelo número de membros em diferentes faixas etárias. A característica mais importante desse modelo é sua capacidade de considerar os efeitos diferenciais da composição domiciliar no consumo de energia *per capita*.

O modelo de limites ótimos baseia-se no Modelo 2(A), em que a variável dependente é o consumo de energia elétrica *per capita* e as variáveis explicativas são as características do chefe do domicílio, as características do domicílio e os atributos da moradia.

Sob a hipótese de que o efeito da composição domiciliar no consumo de energia elétrica *per capita* varia de acordo com o tamanho do domicílio e o nível de consumo de energia, a Tabela 4 utiliza o tamanho do domicílio como variável de limite no Modelo 3 e o nível de consumo de energia elétrica como variável de limite no Modelo 4. O nível de consumo de energia é classificado em seis faixas iguais: até 200 kWh (1), de 201 a 400 kWh (2), de 401 a 600 kWh (3), de 601 a 800 kWh (4), de 801 a 1.000 kWh (5) e acima de 1.000 kWh (6), representando de baixo a alto consumo. A Tabela 4 apresenta os efeitos limiares do tamanho do domicílio no consumo de energia elétrica *per capita*, para diferentes faixas de consumo e composições domiciliares.

Tabela 4 – Efeitos de limites do tamanho do domicílio no consumo de energia elétrica *per capita*

Indicador de limite	**Tamanho do Domicílio**	**Nível de consumo de energia elétrica**
	Modelo 3	Modelo 4
Variável de composição domiciliar	Tamanho do Domicílio	Tamanho do Domicílio
Número de subpopulações	4	5
Parâmetros de Limite		
τ_1	1	1
τ_2	2	2
τ_3	3	3
τ_4		4
Coeficientes de composição domiciliar		
β_1	518,37***	-168,55***
	(15,92)	(10,72)
β_2	77,65***	-144,53***
	(7,91)	(1,63)
β_3	6,86	-140,73***
	(5,28)	(1,52)
β_4	-11,81***	-125,61***
	(3,99)	(1,36)
β_5		-105,60***
		(1,21)
Idade do Chefe do domicílio	0,31***	1,24***
	(0,09)	(0,10)
Sexo do Chefe do domicílio	-13,06***	-17,13***
	(2,32)	(2,74)
Fundamental Incompleto	17,97***	24,91***
	(3,56)	(4,20)
Fundamental Completo	18,98***	27,65***
	(5,42)	(6,39)
Médio Incompleto	26,24***	19,59***
	(6,39)	(7,54)
Médio Completo	27,17***	23,78***
	(4,72)	(5,57)
Superior Incompleto	36,94***	52,58***
	(9,21)	(10,86)
Superior Completo	39,06***	40,75***
	(6,81)	(8,04)
Renda *Per capita*	0,001***	0,002***
	(0,00)	(0,00)
Domicílio Próprio	0,75	-12,74***

(continua)

(continuação)

Indicador de limite	**Tamanho do Domicílio**	**Nível de consumo de energia elétrica**
	Modelo 3	Modelo 4
Variável de composição domiciliar	Tamanho do Domicílio	Tamanho do Domicílio
	(3,33)	(3,93)
Domicílio Cedido ou outro	-3,90	-6,77
	(4,51)	(5,32)
Apartamento	14,63***	31,78***
	(5,38)	(6,35)
Outro tipo de habitação	-12,07	3,08
	(22,01)	(25,97)
Domicílio de Dois Cômodos	34,51	55,02**
	(22,00)	(25,96)
Domicílio de Três Cômodos	58,37***	47,41*
	(20,86)	(24,61)
Domicílio de Quatro Cômodos ou mais	59,28***	7,15
	(20,50)	(24,18)
N° de Eletrodomésticos	9,01***	-1,69***
	(0,46)	(0,54)
Constante	118,90***	624,01***
	(26,28)	(25,47)
BIC	211.198,59	216.649,88
Teste de Razão verossimilhança	$\chi^2(3) = 912{,}77$***	$\chi^2(4) = 419{,}64$***
Observações	**16.468**	

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.
Nota: *, ** e *** representam os níveis de significância de 10%, 5% e 1% respectivamente. Os valores entre parênteses são erros padrão. BIC é o critério de informação bayesiano e denota o tamanho do domicílio no modelo 3 e o nível de consumo de energia elétrica no modelo 4. χ^2 representa a estatística qui-quadrado do teste de razão de verossimilhança. Os resultados da subpopulação estimada para cada M correspondem ao modelo ótimo para todos os m=1, ..., M modelos considerados. Por questões de espaço, apenas os resultados do modelo preferido para cada indicador de limite foram apresentados. As categorias de referência omitidas para as variáveis qualitativas são: Domicílio Unipessoal (para tipo de domicílio), Feminino (para sexo), Sem Instrução (para instrução do chefe do domicílio), Domicílio Alugado (para propriedade do domicílio), Casa (para tipo de habitação) e Domicílio de um Cômodo (para número de cômodos por domicílio).

A leitura da Tabela 4 requer a interpretação de cada um de seus elementos à luz do modelo descrito na seção 3.2.2. O indicador de limite identifica a variável que segmenta a amostra em regimes, o tamanho do domicílio no Modelo 3 e o nível de consumo de energia elétrica no Modelo 4, isto é, a dimensão ao longo da qual se admite que o efeito da composição domiciliar se altere. A variável de composição domiciliar é a variável explicativa

de interesse, o número de moradores, cujo efeito sobre o consumo de energia elétrica *per capita* se busca estimar em cada regime. O número de subpopulações informa em quantos regimes homogêneos a amostra foi dividida, quantidade determinada endogenamente pelo critério de informação bayesiano e validada pelo teste de razão de verossimilhança. Os parâmetros de limite, de τ_1 a τ_4, são os valores de corte da variável de limite que demarcam as fronteiras entre as subpopulações, de modo que, havendo quatro subpopulações, três parâmetros de limite as separam, e cada τ assinala o ponto a partir do qual passa a vigorar novo coeficiente. Os coeficientes de composição domiciliar, de β_1 a β_5, medem, em cada subpopulação, a variação no consumo de energia elétrica *per capita* associada à inclusão de um morador adicional: β_1 refere-se ao primeiro regime, o dos domicílios de menor tamanho ou de menor consumo, e os coeficientes seguintes, aos regimes subsequentes, de sorte que a comparação entre eles revela como o efeito de escala se modifica ao longo da variável de limite.

Para verificar a variação do consumo de energia *per capita* pelos diferentes tamanhos de domicílios, foram estimados seis modelos, um para cada tipo de domicílio definido na amostra (unipessoal, duas, três, quatro, cinco e seis ou mais pessoas). O Modelo 3 foi escolhido por apresentar o menor BIC (Critério de Informação Bayesiano). O teste de razão de verossimilhança apresentou uma estatística qui-quadrada altamente significativa, confirmando que o número ótimo de subpopulações é 4, com 3 parâmetros de limite τ. Os coeficientes estimados β, derivados da variável de limite, medem o efeito marginal da composição domiciliar no consumo de energia elétrica *per capita*.

Os resultados indicam que a inclusão de um membro adicional em domicílios unipessoais aumenta o consumo de energia *per capita* em cerca de 518 kWh, enquanto em domicílios com dois membros, o aumento é de 77,65 kWh. Em contrapartida, a inclusão de um membro adicional em domicílios com quatro pessoas reduz o consumo de energia elétrica *per capita* em cerca de 12 kWh. Os coeficientes estimados para domicílios com até dois membros são positivos e significativos. Para domicílios com três membros, o efeito positivo não é estatisticamente significativo. A partir de quatro membros, o coeficiente se torna negativo e significativo, indicando que a inclusão de um membro adicional reduz o consumo de energia *per capita*. Portanto, o efeito de escala no consumo de energia *per capita* decorrente da inclusão de um membro adicional só é observado em domicílios com quatro ou mais membros.

No Modelo 4, o nível de consumo de energia elétrica é utilizado como variável de limite, considerando as seis faixas de consumo que variam de baixa a alta. Os resultados indicam que o número ótimo de subpopulações é 5, com 4 parâmetros de limite. Para a escolha do modelo com melhor ajuste, os procedimentos foram similares aos do Modelo 3.

O tamanho do domicílio é estatisticamente significativo e exerce um efeito negativo no consumo de eletricidade em diferentes níveis de consumo. Esse efeito negativo indica

que a inclusão de um membro adicional no domicílio reduz o consumo de energia elétrica *per capita*. Os valores absolutos dos coeficientes estimados diminuem progressivamente com o aumento do nível de consumo de energia. A redução no consumo de energia elétrica *per capita* atribuída a um membro adicional é menor em domicílios de alto consumo (cerca de 105 kWh) do que em domicílios de baixo consumo (aproximadamente 168 kWh).

Para analisar o efeito da inclusão de um membro adicional no consumo de energia elétrica *per capita* em diferentes faixas etárias, considera-se a composição domiciliar, representada pelo número de membros em cada faixa etária (0 a 14, 15 a 24, 25 a 44, 45 a 59 e 60 anos ou mais). Utilizam-se modelos de limites ótimos, nos quais o número de subpopulações é otimizado pelo critério BIC. Os resultados são apresentados na Tabela 5, com o tamanho do domicílio como variável de limite nos Modelos 5(A) a 5(E).

Tabela 5 – Efeitos de membros adicionais do domicílio em diferentes faixas etárias no consumo de energia elétrica *per capita*

Indicador de limite	**Tamanho do Domicílio**				
	Modelo 5 (A)	Modelo 5 (B)	Modelo 5 (C)	Modelo 5 (D)	Modelo 5 (E)
Variável de composição domiciliar	Número de membros de 0-14 anos	Número de membros de 15-24 anos	Número de membros de 25-44 anos	Número de membros de 45-59 anos	Número de membros de 60 anos ou mais
Número de subpopulações	4	4	4	4	4
Parâmetros de Limite					
τ_1	2	1	1	1	1
τ_2	3	2	2	2	2
τ_3	4	3	3	3	3
Coeficientes de composição domiciliar					
β_1	-85,27***	332,13***	295,62***	298,25***	304,83***
	(11,30)	(20,96)	(8,32)	(6,96)	(7,19)
β_2	-151,98***	-11,02*	-33,45***	-12,72***	-4,87
	(5,10)	(6,47)	(4,32)	(3,85)	(4,21)
β_3	-130,11***	-98,06***	-101,03***	-80,55***	-78,94***
	(3,57)	(5,05)	(3,45)	(4,27)	(5,43)
β_4	-113,97***	-122,72***	-125,98***	-117,27***	-114,10***
	(3,53)	(3,64)	(3,47)	(5,28)	(7,55)
Idade do Chefe do domicílio	1,84***	3,83***	2,87***	4,47***	2,71***
	(0,14)	(0,13)	(0,14)	(0,12)	(0,17)
Sexo do Chefe do domicílio	-26,42***	-22,41***	-17,88***	-13,62***	-5,67*
	(3,56)	(3,60)	(3,34)	(3,47)	(3,43)
Fundamental Incompleto	47,43***	49,43***	43,35***	39,37***	36,51***
	(5,38)	(5,50)	(5,10)	(5,31)	(5,24)
Fundamental Completo	78,15***	73,92***	69,74***	65,14***	61,39***
	(8,19)	(8,37)	(7,76)	(8,07)	(7,97)
Médio Incompleto	69,75***	59,78***	68,12***	55,18***	48,46***

(continua)

(continuação)

Indicador de limite	**Tamanho do Domicílio**				
Variável de composição domiciliar	Modelo 5 (A) Número de membros de 0-14 anos	Modelo 5 (B) Número de membros de 15-24 anos	Modelo 5 (C) Número de membros de 25-44 anos	Modelo 5 (D) Número de membros de 45-59 anos	Modelo 5 (E) Número de membros de 60 anos ou mais
	(9,67)	(9,89)	(9,16)	(9,53)	(9,41)
Médio Completo	82,98***	78,17***	81,10***	81,16***	83,77***
	(7,13)	(7,29)	(6,74)	(7,01)	(6,92)
Superior Incompleto	123,12***	117,86***	103,89***	153,35***	146,95***
	(13,92)	(14,25)	(13,18)	(13,68)	(13,52)
Superior Completo	97,47***	93,81***	70,69***	102,55***	113,44***
	(10,30)	(10,54)	(9,77)	(10,14)	(10,01)
Renda *Per capita*	0,003***	0,003***	0,002***	0,002***	0,003***
	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Domicílio Próprio	-52,51***	-54,31***	-27,54***	-53,19***	-53,64***
	(5,02)	(5,13)	(4,78)	(4,94)	(4,88)
Domicílio Cedido ou outro	-24,47***	-32,67***	-13,44**	-37,30***	-39,85***
	(6,83)	(6,97)	(6,47)	(6,71)	(6,63)
Apartamento	36,10***	43,19***	22,06***	48,81***	44,93***
	(8,15)	(8,33)	(7,72)	(8,03)	(7,93)
Outro tipo de habitação	9,72	24,99	2,23	22,98	32,66
	(33,35)	(34,07)	(31,56)	(32,84)	(32,43)
Domicílio de Dois Cômodos	63,20*	77,60**	82,68***	82,88**	99,62***
	(33,33)	(34,04)	(31,54)	(32,81)	(32,41)
Domicílio de Três Cômodos	56,88*	77,34**	85,41***	94,71***	96,87***
	(31,61)	(32,29)	(29,91)	(31,11)	(30,73)
Domicílio de Quatro Cômodos ou mais	-6,30	21,24	45,87	48,43	53,01*
	(31,05)	(31,72)	(29,39)	(30,57)	(30,20)
N° de Eletrodomésticos	-5,27***	-4,28***	0,01	-2,26***	-1,90***
	(0,69)	(0,70)	(0,66)	(0,68)	(0,67)
Constante	381,43***	211,90***	226,18***	119,49***	171,31***
	(32,63)	(33,16)	(30,88)	(31,79)	(31,65)
BIC	224.882,04	225.582,42	223.067,95	224.368,04	223.966,56
Teste de Razão verossimilhança	$\chi^2(3)$ 61,65***	$\chi^2(3)$ 247,91***	$\chi^2(3)$ 579,90***	$\chi^2(3)$ 568,88***	$\chi^2(3)$ 531,22***
Observações			**16.468**		

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.
Nota: *, ** e *** representam os níveis de significância de 10%, 5% e 1% respectivamente. Os valores entre parênteses são erros padrão. BIC é o critério de informação bayesiano e denota o tamanho do domicílio nos modelos 5(A), 5(B), 5(C), 5(D) e 5(E). χ^2 representa a estatística qui-quadrado do teste de razão de verossimilhança. As categorias de referência omitidas para as variáveis qualitativas são: Domicílio Unipessoal (para tipo de domicílio), Feminino (para sexo), Sem Instrução (para instrução do chefe do domicílio), Domicílio Alugado (para propriedade do domicílio), Casa (para tipo de habitação) e Domicílio de um Cômodo (para número de cômodos por domicílio).

Os melhores ajustes para todas as faixas etárias foram observados nos modelos com 4 subpopulações e 3 parâmetros de limite, conforme demonstrado na Tabela 5. Essa conclusão é corroborada tanto pelo critério BIC quanto pelo teste de razão de verossimilhança, após a análise de todos os modelos possíveis.

No Modelo 5(A), os resultados indicam um efeito negativo e estatisticamente significativo do número de membros com idades entre 0 e 14 anos no consumo de energia elétrica *per capita* para todas as subpopulações. Isso sugere que o aumento no número de crianças gera economia de escala no consumo de eletricidade para todos os tamanhos de domicílios. Esse efeito de escala é mais acentuado nos domicílios compostos por três pessoas. Nesse caso, a adição de um membro com idade entre 0 e 14 anos resulta em uma redução de aproximadamente 152 kWh no consumo de eletricidade *per capita* no domicílio.

Os Modelos 5(B), 5(C), 5(D) e 5(E) fornecem os resultados para as demais faixas etárias. No primeiro regime, os efeitos dos membros adicionais são positivos e significativos. Um membro adicional com mais de 15 anos induz um aumento no consumo de energia elétrica *per capita* em domicílios unipessoais. Para domicílios com duas pessoas ou mais, os coeficientes estimados são negativos e, com exceção do segundo regime do Modelo 5(E), significativos. A influência de um número crescente de membros na redução do consumo de eletricidade *per capita* é mais forte em domicílios maiores. Esses resultados permitem a comparação da economia de escala decorrente do aumento do número de membros entre diferentes grupos etários.

Entre os moradores com 15 anos ou mais, nos domicílios de duas pessoas ou mais, a faixa etária de 25 a 44 anos é a que apresenta a maior redução no consumo de energia elétrica *per capita* por membro adicional. Por outro lado, nos domicílios unipessoais, um aumento no número de membros com idades entre 15 e 24 anos resulta em um aumento maior no consumo de eletricidade em comparação com outras faixas etárias. Essa diferença pode estar relacionada aos hábitos dos jovens de passarem mais tempo *online* e utilizarem mais dispositivos eletrônicos, hábito que pode indicar menor eficiência energética em seus hábitos de consumo (Han *et al.*, 2022). Em geral, esses resultados corroboram os achados de Huang (2022) e Su (2019) que sugerem que a demanda por eletricidade varia significativamente entre as diferentes faixas etárias.

Para complementar a análise, a Tabela 1A do apêndice apresenta informações sobre o número de domicílios com diferentes composições etárias dos membros, por tamanho do domicílio. Observa-se que domicílios menores, com um ou dois membros, possuem uma proporção significativa de pessoas com 60 anos ou mais. Esse dado sugere que o envelhecimento populacional está associado à redução do tamanho dos domicílios no contexto brasileiro.

Em relação ao consumo de energia elétrica, domicílios pequenos podem apresentar dificuldades distintas conforme a idade de seus ocupantes. Os ocupados por idosos podem

apresentar dificuldades em investir em aparelhos eficientes em termos energéticos, seja por terem capacidade econômica limitada (Abrahão, 2020), seja pela falta de ganhos de escala no consumo de eletricidade, especialmente em domicílios unipessoais (Huang, 2022). Nos domicílios unipessoais de jovens, por sua vez, o maior acréscimo de consumo associado à faixa de 15 a 24 anos, de cerca de 332 kWh no primeiro regime da Tabela 5, ante 305 kWh para um morador de 60 anos ou mais, pode estar relacionado ao maior uso de dispositivos eletrônicos, conforme discutido acima, de modo que a ausência de economias de escala também afeta esse grupo, cuja presença nos arranjos unipessoais se associa ao adiamento do casamento discutido no Capítulo 2. Crianças ou adultos de 25 a 44 anos estão presentes em 44% dos domicílios com três ou quatro membros. Para domicílios com essas dimensões, um membro adicional com idade entre 0 e 14 anos ou entre 25 e 44 anos resulta em economia de escala, com declínio do consumo de energia elétrica *per capita*, em razão do compartilhamento de custos.

A Tabela 6 apresenta os efeitos de membros adicionais do domicílio, em diferentes faixas etárias, no nível de consumo de energia elétrica *per capita*, tendo como variável de limite o nível de consumo de eletricidade.

Tabela 6 – Efeitos de membros adicionais do domicílio em diferentes faixas etárias no consumo de energia elétrica *per capita*

Indicador de limite	**Nível de consumo de energia elétrica**				
	Modelo 6 (A)	Modelo 6 (B)	Modelo 6 (C)	Modelo 6 (D)	Modelo 6 (E)
Variável de composição domiciliar	Número de membros de 0-14 anos	Número de membros de 15-24 anos	Número de membros de 25-44 anos	Número de membros de 45-59 anos	Número de membros de 60 anos ou mais
Número de subpopulações	5	5	5	5	5
Parâmetros de Limite					
τ_1	1	1	1	1	1
τ_2	2	2	2	2	2
τ_3	3	3	3	3	3
τ_4	4	4	4	4	4
Coeficientes de composição domiciliar					
β_1	-195,16***	-198,94***	-284,91***	-231,92***	-295,73***
	(32,73)	(63,57)	(43,67)	(55,27)	(64,27)
β_2	-144,55***	-165,46***	-215,38***	-182,43***	-251,65***
	(4,91)	(6,62)	(5,83)	(7,94)	(9,15)
β_3	-132,47***	-138,91***	-176,29***	-118,52***	-165,21***
	(4,38)	(5,93)	(4,96)	(6,55)	(7,08)
β_4	-120,78***	-116,07***	-140,75***	-70,92***	-103,30***
	(3,87)	(5,04)	(4,23)	(5,24)	(5,91)
β_5	-100,00***	-88,75***	-101,87***	-28,99***	-44,47***
	(3,31)	(4,25)	(3,61)	(4,44)	(5,19)

(continua)

(continuação)

Indicador de limite	**Nível de consumo de energia elétrica**				
	Modelo 6 (A)	Modelo 6 (B)	Modelo 6 (C)	Modelo 6 (D)	Modelo 6 (E)
Variável de composição domiciliar	Número de membros de 0-14 anos	Número de membros de 15-24 anos	Número de membros de 25-44 anos	Número de membros de 45-59 anos	Número de membros de 60 anos ou mais
Idade do Chefe do domicílio	2,16***	3,38***	1,59***	4,70***	6,62***
	(0,13)	(0,13)	(0,14)	(0,13)	(0,17)
Sexo do Chefe do domicílio	-28,01***	-24,88***	-10,12***	-13,86***	-11,22***
	(3,52)	(3,63)	(3,53)	(3,72)	(3,67)
Fundamental Incompleto	47,32***	46,49***	43,12***	56,22***	40,23***
	(5,38)	(5,55)	(5,40)	(5,68)	(5,62)
Fundamental Completo	74,16***	74,59***	72,13***	90,05***	77,22***
	(8,18)	(8,45)	(8,21)	(8,64)	(8,54)
Médio Incompleto	64,72***	63,90***	66,74***	71,33***	68,90***
	(9,66)	(9,98)	(9,68)	(10,20)	(10,08)
Médio Completo	79,35***	83,06***	95,32***	102,53***	99,86***
	(7,11)	(7,35)	(7,11)	(7,49)	(7,40)
Superior Incompleto	123,34***	140,03***	143,41***	161,99***	170,57***
	(13,90)	(14,35)	(13,92)	(14,66)	(14,48)
Superior Completo	94,56***	91,90***	105,48***	121,04***	114,05***
	(10,29)	(10,64)	(10,31)	(10,86)	(10,73)
Renda *Per capita*	0,00***	0,00***	0,00***	0,00***	0,00***
	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Domicílio Próprio	-51,54***	-63,81***	-51,23***	-63,11***	-71,42***
	(5,01)	(5,17)	(5,03)	(5,30)	(5,22)
Domicílio Cedido ou outro	-25,00***	-39,16***	-30,32***	-37,37***	-44,40***
	(6,82)	(7,03)	(6,83)	(7,20)	(7,11)
Apartamento	39,37***	49,78***	44,13***	45,18***	44,16***
	(8,14)	(8,41)	(8,16)	(8,60)	(8,50)
Outro tipo de habitação	6,87	15,81	38,78	36,51	27,01
	(33,31)	(34,40)	(33,40)	(35,20)	(34,77)
Domicílio de Dois Cômodos	69,77**	82,89**	109,95***	114,06***	88,27**
	(33,30)	(34,38)	(33,37)	(35,18)	(34,75)
Domicílio de Três Cômodos	55,74*	80,47**	105,73***	103,26***	86,60***
	(31,58)	(32,61)	(31,65)	(33,35)	(32,95)
Domicílio de Quatro Cômodos ou mais	-12,37	17,79	46,82	34,69	17,17
	(31,03)	(32,03)	(31,09)	(32,77)	(32,37)
N° de Eletrodomésticos	-6,43***	-6,49***	-5,26***	-7,75***	-9,38***
	(0,69)	(0,71)	(0,69)	(0,73)	(0,72)
Constante	368,32***	260,45***	342,66***	140,70***	95,19***
	(32,56)	(33,46)	(32,62)	(34,08)	(33,89)
BIC	224.850,68	225.912,57	224.936,01	226.668,12	226.266,18
Teste de Razão verossimilhança	$\chi^2(4)$ 42,42***	$\chi^2(4)$ 78,95***	$\chi^2(4)$ 218,48***	$\chi^2(4)$ 213,58***	$\chi^2(4)$ 330,79***
Observações			**16.468**		

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

Nota: *, ** e *** representam os níveis de significância de 10%, 5% e 1% respectivamente. Os valores entre parênteses são erros padrão. BIC é o critério de informação bayesiano e denota o nível de consumo de energia elétrica nos modelos 6(A), 6(B), 6(C), 6(D) e 6(E). χ^2 representa a estatística qui-quadrado do teste de razão de verossimilhança. Os resultados da subpopulação estimada para cada M correspondem ao modelo ótimo para todos os m=1, ..., M modelos considerados. Por questões de espaço, apenas os resultados do modelo preferido para cada variável de composição foram apresentados. As categorias de referência omitidas para as variáveis qualitativas são: Domicílio Unipessoal (para tipo de domicílio), Feminino (para sexo), Sem Instrução (para instrução do chefe do domicílio), Domicílio Alugado (para propriedade do domicílio), Casa (para tipo de habitação) e Domicílio de um Cômodo (para número de cômodos por domicílio).

Após a avaliação de todas as combinações de modelos para cada faixa etária, a Tabela 6 mostra que os modelos com 5 subpopulações e 4 parâmetros de limite se destacaram, apresentando os melhores ajustes segundo o critério BIC e o teste de razão de verossimilhança. Os coeficientes de composição domiciliar são consistentemente negativos e estatisticamente significativos em todos os modelos. Isso sugere que, mesmo em domicílios com maiores níveis de consumo de eletricidade, o aumento do número de membros em diferentes faixas etárias resulta em economia de escala. O efeito da economia de escala torna-se mais fraco à medida que os domicílios consomem mais energia.

Os efeitos de um membro adicional variam entre as faixas etárias. Em domicílios com menor nível de consumo de energia elétrica, o aumento do número de membros com 60 anos ou mais tem um efeito negativo mais expressivo em comparação com outras faixas etárias. Um membro adicional idoso resulta em uma redução aproximada de 296 kWh no consumo de energia elétrica *per capita*. Assim como Abrahão (2020), Guo *et al.* (2016), Liddle e Lung (2010) e Su (2019) , estima-se uma redução dos níveis de consumo de energia elétrica dos idosos em relação às demais faixas etárias.

Nos níveis de consumo de 3 a 5, a inclusão de um membro adicional no domicílio, com idade entre 25 e 44 anos, gera um efeito mais expressivo no consumo de eletricidade *per capita* em comparação com os demais grupos etários. Por outro lado, quando o consumo de eletricidade é mais elevado, observa-se que um aumento no número de membros do domicílio na faixa etária de 45 a 59 anos resulta em um efeito de escala menor. Esses resultados indicam que o aumento do número de membros gera economia de escala no consumo de energia, em razão do compartilhamento de eletrodomésticos e de espaço habitacional. Verifica-se, assim, que a composição domiciliar tem um efeito importante na eficiência do consumo doméstico de eletricidade e que a influência da composição domiciliar está associada ao seu tamanho.

Estudos como os Huebner *et al.* (2016) e Ye *et al.* (2018) destacam a importância da posse e do uso de eletrodomésticos para explicar o consumo de energia elétrica em domicílios. Ye *et al.* (2018) constataram que domicílios com maior número de eletrodomésticos, principalmente aqueles com muitos moradores e grandes áreas, apresentam um consumo de

energia elétrica mais elevado. Para verificar a relação entre o número de eletrodomésticos e o tamanho do domicílio, a Tabela 2A do Apêndice A apresenta os coeficientes de correlação de Pearson. Observa-se uma correlação positiva mais forte entre o tamanho do domicílio e a posse de aparelhos de DVD/Blu-Ray, ventiladores/circuladores de ar e televisores.

A Figura 2A do Apêndice A ilustra a posse de eletrodomésticos por tamanho do domicílio. Observa-se que, à medida que o tamanho do domicílio aumenta, há um aumento no número de aparelhos de DVD ou Blu-Ray, ventiladores ou circuladores de ar e de televisores, corroborando os resultados apresentados na Tabela 2A. É possível identificar, também, os eletrodomésticos mais comuns em diferentes tamanhos de domicílios. A média do número de televisores, geladeiras, ventiladores e ferros elétricos é mais elevada do que a de outros aparelhos, o que indica a sua prevalência, associada às necessidades essenciais dos moradores, e sugere que respondem por parcela significativa do consumo de energia.

A Figura 3A do Apêndice A ilustra a posse de eletrodomésticos *per capita* por tamanho de domicílio. Nos domicílios unipessoais, as médias de televisores, geladeiras, ventiladores, ferros elétricos e chuveiros são, respectivamente, 0,97, 0,95, 0,80, 0,54 e 0,53. Para os demais tamanhos de domicílios, observa-se que, à medida que o tamanho do domicílio aumenta, a posse de eletrodomésticos por pessoa diminui para todos os tipos de aparelhos e tamanhos de domicílio. Isso evidencia a economia de escala decorrente do compartilhamento desses aparelhos no domicílio. Os resultados indicam que o consumo de energia elétrica nos domicílios está associado ao tamanho e à composição etária dos membros dos domicílios.

Em conjunto, os resultados das duas variáveis de limite indicam um mesmo mecanismo, coerente com a revisão da seção 3.1. A elevação do consumo *per capita* associada à entrada de moradores nos domicílios menores, máxima no unipessoal, e a sua reversão a partir de quatro moradores são compatíveis com o caráter côncavo do consumo domiciliar em relação ao tamanho, previsto pela teoria da produção domiciliar de Becker (1965) e pelas economias de escala intradomiciliares. O sinal negativo do tamanho do domicílio em todas as faixas de consumo, com efeito decrescente à medida que o consumo se eleva, sugere que a partilha de bens e serviços domésticos gera economias de escala mais expressivas nos domicílios de menor consumo, resultado que vai ao encontro de Huang (2022).

Os efeitos por faixa etária qualificam esse quadro. Nos modelos de limites ótimos, os moradores de 0 a 14 anos associaram-se a menor consumo *per capita* em todos os tamanhos, os de 15 anos ou mais elevaram o consumo nos domicílios unipessoais e os idosos produziram a maior redução nos domicílios de menor consumo. Esse padrão difere do observado nos modelos lineares, em que os moradores de 0 a 14 anos reduziram menos a média *per capita* (seção 3.3.1). Os efeitos etários parecem, portanto, depender do tamanho do domicílio e do nível de consumo. O resultado é compatível com o mecanismo de intensidade de uso discutido na seção 3.1 e com a evidência de McLoughlin *et al.* (2012),

segundo a qual a idade condiciona a posse e o uso de equipamentos. Tomados em conjunto, os resultados mostram-se compatíveis com H1, de que o consumo total cresce com o número de moradores enquanto o *per capita* decresce, e com H3, uma vez que o efeito do morador adicional variou com a sua faixa etária, e qualificam H2, ao indicar que a intensidade das economias de escala não é uniforme, mas varia com o tamanho do domicílio e com o nível de consumo. Esses achados delimitam o objeto retomado no Capítulo 4, no qual a mesma estrutura domiciliar é examinada sob a ótica dos requerimentos direto e indireto de energia elétrica.

4 ECONOMIAS DE ESCALA E REQUERIMENTOS DE ENERGIA ELÉTRICA

No Capítulo 3, os efeitos do tamanho e da composição etária dos domicílios foram estimados sobre o consumo residencial de eletricidade, medido em quilowatt-hora *per capita* com base nos microdados da POF 2017/2018. Neste capítulo, o foco desloca-se do consumo residencial para um objeto relacionado e de maior amplitude, o requerimento de energia elétrica necessário para atender à cesta de consumo dos domicílios, calculado com base nas matrizes de insumo-produto de 2000 e 2015, a preços constantes de 2000, nas versões aberta e fechada em relação aos domicílios. A composição etária dos moradores não é considerada neste capítulo, em que os domicílios são distinguidos apenas pelo tipo de domicílio, definido pelo número de moradores. Busca-se, com isso, captar tanto a eletricidade registrada na classe residencial quanto a mobilizada pelos setores produtivos para abastecer o consumo dos domicílios, e verificar se as diferenças associadas ao tamanho do domicílio se estendem a esse requerimento.

A análise adota o arcabouço comum a Zhang, Wang e Zhang (2023) e Yu *et al.* (2026), os dois estudos que tomaram o tamanho do domicílio, definido pelo número de moradores, como recorte de um modelo de insumo-produto. Nesse arcabouço, o requerimento de cada tipo de domicílio divide-se em uma parcela direta, a eletricidade consumida no próprio domicílio, e uma indireta, a incorporada aos bens e serviços da cesta de consumo; compara-se a sua distribuição entre os tipos de domicílio, em nível e *per capita*; e decompõe-se a sua variação no tempo nos fatores que a explicam. A diferença entre as versões fechada e aberta do modelo, ausente desses estudos, isola o efeito induzido pela recirculação da renda do trabalho.

As duas análises articulam-se de modo complementar. O capítulo anterior recorreu a métodos econométricos para estimar as relações estatisticamente significativas entre a estrutura domiciliar e a demanda residencial de eletricidade, ao passo que este se dedica à análise da mudança estrutural e à identificação de padrões de consumo. Os dois capítulos compartilham, em parte, a mesma intuição, a das economias de escala intradomiciliares, ainda que as abordagens se distingam quanto ao escopo do consumo considerado, às fontes de dados mobilizadas e ao método empregado.

Embora cada capítulo desenvolva revisão de literatura própria, ajustada ao respectivo método, ambos se assentam no arcabouço analítico apresentado no Capítulo 2, e seus resultados, referentes a grandezas distintas, o consumo de eletricidade medido no domicílio e o requerimento de eletricidade associado à cesta de consumo, são lidos de forma complementar nas considerações finais.

O capítulo prossegue em quatro seções. A seção 4.1 caracteriza o consumo residencial de energia elétrica no Brasil, seus fatores de crescimento e a dimensão demográfica que o condiciona, delimitando o problema a que o capítulo responde. A seção 4.2 revisa

a literatura sobre a relação entre o tipo de domicílio e o requerimento energético e dela deriva as hipóteses de trabalho. A seção 4.3 detalha a metodologia, com o modelo de insumo-produto (4.3.1) e a compatibilização das bases de dados utilizadas (4.3.2). A seção 4.4 apresenta e discute os resultados: a distribuição do requerimento entre os tipos de domicílio (4.4.1), o efeito da mudança na distribuição dos tipos de domicílio (4.4.2), e os efeitos dos fatores da sua variação entre 2000 e 2015 (4.4.3), seguidos de uma síntese que os confronta com as hipóteses.

4.1 A DEMANDA RESIDENCIAL DE ELETRICIDADE NO BRASIL: FATORES DE CRESCIMENTO E A DIMENSÃO DEMOGRÁFICA DO CONSUMO DOMICILIAR

A energia elétrica constitui insumo transversal à atividade econômica, viabilizando tanto os processos industriais mais complexos quanto as demandas cotidianas das famílias. Por tratar-se de bem essencial e de baixa substituibilidade, sobretudo no ambiente doméstico, sua demanda residencial mantém-se relativamente estável ainda que diante de elevações tarifárias ou de retração econômica, característica que confere a essa classe de consumo comportamento distinto do observado nas demais.

O Anuário Estatístico de Energia Elétrica 20 anos (EPE, 2024) constitui a principal referência para a caracterização desse comportamento. Entre 2004 e 2023, o consumo residencial cresceu à taxa média de 4% ao ano, ao passar de 78 para 165 mil GWh, e tornou-se a segunda maior participação no consumo nacional de eletricidade em 2023, com 31%. À sua frente situou-se apenas a indústria, com 35%, seguindo-se a classe comercial, com cerca de 17%, a rural, com aproximadamente 6%, e o conjunto das classes de poder público, iluminação pública, serviço público e consumo próprio, responsável pela parcela remanescente.

Além da posição relativa em nível, destaca-se a divergência de ritmo entre as classes. No período, a residencial constituiu o segmento de maior crescimento relativo, da ordem de 110%, ante os 45% verificados no conjunto das demais. Essa assimetria não se distribuiu de modo homogêneo. Enquanto a atividade industrial se expandiu de forma comparativamente modesta, refletindo ganhos de eficiência e a menor intensidade elétrica da estrutura produtiva, o crescimento concentrou-se nas classes associadas ao consumo final das famílias, a residencial e a comercial, esta última impulsionada pela expansão do setor de serviços (EPE, 2024).

O padrão temporal do segmento residencial reforça essa leitura. O avanço concentrou-se na primeira década da série, com média de 5,4% ao ano entre 2004 e 2014, desacelerou para 2,5% ao ano entre 2015 e 2023, intervalo da única retração da série, de 0,8%, em 2015, e culminou na alta recorde de 7,8% em 2023, associada ao ano mais quente já registrado no país e à difusão de equipamentos de climatização. O segmento distinguiu-se, ademais,

por sua resiliência a choques adversos, pois não recuou durante a crise financeira de 2008 e chegou a expandir-se no período pandêmico, ao passar de 142 para 148 TWh entre 2019 e 2020, impulsionado pelo trabalho remoto e pela maior permanência das famílias nos domicílios (EPE, 2024).

Essa trajetória agregada resultou do produto entre dois componentes que responderam a determinantes distintos, o número de unidades consumidoras atendidas e o consumo médio por domicílio. O primeiro, no qual a classe residencial reuniu o maior contingente do país, passou de aproximadamente 47 para 82 milhões de unidades entre 2004 e 2023, à taxa média de 3,0% ao ano. Esse acréscimo de cerca de 35 milhões de ligações respondeu a três forças de peso desigual. A de maior peso foi a expansão dos domicílios no contexto da transição demográfica, uma vez que esse número cresceu mais rápido do que a população, à medida que diminuía o seu tamanho médio (EPE, 2024).

A segunda foi a ampliação do acesso, promovida sobretudo pelo Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, o Luz para Todos, que, desde sua instituição em 2003, atendeu 3,6 milhões de domicílios e beneficiou cerca de 17,2 milhões de pessoas, com foco no meio rural e em regiões remotas da Amazônia Legal (MME, 2023), esforço ao qual se somou a regularização de consumidores antes à margem do sistema. A terceira, de caráter estrutural, foi a urbanização, que reordenou contingentes populacionais para arranjos domiciliares de maior densidade de atendimento. Ainda que relevantes, o acesso e a regularização responderam por parcela minoritária do acréscimo total; o fator demográfico prevaleceu, portanto, sobre a expansão da cobertura.

O segundo componente, captado pelo consumo residencial médio (CRM) e indicador de maior interesse para esta análise, elevou-se em cerca de 20% entre 2004 e 2023, ao passar de 142 para 170 kWh/mês, movido por determinantes de natureza distinta. O principal deles foi a elevação da renda e do poder de compra das famílias, em especial na primeira metade da série, período de expansão do emprego, de ganhos reais do salário-mínimo e de mobilidade de amplos contingentes para as faixas intermediárias de consumo, dinâmica que, via elasticidade-renda da demanda, ampliou a posse e a intensidade de uso de eletrodomésticos (EPE, 2024).

A esse fator somou-se a difusão de equipamentos de refrigeração, conservação e lavagem, viabilizada pela ampliação do crédito ao consumo de bens duráveis. Ganhou peso crescente, ao longo do período, a disseminação de aparelhos de ar-condicionado, cuja utilização respondeu de forma cada vez mais sensível às condições térmicas, traço que se manifestou de modo agudo no pico de consumo de 2023. Em sentido oposto operaram os ganhos de eficiência energética dos equipamentos e, ao fim do período, a expansão da microgeração distribuída, que, ao suprir parte da demanda no próprio domicílio, atenuou o consumo faturado na rede. O CRM traduziu, portanto, o saldo líquido entre forças expansivas de renda e conforto e forças contracionistas de eficiência e autoprodução, saldo

que explica suas oscilações em torno da tendência de alta. Para o horizonte decenal, o PDE 2036 projeta a continuidade dessas forças: a posse de aparelhos de ar-condicionado deverá passar de 0,18 para 0,26 unidade por domicílio entre 2025 e 2036, e o consumo de eletricidade para climatização, segundo maior uso final residencial, de 40 para 49 TWh entre 2026 e 2036, em parte moderado pelos índices mínimos de eficiência; a micro e minigeração distribuída fotovoltaica, por sua vez, deverá alcançar cerca de 9,6 milhões de adotantes, o equivalente a 10,5% dos domicílios (EPE, 2026).

O fator demográfico, contudo, não se esgota na multiplicação das unidades consumidoras, pois atua sobre o consumo em dois níveis que não se devem confundir. No plano do domicílio, um maior número de moradores tende a elevar o consumo por unidade consumidora. No plano do indivíduo, o movimento inverte-se, pois, pela diluição de escala já descrita, a redução do tamanho do domicílio eleva o consumo *per capita*. Um mesmo processo, o encolhimento dos domicílios, produz assim efeitos de sinal oposto conforme a unidade de análise adotada.

Os Planos Nacionais de Energia produzidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), reconheceram os condicionantes demográficos subjacentes a essa dinâmica, entre os quais as mudanças na composição etária da população, o avanço da urbanização e a tendência a domicílios menores e mais numerosos. Tais condicionantes, todavia, foram incorporados de forma agregada, de modo que o tamanho do domicílio foi tomado como dado exógeno, sem desagregação por tipo de domicílio nem análise das consequências dessa distinção sobre a demanda de energia elétrica nos diversos setores. No ciclo mais recente, o relatório síntese do PDE 2036 atribui a trajetória do consumo residencial de energia ao crescimento demográfico a taxas progressivamente menores, à elevação da renda das famílias e à difusão de equipamentos e eletrodomésticos, e projeta o consumo residencial de eletricidade em 241 TWh em 2036, com crescimento médio de 2,1% ao ano, sem distinguir os domicílios segundo o tamanho ou a composição etária (EPE, 2026).

Esse tratamento agregado da dinâmica demográfica, contudo, diz respeito a apenas uma das dimensões do consumo domiciliar de eletricidade, a do consumo aferido no medidor da unidade residencial. A própria desagregação por classe repousa sobre um critério contábil específico, o da alocação da eletricidade no ponto de consumo, sob o qual a classe residencial capta unicamente a energia que o domicílio drena diretamente da rede, ao passo que a eletricidade mobilizada na produção dos bens e na prestação dos serviços que o domicílio adquire é imputada às classes industrial, comercial, rural e pública, nas quais o consumo se materializa fisicamente.

Parte dessa eletricidade setorial não constitui um fim em si mesma, mas um insumo a serviço da demanda final, pois a energia que a indústria emprega para fabricar um bem de consumo, ou que o comércio despende para abastecer os domicílios, é requerida pelo

domicílio que consome esses produtos. Sob essa ótica, o consumo elétrico dos domicílios não se esgota na fração medida na classe residencial e se estende à eletricidade mobilizada ao longo das cadeias produtivas que atendem ao consumo domiciliar, dimensão que os registros por classe não revelam. Ao tomar o domicílio como destino final da energia mobilizada na economia, a presente análise busca apreender o conjunto dessa eletricidade, perspectiva que orienta os estudos revistos na seção seguinte. A relevância dessa dimensão tende a crescer, pois o PDE 2036 projeta para a classe comercial crescimento médio de cerca de 6% ao ano até 2036, impulsionado pela expansão dos serviços e dos centros de dados, ritmo superior ao da classe residencial, de 2% ao ano, de modo que a classe comercial se aproxima da residencial no consumo total (EPE, 2026).

4.2 TAMANHO DO DOMICÍLIO E REQUERIMENTOS DE ENERGIA: EVIDÊNCIAS DA LITERATURA

Estabelecida essa distinção, esta seção revisa os estudos que relacionaram o tamanho do domicílio ao uso de energia por meio de modelos de insumo-produto e, a partir deles, deriva as hipóteses de trabalho. Dois desses estudos, Zhang, Wang e Zhang (2023) e Yu *et al.* (2026), tomaram o tamanho do domicílio como recorte explícito e compartilham um mesmo desenho, que esta análise adota e que, por isso, é apresentado em conjunto. Os demais situam esse desenho entre os estudos sobre a energia associada ao consumo dos domicílios, entre eles os que endogeneizaram o consumo e a renda dos domicílios no modelo.

Os dois estudos analisaram a China, classificaram os domicílios pelo número de moradores e combinaram pesquisas de orçamento familiar a um modelo de insumo-produto para calcular as emissões de CO_2 associadas ao consumo de cada tamanho de domicílio. Zhang, Wang e Zhang (2023) utilizaram a Pesquisa de Renda e Despesa Domiciliar Urbana da China (UHIES) e o Anuário Estatístico de Energia, com sete tipos de domicílio urbano em 1992, 2007 e 2012; Yu *et al.* (2026) estenderam a análise aos domicílios urbanos e rurais, de um a cinco ou mais moradores, em 2010, 2015 e 2020, e estimaram as cestas de consumo de cada tipo por aprendizado de máquina, controlando a idade, a escolaridade e o sexo dos moradores. Nos dois, as emissões dividem-se em um componente direto, correspondente à energia usada no próprio domicílio, e um indireto, correspondente às emissões das cadeias produtivas que abastecem a cesta de bens e serviços, e são obtidas a partir do consumo físico de energia, ponderado pelo fator de emissão de cada energético, de modo que as suas diferenças entre tipos de domicílio podem ser lidas, nesta análise, como indicativas de diferenças no uso de energia. A eletricidade figurou no componente direto de Yu *et al.* (2026), mas não no de Zhang, Wang e Zhang (2023), em que o seu uso pelos domicílios somente poderia ser captado no indireto. Esta análise adota a mesma partição e, por tratar exclusivamente da eletricidade, inclui no componente direto o consumo residencial

de energia elétrica.

Os dois estudos chegaram a resultados convergentes na comparação entre tipos de domicílio. As emissões *per capita* decresceram com o número de moradores, e a distância entre os extremos ampliou-se no tempo: em Zhang, Wang e Zhang (2023), as do domicílio de 1 morador passaram de cerca de 2,1 para 3,1 vezes as do domicílio de sete moradores entre 1992 e 2012; em Yu *et al.* (2026), a diferença entre o domicílio de 1 morador e o de cinco ou mais moradores passou de 1,9 para 2,7 tCO_2 *per capita* entre 2010 e 2020. Nos dois casos, o componente indireto predominou, com 83% a 90% das emissões *per capita* em Zhang, Wang e Zhang (2023) e cerca de 82% no domicílio de 1 morador em 2020 em Yu *et al.* (2026), e, no primeiro estudo, a distância entre os tipos foi maior no componente indireto (3,2 vezes) do que no direto (2,3 vezes). Os autores dos dois estudos atribuíram o gradiente ao compartilhamento, nos domicílios maiores, de moradia, eletrodomésticos, bens duráveis e serviços energéticos como o aquecimento.

Os dois estudos também registraram que a composição da cesta, e com ela a origem das emissões, varia entre os tipos de domicílio e ao longo do tempo. Em Zhang, Wang e Zhang (2023), a categoria de alimentos, que respondia pela maior parcela do componente indireto em 1992, foi superada pela de residência a partir de 2007, em todos os tipos de domicílio, e o peso de transporte e comunicação cresceu.

Em Yu *et al.* (2026), os domicílios menores destinaram maior parcela do gasto à habitação, à energia, ao transporte e aos serviços, e o domicílio de 1 morador apresentou as maiores emissões *per capita* sobretudo na eletricidade e no transporte. A mudança na estrutura de consumo reorientou, assim, a origem das emissões entre os setores.

Yu *et al.* (2026) acrescentaram a esse desenho a decomposição estrutural da variação das emissões, que permite separar o efeito da multiplicação dos domicílios do efeito do consumo de cada pessoa. O componente indireto foi decomposto em intensidade de emissão, estrutura produtiva, estrutura do gasto, gasto *per capita* e escala populacional de cada tipo de domicílio, e o direto, em consumo *per capita* de energia, estrutura entre energéticos e escala populacional.

Entre 2010 e 2015, o gasto *per capita* foi o principal vetor do aumento das emissões indiretas, ao passo que a intensidade, a estrutura produtiva e a estrutura do gasto o compensaram parcialmente; entre 2015 e 2020, o aumento do número de pessoas nos domicílios de uma e de duas pessoas tornou-se o principal vetor, e a participação desses domicílios nas emissões totais passou de cerca de 27%, em 2010, para 37%, em 2020. Os autores estimaram ainda que, mantida a população, o aumento de um ponto percentual na participação dos domicílios de 1 morador elevaria as emissões totais em cerca de 0,08%. Os dois estudos compõem, portanto, um mesmo arcabouço: Zhang, Wang e Zhang (2023) estabelecem a partição entre o direto e o indireto e a comparação entre tipos de domicílio, e Yu *et al.* (2026) a estendem à decomposição dos fatores da mudança.

Supasa *et al.* (2017) chegaram a resultados semelhantes, medidos diretamente em unidades de energia. Por meio de um modelo de insumo-produto híbrido combinado à análise de decomposição estrutural, analisaram o consumo de energia dos domicílios de cinco regiões da Tailândia entre 2000 e 2010, distinguindo o consumo direto, correspondente à energia adquirida dos setores energéticos, do indireto, incorporado aos demais bens e serviços. Cerca de 70% do uso total de energia era indireto, e, na decomposição, o aumento do número de domicílios foi o principal vetor da variação, ao passo que a redução do tamanho médio atuou como fator de contenção.

A aparente divergência entre esses resultados e os dos estudos chineses é de métrica, e não de resultado. Zhang, Wang e Zhang (2023) e Yu *et al.* (2026) identificaram os domicílios menores como os mais intensivos *per capita*, ao passo que Supasa *et al.* (2017) localizaram na multiplicação de domicílios o motor do consumo agregado e, na redução do tamanho médio, um fator de contenção. As leituras são complementares, pois um domicílio menor pesa menos em termos absolutos e mais *per capita*, e o efeito líquido sobre a demanda agregada depende de qual dessas margens prepondera, a multiplicação de domicílios ou a intensidade de cada um. A decomposição de Yu *et al.* (2026) permite observar as duas margens, ao separar a escala populacional de cada tipo de domicílio do consumo *per capita*.

Em escala global, Chen, Jiang e Chen (2024) obtiveram hierarquia convergente. Com um modelo de insumo-produto multirregional dinâmico, apuraram que, entre 2000 e 2014, o consumo de energia incorporada aos bens e serviços adquiridos pelos domicílios correspondia a cerca de três vezes o consumo direto de energia dos próprios domicílios. Embora o consumo direto tenha migrado para fontes mais limpas em diversos países, a estrutura da energia incorporada manteve-se estável, o que, para os autores, indicava que a transição energética dos domicílios ainda requeria esforços, sobretudo no âmbito da energia incorporada. O nível de demanda foi o principal vetor de expansão do consumo incorporado, e a queda da intensidade energética, o principal fator de contenção.

No caso brasileiro, a relação entre o tamanho do domicílio e o consumo de energia recebeu pouca atenção. Carvalho, Santiago e Perobelli (2021), que apresentaram seu estudo como pioneiro, no país, na avaliação do impacto do envelhecimento populacional sobre os padrões de consumo e as emissões de CO_2, calcularam os efeitos do envelhecimento projetado até 2050 sobre as emissões derivadas do uso de energia associado ao consumo dos domicílios, com base em um modelo de insumo-produto para a economia de 2010. Como em Zhang, Wang e Zhang (2023), o ponto de partida foi o consumo físico de energia dos setores, obtido do Balanço Energético Nacional e convertido em emissões de CO_2. O consumo dos domicílios foi desagregado em seis faixas etárias, conforme a idade do chefe, a partir da POF 2008/2009, e os resultados foram agregados em 15 setores, entre os quais energia e combustíveis figuraram separadamente.

Os efeitos foram decompostos em direto, referente ao primeiro elo da cadeia produtiva, que atende à demanda final, e indireto, gerado nos demais elos, acepção distinta da adotada nesta análise, que segue a partição de Zhang, Wang e Zhang (2023). A participação do setor de energia no orçamento passava de 2,0%, nos domicílios com chefe de até 29 anos, para 3,0%, naqueles com chefe de 70 anos ou mais, e, nas projeções para 2050, esse foi o único setor intensivo em emissões a ampliar sua participação no vetor de consumo, ao passo que o peso de combustíveis e transporte diminuía. Por essa razão, as emissões cresceram menos que proporcionalmente à população, e o envelhecimento, embora pouco alterasse a estrutura setorial das emissões, modificou sua composição por faixa etária.

Segundo o IBGE (2025), entre 2012 e 2025, os domicílios unipessoais elevaram sua participação de 12,2% para 19,7% do total, num quadro de crescimento populacional já próximo da estagnação. Caso-limite da redução do tamanho dos domicílios, o domicílio unipessoal representa a menor dimensão possível do domicílio e a que menos se beneficia de economias de escala.

Weiss de Abreu *et al.* (2021), por sua vez, abordaram o caso brasileiro por outro ângulo. Por meio da decomposição estrutural de um modelo de insumo-produto aplicado aos domicílios brasileiros entre 2002 e 2008, mostraram que cerca de dois terços da energia associada ao consumo dos domicílios estavam incorporados em bens e serviços, e não no uso direto, e que a sua expansão foi conduzida sobretudo pela elevação do gasto e da intensidade energética. Resultado semelhante quanto à predominância do componente indireto já havia sido obtido por Cohen, Lenzen e Schaeffer (2005), e Wachsmann *et al.* (2009) identificaram, entre 1970 e 1996, a renda, o crescimento populacional e as interdependências setoriais como principais vetores do uso de energia no país. Esses estudos alinham o Brasil ao padrão internacional, mas deixam o tamanho do domicílio fora dos determinantes examinados.

Outros estudos examinaram o efeito da redução do tamanho dos domicílios sem recorrer a um modelo de insumo-produto desagregado por tamanho. Ivanova e Büchs (2022), com dados de 43 países entre 1995 e 2015, estimaram que as emissões acumuladas teriam sido cerca de 11,3 $GtCO_2eq$ menores caso o tamanho dos domicílios se mantivesse no nível de 1995; Wu *et al.* (2021), com painel de domicílios chineses entre 2010 e 2016, associaram a redução de um morador a um aumento de 17,0% a 23,6% no consumo de eletricidade; e Yang *et al.* (2025) e Shao *et al.* (2024), também para a China, verificaram pegada de carbono *per capita* decrescente com o tamanho do domicílio, com associação mais forte no componente indireto (Shao *et al.*, 2024).

Entre as decomposições do uso de energia, Lan *et al.* (2016) verificaram, para 186 países entre 1990 e 2010, que a renda e a população elevaram as pegadas de energia, em parte compensadas pela redução da intensidade energética industrial.

Para o consumo residencial de eletricidade no Brasil, Abrahão e Souza (2021) identificaram o aumento do número de domicílios e da renda *per capita* entre os principais vetores do crescimento do consumo entre 2000 e 2018, e Achão e Schaeffer (2009), ao decomporem a variação entre 1980 e 2007 em efeitos atividade, estrutura e intensidade, destacaram o impacto dos programas de transferência de renda e de universalização do acesso.

Os estudos revistos até aqui trataram o consumo dos domicílios como demanda final exógena. O seu tratamento como variável endógena remonta a Miyazawa (1976), que fechou o modelo de insumo-produto em relação a grupos de domicílios, incorporando, para cada grupo, um vetor-coluna de coeficientes de consumo e um vetor-linha de coeficientes de renda, de modo que os multiplicadores passam a captar o consumo induzido pela renda gerada na produção. Essa formulação tem sido aplicada à análise ambiental do consumo dos domicílios. Pang *et al.* (2022) construíram um modelo de insumo-produto semifechado e ambientalmente estendido para as emissões de CO_2 dos domicílios chineses entre 2007 e 2017, em que os domicílios se ligam aos setores produtivos pela renda e pelo consumo; com índices de poder e de sensibilidade de dispersão, identificaram elevada sensibilidade de dispersão do setor domiciliar e, por meio da decomposição estrutural, o consumo *per capita* e a taxa de urbanização como principais vetores das emissões, e a intensidade de carbono e a estrutura econômica como principais fatores de contenção.

Chen *et al.* (2025) empregaram um modelo de insumo-produto parcialmente fechado para a China entre 1994 e 2018, com os domicílios urbanos e rurais tratados como setores distintos de renda, consumo e poupança, e verificaram que o modelo aberto atribuiu à produção induzida pela demanda final parcela maior das emissões totais do que o modelo parcialmente fechado, cerca de 89% ante 81% em 2018, o que, para os autores, indica que o modelo aberto superestima essas emissões quando os vínculos entre os domicílios e a produção são relevantes. Osorio, Cadarso e Tobarra (2023) aplicaram os multiplicadores de Miyazawa a um modelo multirregional para os domicílios espanhóis, separando as emissões geradas por um aumento autônomo da demanda das emissões adicionais decorrentes do gasto da renda assim gerada.

Duarte, Mainar e Sánchez-Chóliz (2013), por sua vez, combinaram um modelo de insumo-produto aberto, com o consumo dos domicílios desagregado por quintis de renda a partir das pesquisas de orçamento familiar, à decomposição estrutural das emissões de CO_2 de dez países europeus e dos Estados Unidos entre 1995 e 2005. Para contornar a não unicidade da decomposição, calcularam a média das 720 formas possíveis, seguindo Dietzenbacher e Los (1998), e registraram que a solução pelas decomposições polares se aproxima dessa média. O crescimento do gasto *per capita* foi o principal vetor das emissões, ao qual se somou o crescimento populacional, ao passo que os fatores tecnológicos, sobretudo a redução da intensidade de emissão, atuaram na contenção, e o efeito da distribuição da renda entre os grupos foi pequeno.

Da revisão emerge a lacuna a que este capítulo se dirige. Apenas Zhang, Wang e Zhang (2023) e Yu *et al.* (2026) tomaram o tamanho do domicílio, definido pelo número de moradores, como recorte explícito, ambos para a China e em emissões de carbono, e Carvalho, Santiago e Perobelli (2021) aproximaram-se do tema, no Brasil, pela idade do chefe. Nos demais, o tamanho do domicílio comparece de forma agregada ou subordinada a outros determinantes, como fator de decomposição do consumo agregado em Supasa *et al.* (2017), ao lado da renda e do gasto em Weiss de Abreu *et al.* (2021) e da estrutura setorial em Chen, Jiang e Chen (2024). Estes últimos registraram, ainda, que o tamanho do domicílio já havia sido examinado como determinante do consumo direto, mas que os estudos sobre a energia incorporada ao consumo domiciliar permaneciam limitados e concentrados em poucas regiões. Os estudos que fecharam o modelo em relação aos domicílios (Chen *et al.*, 2025; Osorio; Cadarso; Tobarra, 2023; Pang *et al.*, 2022), por sua vez, não desagregaram os domicílios por tamanho. Esta análise aplica ao Brasil, e à eletricidade, o arcabouço dos dois estudos chineses e o estende ao modelo fechado em relação a cada tipo de domicílio.

As evidências revistas convergem para três proposições. A primeira é a de que a energia associada ao consumo dos domicílios se concentra na parcela incorporada aos bens e serviços, e não no consumo direto, resultado obtido em contextos e métodos distintos (Cohen; Lenzen; Schaeffer, 2005; Supasa *et al.*, 2017; Weiss de Abreu *et al.*, 2021; Zhang; Wang; Zhang, 2023; Chen; Jiang; Chen, 2024; Yu *et al.*, 2026). A segunda é a de que o tamanho do domicílio se associa negativamente às emissões *per capita* derivadas do uso de energia, com efeito mais intenso sobre o componente indireto do que sobre o direto, e a de que a composição da cesta, e com ela a origem setorial das emissões, varia com o tamanho e se altera no tempo (Zhang; Wang; Zhang, 2023; Yu *et al.*, 2026). A terceira é a de que a redução do tamanho dos domicílios atua sobre o consumo agregado por duas margens, a multiplicação de domicílios e a intensidade de cada um, cuja resultante permanece questão empírica (Supasa *et al.*, 2017) e que a decomposição de Yu *et al.* (2026) permite separar.

Esta análise distingue-se dos estudos revistos em quatro aspectos, que delimitam o alcance das comparações. O primeiro é a grandeza medida: os estudos revistos trataram do consumo de diversos energéticos, medido em unidades físicas de energia ou convertido em emissões, ao passo que esta análise calculou o requerimento de energia elétrica. O segundo é o tratamento do consumo dos domicílios: os estudos que desagregaram os domicílios por tamanho, Zhang, Wang e Zhang (2023) e Yu *et al.* (2026), trataram esse consumo como demanda final exógena, o que corresponde ao modelo aberto, ao passo que aqui o modelo foi calculado também na versão fechada em relação a cada tipo de domicílio, nos termos de Miyazawa (1976). Isso permite manter a versão adotada por esses estudos e isolar, na diferença entre as duas versões, o efeito induzido pela recirculação da renda do trabalho. O terceiro são os dados: os tipos de domicílio vão de um a seis moradores ou mais, as cestas de consumo foram obtidas diretamente das POFs, e não estimadas por

aprendizado de máquina, e a análise compreende um único período, 2000–2015, sem o recorte entre domicílios urbanos e rurais. O quarto é o contexto, pois os estudos referem-se a países com matrizes energéticas, condições climáticas, estruturas tarifárias e níveis de desenvolvimento distintos dos brasileiros, como a matriz chinesa, fortemente dependente do carvão. Quanto à acepção dos componentes, a análise alinha-se aos dois estudos chineses: o componente direto corresponde ao consumo de eletricidade no próprio domicílio, e o indireto, à eletricidade incorporada aos bens e serviços, diferentemente de Carvalho, Santiago e Perobelli (2021), em que o direto se refere ao primeiro elo da cadeia produtiva. Por essas razões, os resultados desta análise não são confrontados com os desses estudos, que fundamentam os procedimentos adotados e a formulação das hipóteses.

Dessas proposições e do mecanismo de escala exposto na abertura derivam as duas hipóteses que a análise verifica. A primeira (H4) é a de que o requerimento total do domicílio cresce menos que proporcionalmente ao número de moradores, de modo que o requerimento total *per capita* é mais elevado nos domicílios menores e máximo no domicílio de 1 morador. A segunda (H5) é a de que esse efeito de escala não é neutro quanto à origem do requerimento nem quanto à sua distribuição setorial, incidindo mais fortemente sobre o componente indireto do que sobre o direto e associando-se, ao longo do tempo, à recomposição da participação dos setores que suprem a cesta de consumo dos domicílios. A terceira proposição, a das duas margens, é examinada na decomposição da variação entre 2000 e 2015, que separa o efeito do número de pessoas em cada tipo de domicílio do efeito do consumo *per capita*.

Desse desenho analítico decorre a contribuição que esta análise busca oferecer, em três planos complementares. No plano teórico-empírico, ao cruzar o tipo de domicílio com a origem setorial do requerimento elétrico, direto e indireto, e ao investigar se essa relação se reconfigurou entre 2000 e 2015, a análise busca articular, para o caso brasileiro, duas dimensões antes tratadas isoladamente nos estudos revistos, a da escala domiciliar e a da mudança estrutural na composição do requerimento energético, conforme postula H5.

No plano do planejamento energético, a pesquisa propõe-se a endogeneizar o gasto por tipo de domicílio, variável tratada de forma exógena pelo planejamento oficial, conforme discutido na seção 4.1. Ao investigar em que medida a pressão da demanda domiciliar se dispersa pelas demais classes de consumo por meio da eletricidade incorporada aos bens e serviços adquiridos pelos domicílios, e se essa dispersão se alterou entre os dois anos analisados, a análise busca deslocar o foco analítico do ponto de consumo para o destino final da energia.

No plano das políticas públicas, confirmando-se a predominância do componente indireto e sua maior sensibilidade ao tipo de domicílio, os resultados poderiam relativizar o alcance de medidas de eficiência centradas exclusivamente na classe residencial, além de subsidiar o desenho de tarifas e de estratégias de descarbonização sensíveis à estrutura

domiciliar. Dado o crescimento dos domicílios de 1 morador, esses achados poderiam também, de forma exploratória, informar reflexões sobre o dimensionamento energético de políticas habitacionais voltadas a esse tipo de domicílio, tema que extrapola o escopo desta análise, mas que dela poderia se beneficiar indiretamente. Tais contribuições, contudo, dependem da confirmação empírica de H4 e H5 na seção de resultados.

4.3 METODOLOGIA

Esta seção descreve os procedimentos metodológicos adotados para analisar os efeitos das mudanças na estrutura dos domicílios brasileiros, caracterizada pelo aumento do número de domicílios e pela redução do número médio de moradores por unidade, sobre os requerimentos de energia elétrica. A análise de dois períodos representativos, 2000 e 2015, permitiu captar mudanças estruturais nos padrões de consumo energético e avaliar a perda de economias de escala intradomiciliares associada às transformações demográficas. A Figura 1B do Apêndice B resume os procedimentos metodológicos desta análise, da compatibilização das bases de dados ao cálculo dos requerimentos nos modelos aberto e fechado para cada tipo de domicílio.

Para alcançar esse objetivo, empregou-se a metodologia de insumo-produto sistematizada por Miller e Blair (2009). Essa abordagem é adequada para mensurar como choques de demanda se propagam ao longo da cadeia produtiva, permitindo identificar tanto os impactos diretos do consumo final quanto seus efeitos indiretos. Tal estrutura analítica pode ser estendida para a mensuração de fluxos energéticos associados à produção e ao consumo de bens e serviços, possibilitando a avaliação integrada do consumo de energia direta e indireta nos domicílios e nos setores produtivos (Yu *et al.*, 2022).

A aplicação do modelo de insumo-produto permitiu, assim, rastrear a eletricidade consumida no próprio domicílio, parcela direta, e a incorporada ao longo das cadeias produtivas dos bens e serviços adquiridos pelos domicílios, parcela indireta. Com isso, foi possível quantificar os requerimentos de energia elétrica associados ao consumo final, estratificando-se a análise por tipo de domicílio e por setor econômico.

4.3.1 Modelo de insumo-produto

A mensuração dos requerimentos de energia elétrica por tipo de domicílio permitiu a decomposição do requerimento total de cada tipo de domicílio em suas parcelas direta e indireta. Para esse fim, utilizou-se um modelo de insumo-produto, que representa uma estrutura analítica de equilíbrio geral na qual os fluxos intersetoriais da economia são explicitamente modelados. Nesse arcabouço, a produção de cada setor ajusta-se de modo a atender às variações exógenas da demanda final.

A validade do modelo de insumo-produto baseia-se em um conjunto de hipóteses clássicas, a saber: (i) coeficientes tecnológicos constantes; (ii) retornos constantes de escala;

(iii) demanda final exógena; (iv) oferta perfeitamente elástica; e (v) preços rígidos. Sob essas premissas, a estrutura básica do modelo pode ser expressa conforme Miller e Blair (2009):

$$X = (I - A)^{-1}.Y \tag{4}$$

em que X representa o vetor de produção total por setor; $(I - A)^{-1}$ é a matriz de impacto total, conhecida como a matriz inversa de Leontief; e Y é o vetor de demanda final por setor. O vetor da demanda final, por sua vez, considera cinco componentes: consumo das famílias, consumo do governo, exportações, investimento (Formação Bruta de Capital Fixo) e variação de estoques. A matriz A reúne os coeficientes técnicos:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \tag{5}$$

em que z_{ij} é o valor dos insumos que o setor j compra do setor i e X_j, a produção total do setor j; a_{ij} indica quanto o setor j requer do setor i por unidade monetária produzida.

Com o objetivo de capturar de forma mais abrangente os transbordamentos econômicos associados ao consumo energético, o modelo foi calculado em duas versões. Na versão aberta, o consumo dos domicílios permanece na demanda final exógena. Na versão fechada, o consumo e a renda das famílias são endogeneizados, conforme Miyazawa (1976), procedimento aplicado às emissões associadas ao consumo dos domicílios por Chen *et al.* (2025), Osorio, Cadarso e Tobarra (2023) e Pang *et al.* (2022). Nas duas versões, o requerimento foi decomposto em duas parcelas: o componente direto corresponde à eletricidade consumida no próprio domicílio, e o componente indireto, à eletricidade incorporada aos bens e serviços adquiridos, mobilizada ao longo dos encadeamentos a montante. Na versão fechada, as duas parcelas incorporam ainda os efeitos induzidos pela recirculação da renda.

No processo produtivo, as famílias auferem renda sob a forma de remuneração do fator trabalho e, enquanto agentes econômicos, destinam esses rendimentos ao consumo de bens e serviços de acordo com suas cestas de consumo. Metodologicamente, o fechamento do modelo consistiu na expansão da matriz de coeficientes técnicos **A**, incorporando-se a remuneração do trabalho como uma linha adicional de insumos primários e o consumo das famílias como uma coluna de coeficientes de demanda intermediária.

Essa configuração permitiu que a matriz inversa de Leontief capturasse os mecanismos de retroalimentação entre geração de renda e novos ciclos de demanda. O modelo fechado pode ser representado da seguinte forma:

$$\overline{X} = \left(I - \overline{A}\right)^{-1}.\overline{Y} \tag{6}$$

em que $\bar{X}$, $\bar{A}$ e $\bar{Y}$ representam, respectivamente, o vetor de produção, a matriz de coeficientes técnicos e o vetor de demanda final após o fechamento do modelo.

Do ponto de vista analítico, esse procedimento possibilitou o cálculo de multiplicadores que refletem de maneira mais fidedigna as interdependências estruturais da economia brasileira, ao incorporar o consumo induzido pelas famílias. O modelo aberto, por sua vez, limita-se à mensuração dos impactos diretos e indiretos, sem os efeitos associados à recirculação da renda. Ele também foi calculado por ser a versão adotada por Zhang, Wang e Zhang (2023) e Yu *et al.* (2026) e porque a diferença entre os dois modelos isola o efeito induzido, como na comparação entre as versões aberta e parcialmente fechada feita por Chen *et al.* (2025).

Os domicílios foram estratificados em seis tipos, definidos pelo tamanho da unidade domiciliar, e o vetor de consumo das famílias foi correspondentemente segmentado, assumindo-se homogeneidade interna dos padrões de consumo em cada tipo de domicílio, procedimento análogo ao de Duarte, Mainar e Sánchez-Chóliz (2013), que desagregaram o consumo dos domicílios por quintis de renda com base em pesquisas de orçamento familiar, e ao de Carvalho, Santiago e Perobelli (2021), que o desagregaram pela idade do chefe com base na POF 2008/2009.

A segmentação do consumo baseou-se nos microdados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) e a desagregação do vetor de salários, nas informações da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). Concluída essa etapa, os dados da POF e das Matrizes de Insumo-Produto foram compatibilizados com o consumo físico de energia elétrica segundo a classificação setorial do Balanço Energético Nacional (BEN), agregando-se as despesas domiciliares em doze setores econômicos.

O fechamento foi realizado separadamente para cada tipo de domicílio, segundo a formulação de Miyazawa (1976), em que cada tipo de domicílio se liga à produção por um vetor de coeficientes de consumo e um de remuneração do trabalho, incorporando-se apenas o domicílio correspondente por meio de uma coluna com o seu consumo e uma linha com a sua remuneração do trabalho. Geraram-se seis matrizes ampliadas independentes, de ordem 13 (os doze setores produtivos e o domicílio endogeneizado), cada qual com a sua própria inversa de Leontief $\left(I - \overline{A}_j\right)^{-1}$. Para o domicílio do tipo j, a matriz ampliada é:

$$\bar{A}_j = \begin{bmatrix} A & c_j \\ \omega_j & 0 \end{bmatrix} \tag{7}$$

em que c_j é o vetor-coluna de coeficientes de consumo do domicílio, definido a seguir, e ω_j, o vetor-linha de coeficientes de remuneração do trabalho:

$$\omega_{ij} = \frac{W_{ij}}{X_i} \tag{8}$$

sendo W_{ij} a remuneração do trabalho paga pelo setor i aos moradores dos domicílios do tipo j, obtida da PNAD. O índice j identifica o tipo de domicílio (j = 1 para o domicílio de 1 morador, ..., j = 6 para o de seis moradores ou mais), e o índice i, os doze setores produtivos.

O modelo aberto também foi calculado para cada tipo de domicílio. Nessa versão, a matriz de coeficientes técnicos e a inversa de Leontief $(I - A)^{-1}$ são as mesmas para os seis tipos de domicílio, uma vez que os domicílios permanecem na demanda final, e o que distingue cada tipo de domicílio é o seu vetor de consumo. Esse vetor foi expresso em coeficientes:

$$c_{ij} = \frac{CF_{ij}}{CF_j} \tag{9}$$

em que CF_{ij} é o consumo do produto i pelo domicílio do tipo j e CF_j, o seu consumo total, de modo que o vetor c_j descreve a composição da cesta de cada tipo de domicílio por real gasto.

O coeficiente de energia elétrica de cada setor foi calculado como a razão entre o consumo físico de eletricidade, em MWh, e o valor da produção, em milhões de reais a preços de 2000. Para os doze setores produtivos, tem-se:

$$e_i = \frac{E_i}{X_i} \tag{10}$$

em que E_i é o consumo de energia elétrica do setor i, informado pelo BEN em GWh e convertido para MWh, e X_i, o valor da sua produção total, em milhões de reais a preços de 2000, de modo que e_i é expresso em MWh por milhão de reais de 2000; esses coeficientes são idênticos nas seis versões do modelo. Para o domicílio, cujo denominador é o gasto e não a produção, mostra-se:

$$e_j = \frac{EF_j}{CF_j} \tag{11}$$

em que EF_j é o consumo físico de eletricidade do domicílio do tipo j e CF_j, o seu consumo total em unidade monetária. Como o BEN informa apenas o consumo residencial agregado, EF_j foi obtido pela distribuição desse total entre os tipos de domicílio na proporção da participação de cada tipo no consumo de energia elétrica registrado na POF:

$$EF_j = E_{res} \cdot \frac{Q_j}{\sum_j Q_j} \tag{12}$$

em que E_{res} é o consumo residencial do BEN no ano, convertido de GWh para MWh, e Q_j é o consumo de energia elétrica dos domicílios do tipo j na POF 2002/2003,

para 2000, e na POF 2008/2009, para 2015. Q_j foi calculado com os domicílios que informaram a quantidade consumida, em kWh, e expandido pelo fator de expansão. Como apenas parte dos domicílios informa essa quantidade, o total obtido na POF (74,7 milhões de MWh em 2002/2003 e 97,5 milhões de MWh em 2008/2009) é inferior ao do BEN; por isso, utilizou-se da POF apenas a participação de cada tipo, aplicada ao total do BEN, de modo que a soma dos seis tipos corresponde exatamente ao consumo residencial do BEN (Tabela 10B do Apêndice B). O coeficiente direto do domicílio varia, assim, entre os tipos de domicílio e reflete o uso efetivo de eletricidade no domicílio (Tabela 10B do Apêndice B). As diferenças entre tipos de domicílio decorrem, portanto, na parcela direta, do volume de consumo e do coeficiente direto de cada tipo e, na parcela indireta, da composição da cesta de consumo e, no modelo fechado, da participação de cada tipo de domicílio na renda do trabalho. Todos os cálculos foram realizados em MWh; o requerimento total e os seus componentes, direto e indireto, são apresentados, em nível, em milhões de MWh, *per capita*, em MWh *per capita* e, por real gasto, em MWh por milhão de reais de 2000. Os coeficientes foram dispostos na diagonal de uma matriz ê, de ordem 13, que reúne os doze coeficientes setoriais, comuns às seis versões, e o coeficiente direto do domicílio na décima-terceira posição:

$$\widehat{e} = diag\,(e_1,\ \ldots\ ,\ e_{12},\ e_j)\,, \qquad j\ =\ 1,\ \ldots\ ,\ 6 \tag{13}$$

Assim, as seis versões compartilham o mesmo bloco setorial de coeficientes e diferem no coeficiente direto e nos coeficientes de consumo e de renda do trabalho do domicílio endogeneizado.

Com base nessa matriz, o requerimento de energia elétrica do domicílio do tipo j corresponde à eletricidade mobilizada em toda a economia para atender à sua demanda final, distribuída por setor de origem. Como o domicílio já está endogenizado, com o seu coeficiente na diagonal de $\hat{e}$ e os seus encadeamentos em $(I - \bar{A}_j)^{-1}$, o requerimento foi obtido pré-multiplicando a inversa de Leontief da versão fechada pela matriz de intensidades:

$$EM_j = \widehat{e}\ .\left(I\ -\ \bar{A}_j\right)^{-1} \tag{14}$$

em que EM_j é a matriz de requerimentos de energia elétrica do modelo fechado para o domicílio do tipo j, em MWh por unidade monetária de demanda final, $\hat{e}$ é a matriz diagonal de coeficientes de energia elétrica e $(I - \bar{A}_j)^{-1}$, a inversa da versão fechada em relação ao domicílio j. O requerimento atribuível ao domicílio, discriminado por setor de origem, corresponde à coluna dessa matriz associada ao domicílio. A soma dessa coluna corresponde ao requerimento total do domicílio por unidade de demanda final.

Seguindo Zhang, Wang e Zhang (2023) e Yu *et al.* (2026), o requerimento total foi

decomposto em uma parcela direta e uma indireta. O requerimento direto corresponde à eletricidade consumida no próprio domicílio e é dado pelo elemento da décima-terceira linha da coluna do domicílio em EM_j, isto é, pelo produto do coeficiente direto do domicílio pelo elemento da diagonal da inversa referente ao próprio domicílio:

$$EM_j^{dir} = e_j \ . \ \bar{b}_{jj} \tag{15}$$

em que $\bar{b}_{jj}$ é o elemento da diagonal de $(I - \bar{A}_j)^{-1}$ correspondente ao domicílio. Esse elemento, superior à unidade, indica quanto consumo do próprio domicílio é gerado, em todas as rodadas de renda e gasto, por uma unidade inicial de consumo, de modo que, no modelo fechado, o requerimento direto inclui o consumo residencial adicional induzido pela renda.

O requerimento indireto capta a eletricidade incorporada aos bens e serviços adquiridos pelo domicílio, mobilizada nos doze setores produtivos ao longo dos encadeamentos a montante e, no modelo fechado, acrescida do efeito induzido pela recirculação da renda. Corresponde à soma dos doze elementos setoriais da coluna do domicílio em EM_j, cada um dos quais mede a eletricidade requerida de um setor de origem, e resulta da diferença entre o requerimento total e o direto:

$$EM_j^{ind} = EM_j \ - \ EM_j^{dir} \tag{16}$$

No modelo aberto, o requerimento do domicílio do tipo j, por real gasto, foi obtido aplicando a cesta de consumo c_j aos multiplicadores setoriais de energia:

$$EM_j^{ab} = e_j \ + \ e \ . \ (I \ - \ A)^{-1} \ . \ c_j \tag{17}$$

em que e é o vetor-linha dos doze coeficientes setoriais de energia elétrica. A primeira parcela, e_j, corresponde ao requerimento direto, e a segunda, ao indireto, que pode ser decomposto por setor de origem pelo produto, elemento a elemento, de e por $(I - A)^{-1}c_j$. Pela partição da inversa do modelo fechado, a coluna do domicílio em $(I - \bar{A}_j)^{-1}$ corresponde à coluna do modelo aberto multiplicada por $\bar{b}_{jj}$, de modo que:

$$EM_j = \bar{b}_{jj} \ . \ EM_j^{ab} \tag{18}$$

A diferença entre os dois modelos mede o efeito induzido pela recirculação da renda do trabalho do domicílio do tipo j:

$$EM_j - EM_j^{ab} = \left(\bar{b}_{jj} - 1\right) \cdot EM_j^{ab} \tag{19}$$

e distribui-se entre as parcelas direta e indireta na mesma proporção do requerimento do modelo aberto. Como os dois modelos compartilham a mesma composição setorial do

requerimento indireto, a diferença entre eles é de nível, determinada pela participação de cada tipo de domicílio na renda do trabalho.

Para dimensionar o requerimento em termos absolutos, calculou-se ainda o requerimento total em MWh, no modelo aberto, e, no fechado, multiplicando-o por $\bar{b}_{jj}$ (equação 18):

$$C_j = e_j \,.\, CF_j \;+\; e \,.\, (I \;-\; A)^{-1} \,.\, y_j \tag{20}$$

em que C_j é o requerimento total de energia elétrica do domicílio do tipo j, em MWh, e y_j, o vetor de consumo do domicílio do tipo j por setor, em valores monetários, cuja soma é CF_j. A primeira parcela corresponde ao consumo residencial de eletricidade atribuído ao tipo de domicílio, e a segunda, à eletricidade incorporada à sua cesta de consumo. O requerimento total de cada tipo é, assim, a soma dos requerimentos direto e indireto, $C_j = C_j^{dir} + C_j^{ind}$, e o requerimento total do conjunto dos domicílios, $C = \Sigma_j\, C_j$, a soma dos seis tipos.

Os requerimentos total, direto e indireto *per capita* de cada tipo de domicílio foram obtidos pela divisão do respectivo requerimento em nível, que soma todos os domicílios do tipo no país, pelo número de pessoas que vivem em domicílios do tipo, P_j, estimado nas POFs com o fator de expansão, e expressam a eletricidade, em MWh *per capita* ao ano, mobilizada pelo consumo de cada pessoa. O requerimento total por domicílio foi obtido pela divisão de C_j pelo número de domicílios do tipo. Os requerimentos por real gasto (equações 15 a 18) constam da Tabela 9, e os multiplicadores setoriais, das Tabelas 12B e 13B do Apêndice B.

Para descrever a distribuição do requerimento entre os tipos de domicílio e examinar os fatores da sua variação entre 2000 e 2015, adotou-se o procedimento de Yu *et al.* (2026), que estende o arcabouço de Zhang, Wang e Zhang (2023) ao combinar o modelo de insumo-produto à análise de decomposição estrutural para domicílios de diferentes tamanhos e calcula, separadamente, o componente direto, associado à energia consumida no próprio domicílio, e o indireto, incorporado aos bens e serviços adquiridos. Como o requerimento total é a soma dos dois componentes, a sua variação também o é, $\Delta C = \Delta C^{dir} + \Delta C^{ind}$, e os efeitos calculados para cada componente somam-se na variação do requerimento total.

Requerimento direto. O requerimento direto do domicílio do tipo j, isto é, o consumo residencial de eletricidade atribuído a esse tipo (EF_j, equação 11), em MWh, foi escrito como o produto do consumo direto *per capita* pela população do tipo:

$$C_j^{dir} = T_j \cdot P_j \tag{21}$$

em que T_j é o consumo direto *per capita* de eletricidade, em MWh *per capita* ao ano, e P_j, o número de pessoas que vivem em domicílios do tipo j, estimado nas POFs

com o fator de expansão:

$$T_j = \frac{EF_j}{P_j} \tag{22}$$

A variação entre 2000 (t = 0) e 2015 (t = 1) foi decomposta nos efeitos do consumo *per capita* e da população do tipo:

$$\Delta C^{dir} = f(\Delta T) + f(\Delta P) \tag{23}$$

$$f(\Delta T) = \frac{1}{2}\Delta T \cdot P_0 + \frac{1}{2}\Delta T \cdot P_1 \tag{24}$$

$$f(\Delta P) = \frac{1}{2}T_1 \cdot \Delta P + \frac{1}{2}T_0 \cdot \Delta P \tag{25}$$

Requerimento indireto. O consumo final do tipo j foi decomposto em estrutura do gasto, nível de gasto *per capita* e população:

$$y_j = c_j \cdot K_j \cdot P_j \tag{26}$$

em que c_j é o vetor da estrutura do gasto do tipo j, com a participação de cada setor no seu consumo (equação 9), e K_j, o gasto *per capita* em consumo final, em reais de 2000 *per capita* ao ano:

$$K_j = \frac{CF_j}{P_j} \tag{27}$$

O requerimento indireto é, então:

$$C_j^{ind} = e \cdot L \cdot y_j = e \cdot L \cdot c_j \cdot K_j \cdot P_j \tag{28}$$

em que e é o vetor-linha das intensidades setoriais (equação 10) e $L = (I - A)^{-1}$, a inversa de Leontief, que representa a estrutura produtiva. A variação do requerimento indireto decompôs-se em cinco efeitos: intensidade elétrica setorial, estrutura produtiva, estrutura do gasto, nível de gasto *per capita* e população; omitindo-se o índice j:

$$\Delta C^{ind} = f(\Delta e) + f(\Delta L) + f(\Delta c) + f(\Delta K) + f(\Delta P) \tag{29}$$

Cada efeito foi calculado pela média das duas decomposições polares (Dietzenbacher; Los, 1998; Miller; Blair, 2009), procedimento justificado por Dietzenbacher e Los (1998), que mostraram que essa média se aproxima da média de todas as formas exatas da decomposição, adotada por Duarte, Mainar e Sánchez-Chóliz (2013), isto é, pela média

entre a variação do fator avaliada com os fatores que o antecedem no ano final e os que o sucedem no ano-base e a variação avaliada na situação inversa:

$$f(\Delta e) = \frac{1}{2}\Delta e \cdot L_0 c_0 K_0 P_0 + \frac{1}{2}\Delta e \cdot L_1 c_1 K_1 P_1 \tag{30}$$

$$f(\Delta L) = \frac{1}{2} e_1 \cdot \Delta L \cdot c_0 K_0 P_0 + \frac{1}{2} e_0 \cdot \Delta L \cdot c_1 K_1 P_1 \tag{31}$$

Seguindo Miller e Blair (2009), a variação da inversa de Leontief pode ser expressa em função da variação dos coeficientes técnicos:

$$\Delta L = L_1 - L_0 = L_1 \cdot \Delta A \cdot L_0 \tag{32}$$

de modo que o efeito da estrutura produtiva se escreve como:

$$f(\Delta L) = \frac{1}{2} e_1 L_1 \cdot \Delta A \cdot L_0 c_0 K_0 P_0 + \frac{1}{2} e_0 L_1 \cdot \Delta A \cdot L_0 c_1 K_1 P_1 \tag{33}$$

Os efeitos da estrutura do gasto, do gasto *per capita* e da população são, respectivamente:

$$f(\Delta c) = \frac{1}{2} e_1 L_1 \cdot \Delta c \cdot K_0 P_0 + \frac{1}{2} e_0 L_0 \cdot \Delta c \cdot K_1 P_1 \tag{34}$$

$$f(\Delta K) = \frac{1}{2} e_1 L_1 c_1 \cdot \Delta K \cdot P_0 + \frac{1}{2} e_0 L_0 c_0 \cdot \Delta K \cdot P_1 \tag{35}$$

$$f(\Delta P) = \frac{1}{2} e_1 L_1 c_1 K_1 \cdot \Delta P + \frac{1}{2} e_0 L_0 c_0 K_0 \cdot \Delta P \tag{36}$$

Como cada decomposição polar é exata, a sua média soma exatamente a variação total, sem resíduo. Multiplicando-se e, elemento a elemento, pelos demais termos, em vez do produto escalar, obtém-se cada efeito por setor de origem da eletricidade. O efeito do gasto *per capita* reflete tanto a renda quanto o padrão de consumo de cada tipo. O efeito da população do tipo foi, por sua vez, dividido em dois, escrevendo-se $\mathrm{P_j} = \mathrm{P} \cdot \mathrm{s_j}$, em que P é a população total e $\mathrm{s_j}$ a parcela da população que vive em domicílios do tipo j: o efeito escala, do crescimento da população total, e o efeito distribuição, da redistribuição das pessoas entre os tipos de domicílio:

$$E_j^{esc} = \frac{1}{2}\left(r_{j0}\,\Delta P\, s_{j1} + r_{j1}\,\Delta P\, s_{j0}\right) \tag{37}$$

$$E_j^{dist} = \frac{1}{2}\left(r_{j0}\, P_0 + r_{j1}\, P_1\right)\Delta s_j \tag{38}$$

em que r_j é o requerimento *per capita* do componente, T_j no direto e $e \cdot L \cdot c_j \cdot K_j$ no indireto, e os índices 0 e 1 indicam 2000 e 2015. A soma dos dois efeitos reproduz o efeito da população do tipo. No modelo fechado, o primeiro termo de cada equação foi multiplicado por $\bar{b}_{jj}$ de 2015 e o segundo, por $\bar{b}_{jj}$ de 2000.

Modelo fechado. Para manter a comparação entre as duas versões, no modelo fechado os dois componentes foram multiplicados por $\bar{b}_{jj}$ (equação 18), que entra como último fator de cada produto:

$$\bar{C}_j = \bar{b}_{jj} \cdot C_j \tag{39}$$

e o seu efeito, calculado da mesma forma, corresponde à variação da renda induzida:

$$f(\Delta\bar{b}) = \frac{1}{2}C_1 \cdot \Delta\bar{b} + \frac{1}{2}C_0 \cdot \Delta\bar{b} \tag{40}$$

em que C é o requerimento direto ou indireto do modelo aberto em cada ano. Os demais efeitos do modelo fechado seguiram as equações 24, 25 e 30 a 36, com o fator $\bar{b}_{jj}$ do ano correspondente acrescentado a cada termo. Como o fechamento multiplica os dois componentes por $\bar{b}_{jj}$, os efeitos do modelo fechado reproduzem, ampliados, os do aberto, e o efeito da renda induzida reúne variações na participação de cada tipo na renda do trabalho, nos coeficientes de remuneração e na cesta. Por isso, a decomposição no modelo fechado foi lida como verificação de robustez, e a interpretação centrou-se no modelo aberto, versão adotada nos estudos de referência.

Mudança na distribuição dos tipos de domicílio. Calculou-se, ainda, a variação percentual do requerimento total associada à mudança observada na distribuição dos tipos de domicílio entre 2000 e 2015, mantida constante a população. Com s_j a parcela da população que vive em domicílios do tipo j, a mesma utilizada na decomposição, e c_j o requerimento *per capita* do tipo, mantido no valor calculado, o requerimento total escreve-se como:

$$C(s) = P \cdot \sum_j s_j \cdot c_j \tag{41}$$

em que P é a população total. Substituiu-se a distribuição de 2000, $s_{j,2000}$, pela de 2015, $s_{j,2015}$, mantido c_j do ano de referência, e calculou-se a variação de C no total, nos componentes direto e indireto e por setor de origem, nos dois modelos, com os requerimentos *per capita* de 2000 e de 2015. Como P se cancela na razão entre $C(s_{j,2015})$ e $C(s_{j,2000})$, o resultado depende apenas das parcelas da população em cada tipo, estimadas nas POFs com o fator de expansão, e não do número de domicílios ou de pessoas da amostra. Em nível, a média dos resultados obtidos com os requerimentos de 2000 e de 2015 coincide com o efeito distribuição da decomposição. O exercício isola o efeito da distribuição dos

tipos de domicílio, sem supor mudanças no consumo de cada tipo, e deve ser lido como estática comparativa, e não como projeção.

Aplicado às matrizes de insumo-produto de 2000 e 2015, o procedimento permitiu examinar as mudanças estruturais e os padrões de requerimento de energia elétrica dos domicílios segundo o tipo de domicílio. Ao integrar a dimensão demográfica à decomposição do requerimento em componentes direto e indireto e à decomposição da sua variação entre os dois anos, permitiu ainda submeter a teste as duas hipóteses formuladas na seção 4.2. A primeira (H4) postula que o requerimento total do domicílio cresce menos que proporcionalmente ao número de moradores, de modo que o requerimento total *per capita* se eleva à medida que diminui o número de moradores e atinge o máximo no domicílio de 1 morador, em decorrência das economias de escala intradomiciliares. A segunda (H5) supõe que esse efeito de escala não é neutro quanto à origem do requerimento nem quanto à sua distribuição setorial, incidindo mais fortemente sobre o componente indireto do que sobre o direto e associando-se, ao longo do tempo, à recomposição da participação dos setores que suprem a cesta de consumo final do domicílio.

4.3.2 Base de dados

A estrutura produtiva da economia é representada pelas Matrizes de Insumo-Produto (MIPs) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2000 e 2015 (IBGE, 2008, 2018a), utilizadas para calcular a mudança no requerimento total, direto e indireto, de energia elétrica *per capita* por tipo de domicílio nesses dois períodos.

Os padrões de consumo foram extraídos dos microdados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) de 2002/2003 e 2008/2009 (IBGE, 2007, 2011), enquanto os dados de renda domiciliar provêm da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 2001 e 2015 (IBGE, 2001, 2016). Os dados de consumo setorial de energia elétrica para os anos de 2000 e 2015 foram extraídos do Balanço Energético Nacional (BEN), disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2025c), garantindo compatibilidade temporal com as matrizes analisadas.

As Matrizes de Insumo-Produto constituem um registro sistematizado dos fluxos de bens e serviços entre os setores produtivos e permitem identificar as relações de interdependência setorial e mensurar, por meio de coeficientes técnicos, os impactos de variações na demanda final sobre a produção agregada.

A Matriz de Insumo-Produto 2000, divulgada em 2008, inaugurou uma nova série do Sistema de Contas Nacionais. Sua construção integrou de forma abrangente resultados de diversas pesquisas estruturais do IBGE, incluindo o Censo Agropecuário 1995–1996, as pesquisas econômicas anuais nas áreas de Indústria, Construção Civil, Comércio e Serviços, bem como a POF 2002–2003. Complementarmente, foram incorporados dados administrativos da Receita Federal, provenientes da Declaração de Informações Econômico-

Fiscais da Pessoa Jurídica (DIPJ). Tomando o ano 2000 como referência, essa matriz apresentou desagregação para 55 atividades econômicas e 110 produtos.

A Matriz de Insumo-Produto 2015, disponibilizada em 2018, também foi estruturada a partir das TRU, em conformidade com as diretrizes internacionais do *System of National Accounts* 2008 (SNA 2008). Essa versão adotou uma classificação de atividades e produtos compatível com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0) e caracterizou-se por maior nível de desagregação, organizando-se em 67 atividades econômicas e 127 produtos.

Os dados das POFs foram utilizados para desagregar o vetor de consumo por tipo de domicílio, representado pelo número de moradores. Realizada quinquenalmente pelo IBGE, a POF tem como objetivo central levantar informações sobre as estruturas de consumo, despesas e rendimentos familiares, além de aferir a percepção sobre as condições de vida da população segundo as características dos domicílios e de seus moradores. Os dados da POF também são utilizados para subsidiar a construção do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC).

A POF levanta informações das populações urbanas e rurais do Brasil por meio de uma amostra com representatividade nacional, para as 27 unidades da Federação e para nove regiões metropolitanas. As edições utilizadas neste estudo, 2002/2003 e 2008/2009, englobaram, respectivamente, 48.470 domicílios (182.333 pessoas) e 55.970 domicílios (190.159 pessoas). A metodologia de coleta de dados foi estruturada em seis questionários temáticos, que investigaram: (1) características dos domicílios e dos residentes; (2) despesas coletivas com bens duráveis; (3) despesas coletivas com alimentação, higiene e limpeza; (4) despesas individuais; (5) rendimentos individuais; e (6) percepção das condições de vida (IBGE, 2007a).

Um procedimento metodológico realizado para este estudo foi a compatibilização dos produtos e serviços disponíveis nas POFs com os produtos das matrizes de insumo-produto. Dada a ausência de uma ferramenta de conversão universal, foram adotadas abordagens distintas para cada período de análise. Para a POF de 2008/2009, utilizou-se o tradutor elaborado pelo IBGE para conciliar seus cerca de 7.000 itens com os 127 produtos dos 67 setores da MIP de 2015. Esse instrumento associa cada produto da POF a um produto do Sistema de Contas Nacionais (SCN), que constitui a base de dados da matriz de insumo-produto (IBGE, 2018b). Para a POF de 2002/2003, no entanto, a incompatibilidade do tradutor exigiu uma classificação manual, na qual os aproximadamente 7.000 itens de despesa foram alocados individualmente aos 110 produtos e 55 setores da matriz de 2000.

Esse procedimento seguiu a abordagem do IBGE, que exclui as despesas não consideradas consumo final, como impostos, transferências e formação bruta de capital (IBGE, 2009). Em ambas as edições, cada despesa foi associada ao seu domicílio pela chave completa de identificação (unidade da Federação, número sequencial e número do

domicílio), da qual se obteve o número de moradores, e foram eliminados registros repetidos. Foram consideradas as despesas de todos os registros de consumo da pesquisa, inclusive as despesas coletivas de 90 dias, que abrangem energia elétrica, água, gás e telefone, e o aluguel estimado dos domicílios próprios e cedidos, alocado no setor Comercial nas duas edições, de modo a manter a comparabilidade entre os anos.

O procedimento de desagregação do vetor de salários, considerando os tipos de domicílio, requereu que os rendimentos disponíveis na PNAD estivessem em consonância com os salários dos setores de atividade econômica da matriz de insumo-produto. Realizada anualmente pelo IBGE (exceto em anos de Censo Demográfico), a PNAD é uma pesquisa por amostragem que abrange informações do Brasil, Grandes Regiões, Unidades da Federação e nove Regiões Metropolitanas, tendo como finalidade a produção de dados para o estudo do desenvolvimento socioeconômico do País. Trata-se de um sistema de pesquisas com múltiplos propósitos, que investiga diversas características socioeconômicas: algumas permanentes (como educação, trabalho, rendimento e habitação) e outras de periodicidade variável (como migração e saúde), incluídas de acordo com as necessidades de informação (IBGE, 2015). A sua metodologia de coleta consiste em um questionário que tem como unidades de análise as pessoas e os domicílios.

A composição da renda por setor de recebimento tem como base os dados de rendimentos individuais da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). A escolha por analisar os rendimentos em nível individual, e não agregado por domicílio, deve-se à possibilidade de coexistirem múltiplas fontes de renda de diferentes setores de atividade em um mesmo domicílio. Posteriormente, esses rendimentos individuais foram alocados em seus respectivos domicílios e, em seguida, estratificados por categoria de tamanho.

A compatibilização dos setores de atividade da PNAD com os setores das respectivas matrizes de insumo-produto foi realizada por meio do tradutor da CNAE-Domiciliar elaborado pelo IBGE. Para a PNAD de 2015, os rendimentos setoriais foram compatibilizados aos 67 setores da MIP daquele ano. Já para o período anterior, recorreu-se à PNAD de 2001, uma vez que a pesquisa não foi realizada em 2000 devido ao Censo Demográfico. Seus dados foram então compatibilizados com os 55 setores da matriz de 2000.

A agregação adotada teve como objetivo preservar, tanto quanto possível, as informações fornecidas pela matriz de insumo-produto, pela POF e pela PNAD. Essa agregação altera apenas a composição da matriz, sem modificar sua estrutura em termos de valor e mantém a consistência com a matriz original do IBGE.

Uma segunda etapa abordou a divergência estrutural entre as próprias matrizes. Para assegurar a comparabilidade, os 67 setores da Matriz de Insumo-Produto (MIP) de 2015 foram agregados para corresponder à estrutura de 55 setores da matriz de 2000. A partir dessa primeira compatibilização, os setores passaram por uma nova agregação

para se alinharem à classificação do Balanço Energético Nacional (BEN), que possui uma estrutura diferente. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o BEN subsidia o planejamento energético do Brasil e serve de instrumento de monitoramento de políticas públicas.

A compatibilização dos setores das matrizes com os do BEN foi necessária para que o coeficiente de energia elétrica pudesse ser calculado por meio dos fluxos de consumo dos bens e serviços domiciliares. Assim, o coeficiente de energia elétrica foi obtido pela razão entre o consumo físico de energia setorial (publicado pelo BEN em gigawatt-hora por ano - GWh/ano e convertido para megawatt-hora por ano - MWh/ano) e a produção setorial (em R$ 1.000.000,00 a preços constantes de 2000). O Apêndice B apresenta com maior detalhamento os procedimentos adotados na compatibilização, listando cada agregado setorial a partir dos dados originais da matriz de insumo-produto.

Para tornar comparáveis os dois anos, a matriz de 2015 foi expressa a preços de 2000. Utilizou-se o deflator implícito do PIB (IBGE, 2026), acumulado entre 2001 e 2015, cujo índice resultou em 3,2917. O consumo intermediário, o valor bruto da produção, o consumo das famílias e as remunerações de 2015 foram divididos por esse índice, ao passo que o consumo de energia elétrica, por ser grandeza física, não foi deflacionado. Como o mesmo índice foi aplicado a todos os setores, os coeficientes técnicos e a inversa de Leontief permanecem inalterados, e a deflação afeta apenas os coeficientes de energia elétrica, que passam a ser expressos em MWh por milhão de reais de 2000. Sem esse procedimento, a comparação entre os anos refletiria sobretudo a variação de preços, e não a do requerimento de eletricidade.

A análise exigiu extenso trabalho de preparação das bases. A montagem das matrizes por tipo de domicílio envolveu fontes de natureza distinta, duas matrizes de insumo-produto, duas edições da POF, duas da PNAD e o BEN, cada qual com classificação própria de produtos, atividades e unidades de medida. No lado do consumo, cerca de 7.000 itens de despesa de cada edição da POF foram associados aos produtos das matrizes, por meio do tradutor do IBGE, em 2008/2009, e de classificação manual item a item, em 2002/2003, e em seguida agregados por tipo de domicílio e pelos doze setores. No lado da renda, os rendimentos individuais da PNAD foram classificados por atividade, por meio do tradutor da CNAE-Domiciliar, atribuídos aos domicílios de origem e agregados por tipo de domicílio.

No lado da produção, as 67 atividades da MIP de 2015 foram agregadas às 55 da MIP de 2000 e ambas, aos doze setores compatíveis com o BEN, cujas classes de consumo também foram reagrupadas (Quadros 1B a 4B). As participações de cada tipo de domicílio no consumo e na renda foram aplicadas aos totais das matrizes, a matriz de 2015 foi deflacionada e o modelo foi resolvido em 24 versões, correspondentes a seis tipos de domicílio, dois anos e duas versões do modelo, a aberta e a fechada. Esse esforço de

desagregação, agregação e compatibilização é o que permitiu introduzir o tipo de domicílio na estrutura de insumo-produto, recorte ausente das matrizes oficiais.

Os elementos que detalham essa base de dados encontram-se reunidos no Apêndice B. O consumo setorial de energia elétrica extraído do BEN para 2000 e 2015 é apresentado na Tabela 1B, a sua correspondência com os setores agregados adotados neste estudo consta do Quadro 1B, e o consumo já reorganizado por setor agregado é reportado no Quadro 2B. A correspondência entre os setores agregados e as atividades econômicas das matrizes de insumo-produto é detalhada no Quadro 3B, para as 55 atividades da MIP de 2000, e no Quadro 4B, para as 67 atividades da MIP de 2015.

Quanto às despesas domiciliares extraídas da POF, a participação relativa dos tipos de domicílio nas despesas setoriais e a estrutura setorial dessas despesas por tipo de domicílio são apresentadas nas Tabelas 2B e 3B, referentes à POF 2002/2003, e nas Tabelas 4B e 5B, referentes à POF 2008/2009. Quanto aos rendimentos, obtidos da PNAD, a participação relativa dos tipos de domicílio nos rendimentos setoriais e a respectiva estrutura setorial por tipo de domicílio constam das Tabelas 6B e 7B, referentes à PNAD de 2001, e das Tabelas 8B e 9B, referentes à PNAD de 2015.

O Quadro 1 apresenta os 12 setores considerados nesta análise.

Quadro 1 – Setores Agregados

Setores Agregados
Agropecuário
Alimentos e Bebidas
Comercial
Energético
Minerais não metálicos
Não ferrosos e Outros da Metalurgia
Outras Indústrias
Papel e Celulose
Público
Químico
Têxtil
Transporte

Fonte: Elaborada pela autora.

Para analisar os efeitos das mudanças na estrutura domiciliar sobre o requerimento de energia elétrica, o passo seguinte consistiu na estratificação dos domicílios por tamanho, com base no número de moradores. Assim, foram definidos seis tipos de domicílio: (1) um morador, (2) dois moradores, (3) três moradores, (4) quatro moradores, (5) cinco moradores e (6) seis moradores ou mais. O número de observações, em cada categoria, está reportado na Tabela 7.

Tabela 7 – Tipos de domicílio

Tipo de domicílio	POF 2002/2003 Número de Domicílios	POF 2008/2009 Número de Domicílios
1 morador	4.342	6.290
2 moradores	8.336	11.997
3 moradores	10.707	13.671
4 moradores	11.222	12.063
5 moradores	6.886	6.475
6 moradores ou mais	6.977	5.474
Total	48.470	55.970

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados das Pesquisas de Orçamentos Familiares (POF) 2002/2003 e 2008/2009 (IBGE, 2007b, 2011).
Nota: O número médio de moradores por domicílio foi de 3,6 na POF 2002/2003 e de 3,3 na POF 2008/2009. Na Análise 2, a população de cada tipo, estimada com o fator de expansão, correspondeu a 2,8%, 10,0%, 18,8%, 25,0%, 18,5% e 24,9% das pessoas na POF 2002/2003 (175,8 milhões) e a 3,6%, 13,6%, 22,5%, 25,9%, 16,4% e 18,0% na POF 2008/2009 (190,5 milhões), do domicílio de 1 morador ao de 6 moradores ou mais.

Estabelecidos esses tipos de domicílio, torna-se possível examinar como os diferentes tipos de domicílio distribuem suas despesas entre setores econômicos e como essa distribuição evoluiu ao longo do tempo. Antes de proceder à análise específica do consumo energético, a compreensão do padrão geral de consumo e renda desses tipos de domicílio permitirá contextualizar adequadamente os resultados posteriores. Para tanto, são apresentadas a seguir análises descritivas das estruturas de despesas e rendimentos, utilizando dados das Pesquisas de Orçamentos Familiares de 2002/2003 e 2008/2009 e das Pesquisas Nacionais por Amostra de Domicílios de 2001 e 2015. Devido à quantidade de tabelas envolvidas, optou-se por apresentá-las no Apêndice B, mantendo-se aqui a discussão analítica dos principais resultados observados.

A Tabela 2B do apêndice apresenta a participação relativa dos tipos de domicílio nas despesas setoriais no Brasil, agregadas em 12 setores, com base na POF 2002/2003. A análise da distribuição das despesas segundo os tipos de domicílio permite observar como domicílios de diferentes tamanhos participam do consumo em cada setor econômico. A distribuição foi semelhante entre os setores: os domicílios de três e quatro moradores responderam, em conjunto, por 46% a 50% das despesas de cada setor. Essa concentração indica que o núcleo da demanda dos domicílios brasileiros, no início dos anos 2000, encontrava-se em domicílios de tamanho médio, refletindo tanto a estrutura demográfica quanto a organização do consumo familiar.

Enquanto a Tabela 2B analisa a participação dos tipos de domicílio dentro dos setores, a Tabela 3B do apêndice apresenta perspectiva complementar ao revelar a estrutura

setorial das despesas domiciliares por tipo de domicílio no Brasil, também com base na POF 2002/2003. Essa tabela mostra a composição das despesas dentro de cada tipo de domicílio. Observa-se forte concentração em três setores: Comercial (aproximadamente 40%), Outras Indústrias (cerca de 31%) e Energético (próximo de 10%). Essa estrutura reflete o peso do comércio e dos serviços na cesta de consumo dos domicílios.

Em termos de dinâmica entre tipos de domicílio, nota-se que o peso do setor Comercial diminui conforme aumenta o número de moradores, de 41,9% no domicílio de 1 morador para 36,6% no de seis moradores ou mais, enquanto o setor Transporte cresce progressivamente. Esse comportamento sugere que famílias maiores tendem a diversificar o consumo, incorporando gastos relacionados à mobilidade e à logística doméstica.

A comparação temporal revela transformações importantes. A Tabela 4B do apêndice, que apresenta a participação relativa dos tipos de domicílio nas despesas setoriais com base na POF 2008/2009, mostra mudança na distribuição das despesas em relação ao período anterior. O centro do consumo desloca-se dos domicílios de três e quatro moradores para os de dois e três moradores, refletindo transformações demográficas ocorridas no país ao longo da década, particularmente a redução do tamanho médio das famílias. Setores como Energético e Têxtil passam a apresentar maior concentração em domicílios menores, indicando adaptações no perfil de consumo associadas à urbanização e ao aumento de domicílios com poucos moradores. Observa-se também redução relativa da participação dos domicílios de seis moradores ou mais, sugerindo perda de importância desse grupo na estrutura agregada das despesas.

A Tabela 5B do apêndice, que apresenta a estrutura setorial das despesas domiciliares por tipo de domicílio com base na POF 2008/2009, revela a principal transformação estrutural observada entre os dois períodos. O setor Comercial perde participação relativa, enquanto Outras Indústrias assume posição dominante, com participação próxima de metade do total das despesas em alguns tipos de domicílio. Esse deslocamento sinaliza uma mudança no perfil de consumo que converge com o cenário macroeconômico dos anos 2000, caracterizado pela expansão do crédito às famílias, pelo aumento do consumo de bens duráveis e pela elevação da renda real. Outro aspecto relevante é a maior diferenciação entre tipos de domicílio, sugerindo maior heterogeneidade nas estratégias de consumo familiar.

A análise da distribuição dos rendimentos, com base nos dados das PNADs, complementa o panorama das transformações estruturais. A Tabela 6B do apêndice apresenta a participação relativa dos tipos de domicílio nos rendimentos setoriais no Brasil, agregados em 12 setores, com base na PNAD 2001. Os dados mostram que a renda apresentava forte concentração nos domicílios de três e quatro moradores, reproduzindo padrão semelhante ao observado nas despesas da POF. Isso sugere que o grupo central da estrutura domiciliar brasileira também constituía o principal núcleo de geração de

renda. O setor Comercial apresentava elevada concentração nos domicílios de tamanho médio, enquanto o Agropecuário mantinha distribuição mais equilibrada, indicando maior heterogeneidade ocupacional.

A Tabela 7B do apêndice, que mostra a estrutura setorial dos rendimentos domiciliares por tipo de domicílio com base na PNAD 2001, revela que a composição da renda apresentava forte predominância de dois setores: Público e Comercial. O setor público respondia por 28,6% a 45,2% dos rendimentos, parcela que decrescia do domicílio de 1 morador (45,2%) ao de 4 moradores (28,6%), reflexo do peso do emprego público no período.

A Tabela 8B do apêndice, referente à PNAD 2015, mostra mudanças na distribuição da renda, com maior concentração nos domicílios de dois, três e quatro moradores e redução da participação dos domicílios maiores. Esse comportamento é compatível com o avanço do processo de transição demográfica e a redução do número médio de moradores por domicílio. A distribuição setorial também se torna mais homogênea, sugerindo maior integração do mercado de trabalho.

A Tabela 9B do apêndice, que apresenta a estrutura setorial dos rendimentos com base na PNAD 2015, revela, na comparação com 2001, que a participação do setor público recuou de 28,6% a 45,2% para 16,7% a 25,8%, conforme o tipo de domicílio, a do Comercial passou de 39,5% a 48,9% para 45,3% a 49,4%, e a de Outras Indústrias, de 6,3% a 12,5% para 11,5% a 18,1%. Essas mudanças indicam reconfiguração do mercado de trabalho brasileiro, com maior protagonismo do setor privado.

Esses dados evidenciam que, entre o início dos anos 2000 e meados da década seguinte, o Brasil experimentou transformações simultâneas na composição setorial da renda e no padrão de consumo domiciliar. As mudanças observadas nas POFs indicam maior peso do comércio, dos serviços e da energia nas despesas, enquanto as PNADs apontam para a reconfiguração do mercado de trabalho e a redução da centralidade do setor público. Em ambos os processos, o deslocamento da concentração de despesas e rendimentos para domicílios menores reforça a importância das transformações demográficas como elemento estruturante dessas dinâmicas.

Essa caracterização das estruturas de consumo e rendimento segundo tipos de domicílio fornece o contexto necessário para a investigação específica dos padrões de consumo energético. As transformações observadas na composição das despesas, particularmente o deslocamento do consumo para domicílios menores e o maior peso do comércio, dos serviços e da energia nos gastos, sugerem potenciais alterações também no uso residencial de energia elétrica. Após a compatibilização das diferentes bases de dados e a definição dos tipos de domicílio, aplicou-se o modelo de insumo-produto para testar as hipóteses levantadas nesta análise, investigando especificamente como as mudanças na estrutura domiciliar afetaram o requerimento total de energia elétrica *per capita* no período considerado.

4.4 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os resultados do modelo de insumo-produto descrevem o requerimento de energia elétrica dos seis tipos de domicílio em 2000 e 2015, nos modelos aberto e fechado. A seção 4.4.1 apresenta a sua distribuição entre os tipos de domicílio, em nível, *per capita*, por componente e por setor de origem; a seção 4.4.2, o efeito da mudança na distribuição dos tipos de domicílio; e a seção 4.4.3, a decomposição da sua variação entre 2000 e 2015, seguida de uma síntese dos resultados à luz de H4 e H5.

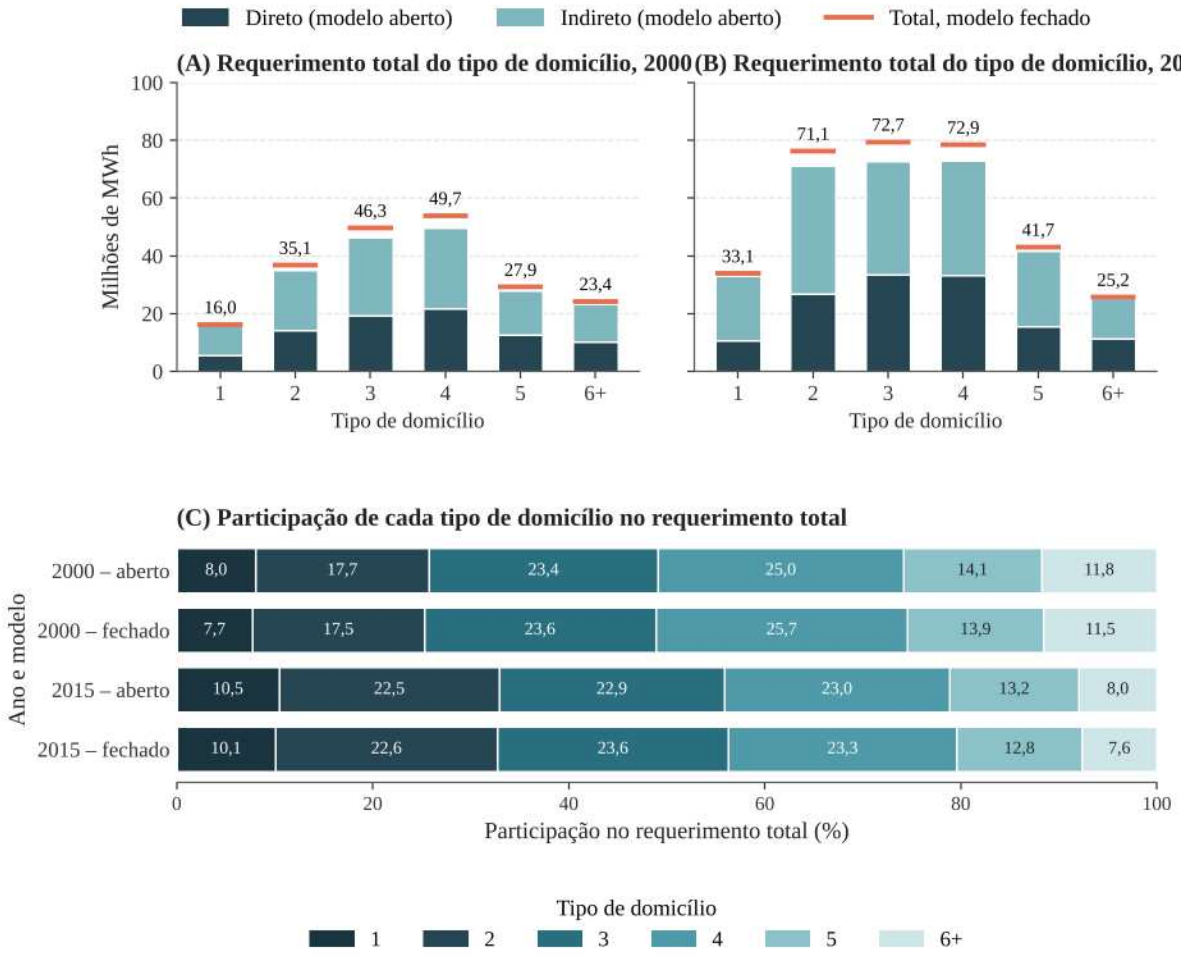
Os resultados referem-se ao requerimento de energia elétrica, isto é, à eletricidade mobilizada na economia para atender ao consumo de cada tipo de domicílio, e não ao consumo físico de eletricidade, que entra no cálculo apenas pelos coeficientes de energia elétrica (equações 10 e 11). São apresentados nos modelos aberto e fechado, em nível, em milhões de MWh por ano, valor que corresponde à soma de todos os domicílios de cada tipo no país, e *per capita*, em MWh *per capita* ao ano. Por isso, são confrontados com os dos estudos revistos na seção 4.2 apenas quanto à direção dos efeitos, e não quanto à magnitude.

O requerimento por real gasto (Tabela 9) já difere entre os tipos, pois cada um tem a sua cesta de consumo, o seu coeficiente direto e, no modelo fechado, a sua matriz ampliada, com a sua participação na renda do trabalho; o requerimento *per capita* acrescenta a essas diferenças o gasto *per capita*, de modo que o seu gradiente reflete tanto as economias de escala intradomiciliares quanto as diferenças de renda e de consumo entre os tipos.

4.4.1 Distribuição do requerimento entre os tipos de domicílio

O requerimento em nível de cada tipo corresponde à soma de todos os domicílios do tipo no país, isto é, ao requerimento *per capita* multiplicado pelo número de pessoas que vivem nesse tipo de domicílio. Por isso, o domicílio de 1 morador, que reunia 2,8% das pessoas em 2000 e 3,6% em 2015, embora correspondesse a 10,1% e 11,9% dos domicílios, segundo as POFs 2002/2003 e 2008/2009 com o fator de expansão, teve requerimento em nível inferior ao dos tipos de 2 a 5 moradores nos dois anos, embora tenha o maior requerimento *per capita*. Em nível, o requerimento total aumentou cerca de 60% entre 2000 e 2015 nos dois modelos (Figura 4) e concentrou-se nos domicílios de 3 e 4 moradores em 2000 e nos de 2 a 4 moradores em 2015. O requerimento total dos domicílios de 1 e 2 moradores mais que dobrou, e o dos de 6 moradores ou mais variou menos de 10%. A participação dos domicílios de 1 e 2 moradores no requerimento total passou de cerca de 26% para 33% (painel C), e a dos de 5 moradores ou mais recuou de cerca de 26% para 21%. O deslocamento tem a mesma direção do registrado por Yu *et al.* (2026), em que a participação dos domicílios de uma e duas pessoas também aumentou.

Figura 4 – Requerimento de energia elétrica em nível (soma de todos os domicílios de cada tipo), total, direto e indireto, e participação de cada tipo de domicílio no requerimento total no Brasil em 2000 e 2015 – modelos aberto e fechado



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

O requerimento total *per capita* diminuiu com o número de moradores do tipo de domicílio (Tabela 8). No modelo aberto, foi de 3,26 MWh *per capita* no domicílio de 1 morador e de 0,53 MWh no de 6 moradores ou mais em 2000, e de 4,81 e 0,74 MWh em 2015; a razão entre os extremos passou de 6,1 para 6,5 (de 6,0 para 6,6 no modelo fechado), e a distância absoluta, de 2,7 para 4,1 MWh *per capita*. O gradiente e a ampliação da distância entre os extremos seguem a direção prevista na segunda proposição da seção 4.2, extraída de Zhang, Wang e Zhang (2023) e Yu *et al.* (2026).

Tabela 8 – Requerimento de energia elétrica *per capita*, total, direto e indireto, e requerimento total por domicílio, por tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 – modelos aberto e fechado (MWh *per capita* e MWh por domicílio)

Tipo de domicílio	Modelo	2000				2015			
		Direto	Indireto	Total	Por domicílio	Direto	Indireto	Total	Por domicílio
1 morador	Aberto	1,16	2,10	3,26	3,26	1,54	3,28	4,81	4,81
	Fechado	1,18	2,14	3,32	3,32	1,58	3,36	4,93	4,93
2 moradores	Aberto	0,81	1,19	2,00	4,00	1,03	1,71	2,74	5,48
	Fechado	0,85	1,25	2,10	4,20	1,11	1,83	2,94	5,88
3 moradores	Aberto	0,58	0,82	1,40	4,20	0,78	0,91	1,70	5,09
	Fechado	0,62	0,88	1,50	4,50	0,86	1,00	1,86	5,57
4 moradores	Aberto	0,50	0,63	1,13	4,52	0,67	0,80	1,47	5,89
	Fechado	0,54	0,69	1,23	4,91	0,72	0,86	1,59	6,35
5 moradores	Aberto	0,39	0,47	0,86	4,28	0,50	0,84	1,34	6,69
	Fechado	0,40	0,49	0,90	4,48	0,52	0,86	1,38	6,91
6 moradores ou mais	Aberto	0,23	0,30	0,53	3,76	0,33	0,40	0,74	5,07
	Fechado	0,24	0,31	0,55	3,91	0,34	0,41	0,75	5,17
Total	Aberto	0,48	0,65	1,13	4,10	0,69	0,97	1,66	5,49
	Fechado	0,50	0,69	1,19	4,34	0,73	1,03	1,77	5,84

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

O gradiente foi mais acentuado no componente indireto, com razão de 7,0 em 2000 e 8,1 em 2015, do que no direto, com 5,0 e 4,6, pois no direto o maior gasto *per capita* do domicílio de 1 morador é em parte compensado pelo seu menor coeficiente direto (Tabela 10B do Apêndice B). A maior intensidade do gradiente no componente indireto é a prevista em H5 e tem a mesma direção da registrada por Zhang, Wang e Zhang (2023) e Shao *et al.* (2024).

A dispersão do requerimento total por domicílio entre os tipos foi inferior à do requerimento total *per capita*. No modelo aberto, o requerimento total por domicílio situou-se entre 3,3 e 4,5 MWh por ano em 2000 e entre 4,8 e 6,7 MWh em 2015, com razão de 1,4 entre o maior e o menor valor nos dois anos, ante 6,1 e 6,5 no requerimento total *per capita*, e o domicílio de 6 moradores ou mais requereu quantidade próxima à do de 1 morador (3,76 ante 3,26 MWh em 2000 e 5,07 ante 4,81 MWh em 2015). O resultado é compatível com H4 e com as economias de escala intradomiciliares, pelas quais espaço, equipamentos e serviços adquiridos por domicílio são compartilhados entre os moradores (O'Neill; Chen, 2002; Underwood; Zahran, 2015; Yates, 2018).

O componente indireto respondeu por 54% a 68% do requerimento total em todos os tipos de domicílio e nos dois anos: a maior parte da eletricidade associada ao consumo dos domicílios não é registrada no medidor residencial, mas consumida nas cadeias que produzem os bens e serviços adquiridos. A predominância do indireto confirma, para a

eletricidade, a primeira proposição da seção 4.2, obtida em contextos e métodos distintos (Cohen; Lenzen; Schaeffer, 2005; Supasa *et al.*, 2017; Weiss de Abreu *et al.*, 2021; Chen; Jiang; Chen, 2024). Essa participação foi maior nos domicílios menores, de 64% no de 1 morador e de 56% no de 6 moradores ou mais em 2000 (68% e 55% em 2015). O fechamento do modelo acrescentou até cerca de 9% ao requerimento total, principalmente nos domicílios de 3 e 4 moradores, que concentram a renda do trabalho (Tabelas 6B e 8B), sem alterar o padrão entre os tipos. A concentração do efeito induzido nesses domicílios decorre da formulação de Miyazawa (1976), em que o consumo induzido de cada grupo depende da sua participação na renda gerada na produção.

A diferença *per capita* entre os tipos recaiu principalmente sobre o componente indireto, cuja participação foi maior nos tipos de domicílio com menos moradores, o que respalda a primeira parte de H5. Esse componente é acionado pela cesta de bens e serviços, incluídos os bens duráveis adquiridos por domicílio e não por pessoa, característica compatível com o mecanismo descrito por O'Neill e Chen (2002), Underwood e Zahran (2015) e Ivanova e Büchs (2020), em que as economias de escala domésticas decorrem da partilha de espaço, eletrodomésticos e demais bens entre os moradores. Como os domicílios de 1 morador foram os que mais cresceram, a mudança tende a reduzir esse compartilhamento. O gradiente reflete também diferenças de gasto e de renda entre os tipos.

Por real gasto, as diferenças entre os tipos foram menores e não seguiram o gradiente *per capita* (Tabela 9). Em 2000, o requerimento total do modelo aberto aumentou com o número de moradores até o domicílio de 5 moradores, de 260,5 para 323,3 MWh por milhão de reais de 2000, nos dois componentes; em 2015, a relação foi irregular, e o domicílio de 1 morador teve o menor valor, 270,6 MWh por milhão de reais de 2000. O maior requerimento total *per capita* do domicílio de 1 morador decorreu, portanto, do maior gasto *per capita*, e não de maior requerimento total por real gasto. O efeito induzido foi maior nos domicílios de 3 e 4 moradores, até 9,4% em 2015, e menor no de 1 morador e no de 6 moradores ou mais.

Tabela 9 – Requerimento de energia elétrica por real gasto, total, direto e indireto, nos modelos aberto e fechado, por tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 (MWh por milhão de R$ de 2000)

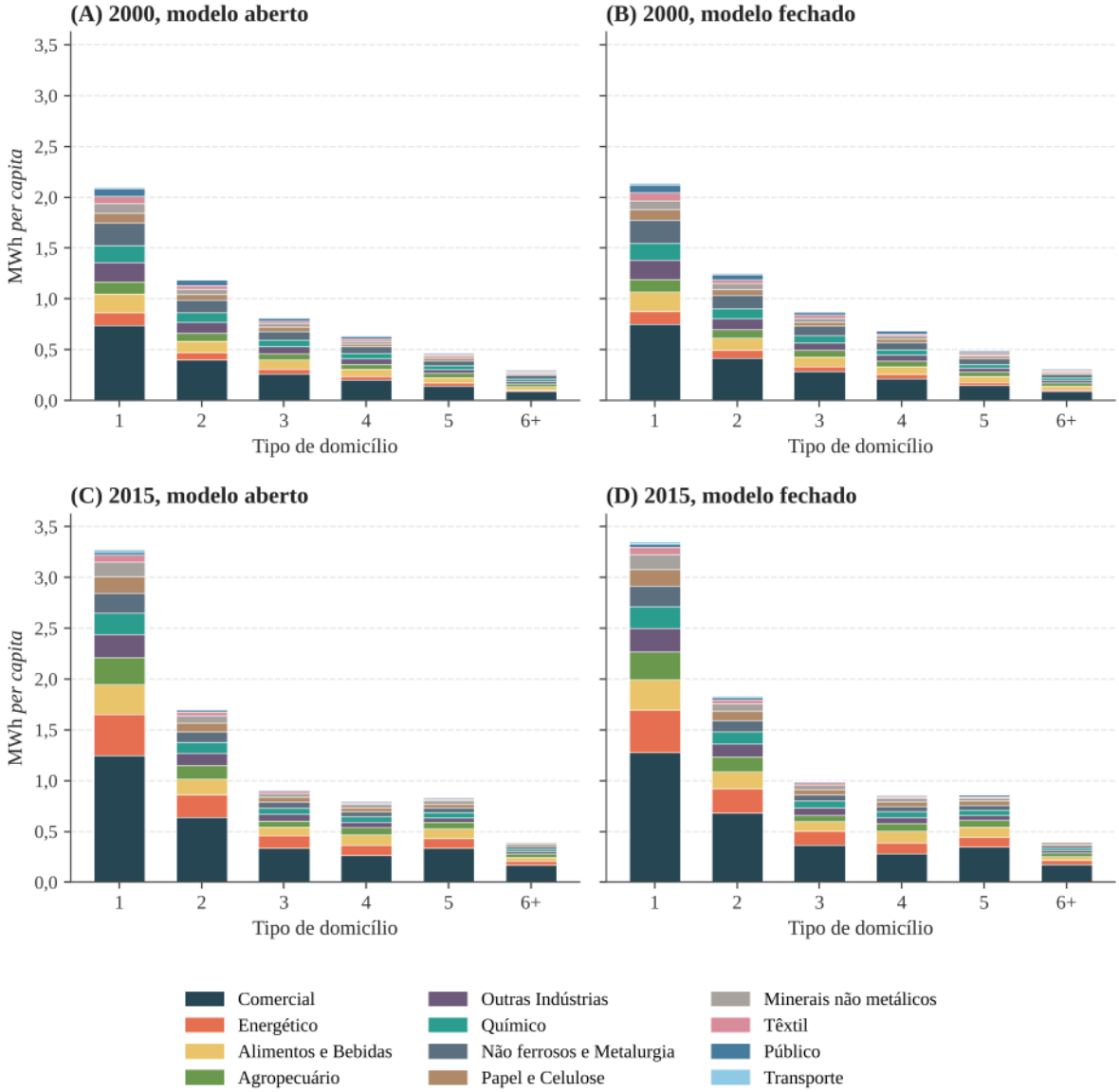
Tipo de domicílio	2000					2015				
	Direto	Indireto	Total, aberto	Total, fechado	Induzido (%)	Direto	Indireto	Total, aberto	Total, fechado	Induzido (%)
1 morador	92,77	167,75	260,52	265,11	1,8	86,48	184,09	270,57	277,18	2,4
2 moradores	115,76	171,00	286,76	300,84	4,9	112,14	185,86	297,99	319,65	7,3
3 moradores	123,39	174,15	297,54	319,07	7,2	160,56	186,84	347,38	379,90	9,4
4 moradores	137,40	175,88	313,27	340,26	8,6	166,16	198,00	364,15	392,18	7,7
5 moradores	145,50	177,80	323,30	338,19	4,6	107,80	180,00	287,79	297,11	3,2
6 moradores ou mais	140,28	180,18	320,44	332,85	3,9	144,24	175,02	319,25	325,71	2,0

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

O gradiente do requerimento total *per capita* acompanhou o do gasto *per capita*, que no domicílio de 1 morador foi cerca de 7,5 vezes o do de 6 moradores ou mais nos dois anos (Figura 2B do Apêndice B). Como o coeficiente direto do domicílio de 1 morador é o menor entre os tipos (Tabela 10B do Apêndice B), o seu maior requerimento total *per capita* decorre do maior gasto *per capita*, e não de uso mais intensivo de eletricidade por real gasto. Esse gasto reflete tanto o menor compartilhamento quanto diferenças de renda entre os tipos.

O gradiente *per capita* repetiu-se em todos os setores de origem (Figura 5). O Comercial, que reúne comércio e serviços, foi a principal origem do requerimento indireto em todos os tipos, com um terço a dois quintos do total. Em 2000, o seu peso caía com o número de moradores, de 35% no de 1 morador para 29% no de 6 moradores ou mais, em que pesavam mais Alimentos e Bebidas e o Agropecuário; o maior peso dos alimentos nos domicílios maiores e dos serviços nos menores acompanha a variação da cesta com o tamanho do domicílio registrada por Yu *et al.* (2026), em que os domicílios menores destinaram maior parcela do gasto à habitação, à energia, ao transporte e aos serviços; em 2015, variou entre 33% e 42%, sem relação regular com o tamanho.

Figura 5 – Requerimento indireto de energia elétrica *per capita* por setor de origem e tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 – modelos aberto e fechado



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

Entre os dois anos, a composição setorial mudou da mesma forma em todos os tipos: a participação do Energético no requerimento indireto passou de cerca de 6% para 11% a 14%, a do Comercial aumentou, e as de Não ferrosos e Outros da Metalurgia e do Público diminuíram. Por ter ocorrido em todos os tipos, essa recomposição sugere mudança nas cadeias que suprem a cesta, e não efeito da mudança na distribuição dos tipos de domicílio, em linha com Zhang, Wang e Zhang (2023), em que a recomposição setorial também ocorreu em todos os tipos de domicílio. Esse resultado respalda a segunda parte de H5 e sugere que o requerimento associado ao consumo domiciliar acompanhou a mudança das cadeias produtivas, e não apenas ganhos de eficiência.

Parte do ganho de peso do Comercial pode associar-se à mudança na forma de consumir bens e serviços. O comércio eletrônico, os aplicativos de entrega de refeições e o transporte por aplicativo transferem para fora do domicílio atividades antes realizadas nele ou em deslocamentos próprios, como a ida às lojas e o preparo das refeições, e acrescentam etapas que consomem eletricidade nos setores que suprem a cesta: centros de distribuição, armazenagem refrigerada, plataformas digitais e centros de dados. Lange, Pohl e Santarius (2020) mostram que os efeitos da digitalização que elevam o consumo de energia, os diretos das tecnologias de informação e comunicação e os de crescimento econômico, superam os que o reduzem, porque os serviços digitais tendem a somar-se à produção existente, e não a substituí-la; os centros de dados já usavam cerca de 1% da eletricidade mundial em 2018 (Masanet *et al.*, 2020). Os estudos de ciclo de vida indicam que o saldo depende do formato do serviço: as compras exclusivamente virtuais com entrega em domicílio (Shahmohammadi *et al.*, 2020), a entrega de refeições por aplicativo (Li; Mirosa; Bremer, 2020) e o transporte por aplicativo (Henao; Marshall, 2019) tenderam a ampliar os impactos das atividades que substituem, pelas embalagens, pelas entregas individuais e pelas viagens sem passageiro. Esses estudos referem-se a outros países e indicam apenas a direção de um mecanismo pelo qual o requerimento indireto pode crescer sem aumento do consumo no próprio domicílio. Como esses serviços se difundiram no Brasil sobretudo depois de 2015 e as matrizes de insumo-produto não os distinguem dentro do Comercial, eles apontam uma tendência para os anos seguintes, e não uma explicação para a mudança observada entre 2000 e 2015.

Em nível (Tabela 11B do Apêndice B), o requerimento indireto do conjunto dos domicílios passou de 114,7 para 185,5 milhões de MWh entre 2000 e 2015 no modelo aberto, e o direto, de 83,6 para 131,2 milhões de MWh. O Comercial foi a principal origem do requerimento indireto nos dois anos, com 36,7 e 68,8 milhões de MWh, e o Energético teve o maior crescimento, de 6,6 para 23,3 milhões de MWh, enquanto o Público recuou de 4,5 para 2,3 milhões de MWh. O requerimento total do domicílio de 1 morador passou de 16,0 para 33,1 milhões de MWh.

Os setores eletrointensivos tiveram os maiores multiplicadores (Tabela 12B do Apêndice B), e, embora respondessem por no máximo 1,4% do gasto dos domicílios (Tabelas 3B e 5B), Papel e Celulose, Minerais não metálicos, Não ferrosos e Outros da Metalurgia e Têxtil originaram 23% do requerimento indireto em 2000 e 17% em 2015, por meio dos insumos que fornecem às cadeias que suprem a cesta de consumo (Tabela 11B do Apêndice B). O Comercial, com multiplicador de 118 e 126 MWh por milhão de reais de 2000, originou 32% e 37% do requerimento indireto, em razão da sua participação de 30% a 42% no gasto dos domicílios. A mudança entre os anos acompanhou o consumo de eletricidade dos setores no BEN, que aumentou 255% no Energético e 92% no Comercial entre 2000 e 2015 (Quadro 2B). No modelo fechado, o maior acréscimo induzido entre os tipos de domicílio variou de 2,4% a 5,3% nos setores eletrointensivos e de 22,8% a 34,7%

no Comercial e no Público, que recebem a maior parcela do gasto gerado pela renda do trabalho.

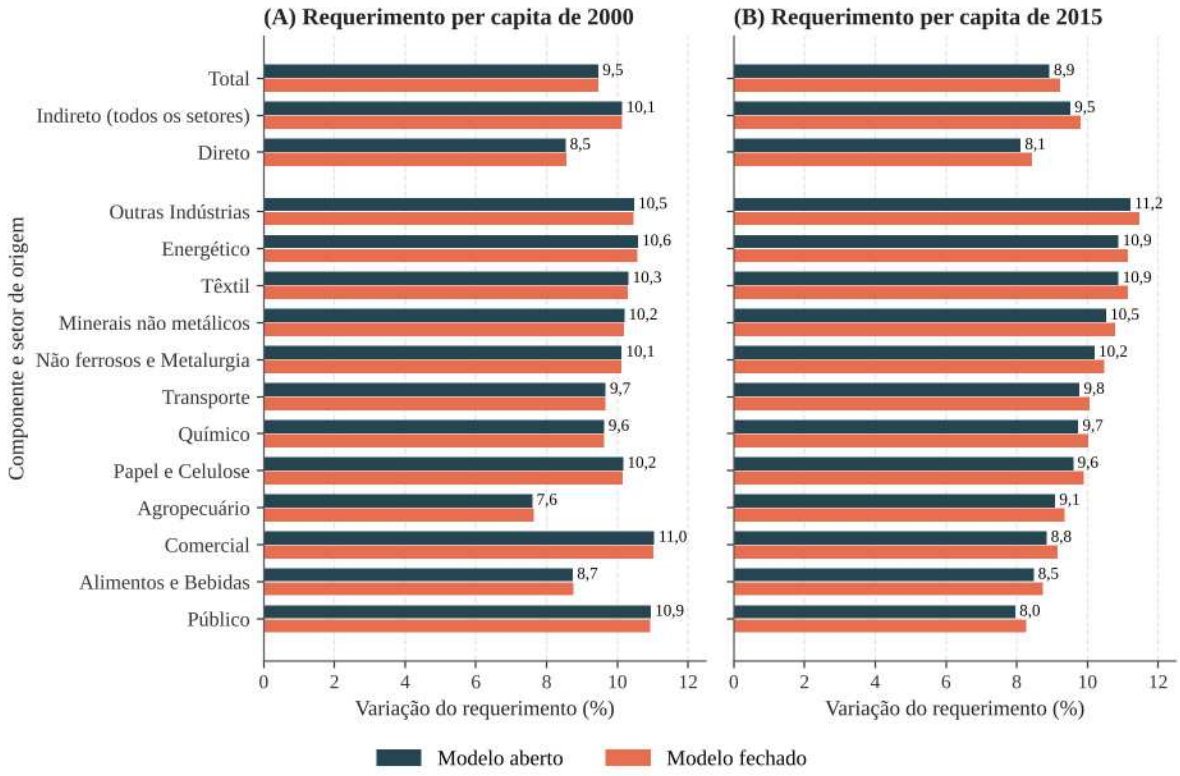
Por tipo de domicílio, o multiplicador do modelo fechado foi menor no domicílio de 1 morador e maior nos de 3 e 4 moradores em todos os setores (Tabela 13B do Apêndice B), acompanhando a participação de cada tipo na renda do trabalho.

4.4.2 Efeito da mudança na distribuição dos tipos de domicílio

Entre 2000 e 2015, representados pelas POFs 2002/2003 e 2008/2009 com o fator de expansão, o número estimado de domicílios cresceu 19%, mais que o dobro do crescimento da população (8%), e o tamanho médio recuou de 3,6 para 3,3 moradores (Tabela 7). Os domicílios de 1 morador aumentaram 41%; a participação dos de 1 e 2 moradores no total de domicílios passou de 28% para 34%, e a dos de 5 moradores ou mais caiu de 26% para 19%. O número de domicílios cresceu mais que a população porque o seu tamanho médio diminuiu, mecanismo descrito por Liu *et al.* (2003), pelo qual o número de domicílios pode aumentar mesmo onde a população se estabiliza.

A Figura 6 isola o efeito da mudança na distribuição dos tipos de domicílio. Entre 2000 e 2015, a parcela da população em domicílios de 1 e 2 moradores passou de 12,7% para 17,2%, e a dos de 5 moradores ou mais, de 43,5% para 34,4%. Mantidos a população e o requerimento *per capita* de cada tipo, a distribuição observada em 2015 elevaria o requerimento total em 9,5% com os requerimentos *per capita* de 2000 e em 8,9% com os de 2015 no modelo aberto (9,5% e 9,2% no fechado), o equivalente a 26,0 milhões de MWh por ano em 2015 (28,5 milhões de MWh no fechado). O efeito seria maior no componente indireto (10,1% e 9,5% no modelo aberto; 10,1% e 9,8% no fechado) do que no direto (8,5% e 8,1%; 8,6% e 8,4%), porque o gradiente *per capita* é mais acentuado no componente indireto (seção 4.4.1). Por setor de origem, o efeito variaria, no modelo aberto, de 7,6%, no Agropecuário, a 11,0%, no Comercial, com os requerimentos de 2000, e de 8,0%, no Público, a 11,2%, em Outras Indústrias, com os de 2015. Em nível, a média dos dois resultados corresponde ao efeito distribuição da decomposição apresentada na seção 4.4.3 (8,5 milhões de MWh no componente direto e 13,9 milhões de MWh no indireto, no modelo aberto). Como a população cresceu 8% no período, a mudança na distribuição dos tipos de domicílio teria, por si só, efeito sobre o requerimento total de magnitude próxima à do crescimento populacional. A conclusão tem a mesma direção da obtida por Ivanova e Büchs (2022) para 43 países entre 1995 e 2015.

Figura 6 – Variação percentual do requerimento de energia elétrica associada à mudança na distribuição dos tipos de domicílio entre 2000 e 2015, por setor de origem, no Brasil – modelos aberto e fechado

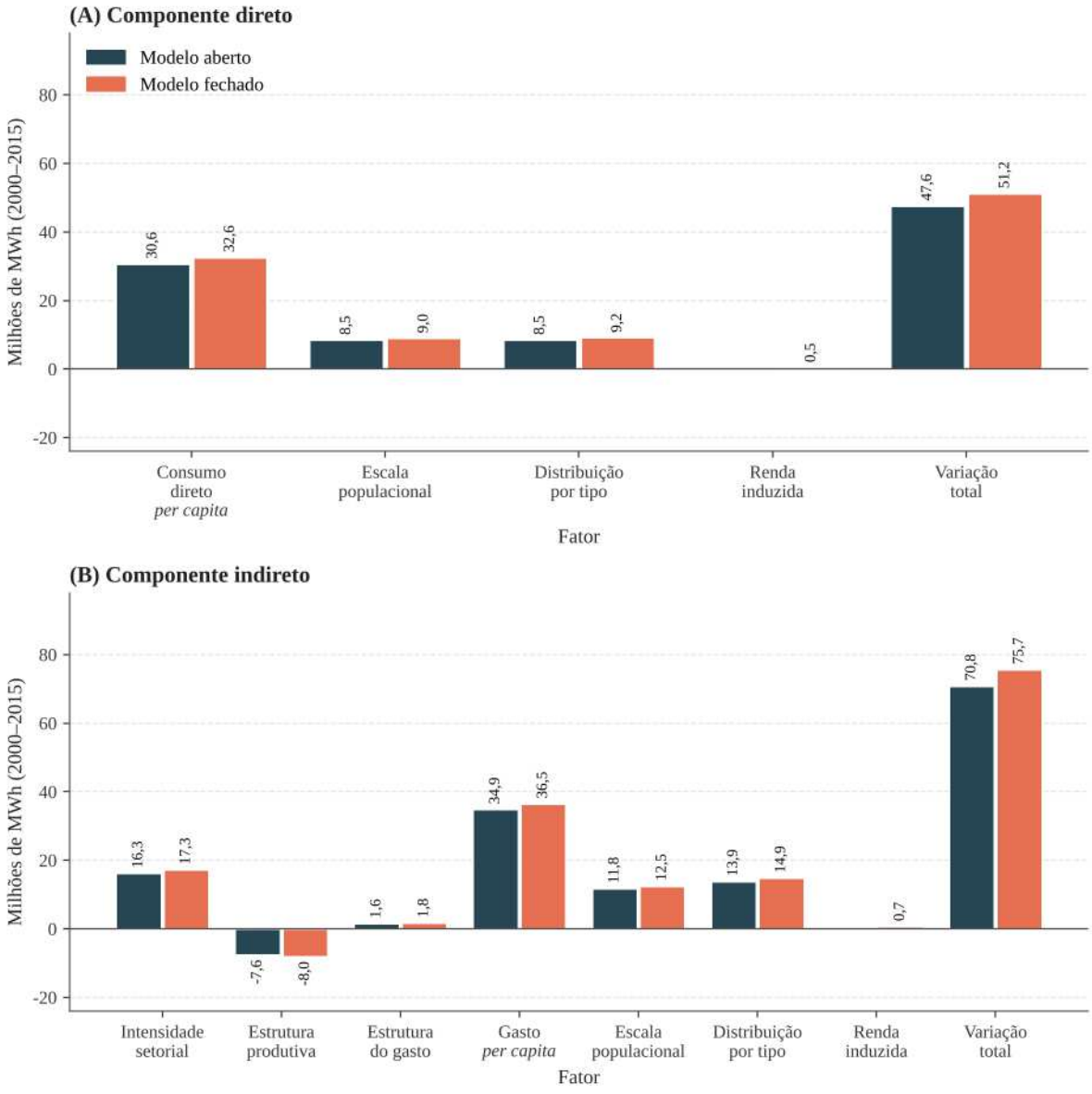


Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

4.4.3 Efeitos dos fatores sobre a variação do requerimento

Na decomposição da variação entre 2000 e 2015 (Figura 7), o aumento do gasto *per capita* respondeu por 49% do acréscimo do componente indireto, a elevação das intensidades setoriais por cerca de 23%, a mudança na distribuição dos tipos de domicílio por cerca de 20% e o crescimento da população total por cerca de 17%; a estrutura produtiva foi o único fator de contenção (−7,6 milhões de MWh), e a estrutura do gasto respondeu por 2% (1,6 milhão de MWh). No componente direto, o consumo *per capita* respondeu por 64% do acréscimo, e o restante dividiu-se em partes iguais entre a escala populacional e a distribuição dos tipos de domicílio, cerca de 18% cada. A renda induzida do modelo fechado acrescentou 0,45 milhão de MWh ao componente direto e 0,74 milhão de MWh ao indireto, cerca de 1% da variação de cada um. O predomínio do gasto *per capita* entre os fatores de aumento e o papel de contenção da estrutura produtiva repetem o padrão das decomposições revistas na seção 4.2 (Duarte; Mainar; Sánchez-Chóliz, 2013; Weiss de Abreu *et al.*, 2021; Yu *et al.*, 2026). A elevação das intensidades setoriais, por sua vez, diverge da contenção pela intensidade energética registrada por Lan *et al.* (2016) e Chen, Jiang e Chen (2024).

Figura 7 – Efeitos dos fatores sobre a variação dos requerimentos direto e indireto de energia elétrica entre 2000 e 2015 no Brasil – modelos aberto e fechado



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.
Nota: consumo direto *per capita*: variação do consumo direto de eletricidade por pessoa em cada tipo de domicílio; escala populacional: crescimento da população total; distribuição por tipo: redistribuição da população entre os tipos de domicílio; intensidade setorial: variação da eletricidade utilizada por unidade de produção de cada setor (coeficientes de energia elétrica); estrutura produtiva: mudança nas relações intersetoriais, expressa na matriz inversa de Leontief; estrutura do gasto: mudança na composição setorial da cesta de consumo de cada tipo; gasto *per capita*: variação do gasto em consumo final por pessoa de cada tipo; renda induzida: no modelo fechado, variações na participação de cada tipo na renda do trabalho, nos coeficientes de remuneração e na cesta de consumo.

As intensidades subiram principalmente em Papel e Celulose, Têxtil e Agropecuário e caíram em Não ferrosos e Outros da Metalurgia e em Minerais não metálicos. Como

a produção de 2015 foi deflacionada por um índice único, essas variações incorporam também mudanças de preços relativos.

No componente direto (Tabela 10), o efeito escala foi positivo em todos os tipos de domicílio, pois a população total cresceu 8%. O efeito distribuição foi positivo nos domicílios de 1 a 4 moradores, cuja parcela na população aumentou, e negativo nos de 5 moradores ou mais, cuja parcela diminuiu. Nos domicílios de 1 e 2 moradores, o efeito distribuição superou o efeito escala e somou 8,3 milhões de MWh, 98% do efeito distribuição líquido (8,5 milhões de MWh). O consumo *per capita* predominou nos domicílios de 3 e 4 moradores e foi o principal fator positivo nos de 5 moradores ou mais. Os efeitos de sinais opostos ilustram as duas margens descritas por Supasa *et al.* (2017): a maior parcela da população em domicílios menores elevou o requerimento, e a perda de participação dos domicílios de 5 moradores ou mais o reduziu.

Tabela 10 – Decomposição da variação do requerimento direto de energia elétrica entre 2000 e 2015, por tipo de domicílio no Brasil – modelos aberto e fechado (milhões de MWh)

Tipo de domicílio	Modelo	Efeitos				Variação total	Participação (%)
		Consumo direto *per capita*	Escala populacional	Distribuição por tipo	Renda induzida		
1 morador	Aberto	2,22	0,62	2,07	–	4,90	10,3
	Fechado	2,26	0,63	2,11	0,06	5,06	9,9
2 moradores	Aberto	4,86	1,56	6,19	–	12,61	26,5
	Fechado	5,16	1,66	6,55	0,48	13,86	27,1
3 moradores	Aberto	7,75	2,04	4,58	–	14,37	30,2
	Fechado	8,40	2,21	4,95	0,56	16,12	31,5
4 moradores	Aberto	8,25	2,18	1,04	–	11,47	24,1
	Fechado	8,92	2,36	1,13	-0,25	12,15	23,7
5 moradores	Aberto	3,70	1,14	-1,78	–	3,07	6,4
	Fechado	3,84	1,19	-1,85	-0,19	2,99	5,8
6 moradores ou mais	Aberto	3,86	0,92	-3,61	–	1,17	2,5
	Fechado	3,98	0,95	-3,72	-0,20	1,00	2,0
Total	Aberto	30,63	8,46	8,49	–	47,58	100,0
	Fechado	32,58	8,99	9,17	0,45	51,19	100,0

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

No componente indireto (Tabela 11), o efeito distribuição também elevou o requerimento dos domicílios de 1 a 4 moradores e reduziu o dos de 5 moradores ou mais, com saldo de 13,9 milhões de MWh, e o efeito escala acrescentou 11,8 milhões de MWh. No domicílio de 1 morador, o gasto *per capita* respondeu por cerca de 44% do acréscimo, o efeito distribuição por 34% e o efeito escala por 10%; no de 2 moradores, predominou o

efeito distribuição; no de 5 moradores, o gasto *per capita*. O peso crescente dos domicílios de uma e duas pessoas na variação tem a mesma direção do registrado por Yu *et al.* (2026) entre 2015 e 2020.

Os dois componentes confirmam o resultado da seção 4.4.2: como a população passou a distribuir-se em mais domicílios, e menores, justamente onde o requerimento total *per capita* é maior, a mudança na distribuição dos tipos de domicílio pressionou o requerimento total para cima, com cerca de 20% do acréscimo do componente indireto e 18% do direto entre 2000 e 2015, concentrada nos domicílios de 1 a 3 moradores.

A Figura 8 detalha, por setor de origem, a variação do requerimento indireto dos domicílios de 1 morador. Cerca de 40% do acréscimo originou-se no Comercial, em partes iguais pelo gasto *per capita* e pela população do tipo, 1,97 milhão de MWh cada, esta decorrente principalmente da mudança na distribuição dos tipos de domicílio (1,52 dos 1,97 milhão de MWh), e cerca de 18% no Energético, em que todos os fatores atuaram no mesmo sentido. Em Não ferrosos e Outros da Metalurgia, a queda da intensidade e a mudança na estrutura produtiva ($-0{,}75$ milhão de MWh) absorveram 76% do acréscimo associado ao gasto *per capita*, à estrutura do gasto e à população do tipo (0,99 milhão de MWh), e no Público a variação foi negativa. O efeito da multiplicação dos domicílios de 1 morador sobre o requerimento depende, portanto, da evolução das cadeias que os suprem.

Tabela 11 – Decomposição da variação do requerimento indireto de energia elétrica entre 2000 e 2015, por tipo de domicílio no Brasil – modelos aberto e fechado (milhões de MWh)

Tipo de domicílio	Modelo	Efeitos							Variação total	Participação (%)
		Intensidade setorial	Estrutura produtiva	Estrutura do gasto	Gasto *per capita*	Escala populacional	Distribuição por tipo	Renda induzida		
1 morador	Aberto	1,77	-0,82	0,56	5,41	1,23	4,13	–	12,26	17,3
	Fechado	1,80	-0,84	0,57	5,53	1,25	4,21	0,11	12,63	16,7
2 moradores	Aberto	3,51	-1,63	0,80	8,53	2,44	9,79	–	23,44	33,1
	Fechado	3,73	-1,73	0,85	9,07	2,59	10,36	0,77	25,64	33,9
3 moradores	Aberto	3,54	-1,71	0,49	1,24	2,61	5,79	–	11,96	16,9
	Fechado	3,83	-1,85	0,53	1,35	2,83	6,27	0,70	13,66	18,1
4 moradores	Aberto	3,66	-1,67	1,98	3,82	2,68	1,28	–	11,73	16,6
	Fechado	3,95	-1,81	2,14	4,13	2,90	1,38	-0,31	12,38	16,4
5 moradores	Aberto	2,27	-1,05	-0,96	11,43	1,70	-2,64	–	10,75	15,2
	Fechado	2,35	-1,09	-1,00	11,88	1,78	-2,75	-0,28	10,89	14,4
6 moradores ou mais	Aberto	1,54	-0,69	-1,25	4,43	1,13	-4,48	–	0,69	1,0
	Fechado	1,59	-0,71	-1,28	4,56	1,17	-4,62	-0,25	0,46	0,6
Total	Aberto	16,27	-7,56	1,61	34,86	11,79	13,87	–	70,84	100,0
	Fechado	17,26	-8,02	1,80	36,51	12,51	14,85	0,74	75,65	100,0

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

Figura 8 – Efeitos dos fatores sobre a variação do requerimento indireto de energia elétrica associado aos domicílios de 1 morador entre 2000 e 2015, por setor de origem – modelos aberto e fechado (milhões de MWh)



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

Em síntese, o requerimento total *per capita* diminuiu com o número de moradores do tipo de domicílio nos dois anos e nos dois modelos, com razão de 6,1 a 6,5 entre os extremos, ante 1,4 no requerimento total por domicílio, resultado que respalda H4, formulada a partir de Zhang, Wang e Zhang (2023) e Yu *et al.* (2026). O componente indireto respondeu por 54% a 68% do requerimento total, com participação maior nos tipos com menos moradores, e a recomposição setorial foi comum a todos os tipos, o que respalda as duas partes de H5. Entre 2000 e 2015, o aumento do gasto *per capita* foi o principal fator do acréscimo do requerimento total, a estrutura produtiva atuou no

sentido de contê-lo, e a mudança na distribuição dos tipos de domicílio respondeu por cerca de 20% do acréscimo do componente indireto e 18% do direto; mantida a população, a distribuição de 2015 elevaria, por si só, o requerimento total em 8,9% a 9,5%.

O tipo de domicílio, definido pelo número de moradores, mostrou-se determinante do requerimento de energia elétrica, dimensão que, nos estudos brasileiros revistos na seção 4.2 (Carvalho; Santiago; Perobelli, 2021; Cohen; Lenzen; Schaeffer, 2005; Wachsmann *et al.*, 2009; Weiss de Abreu *et al.*, 2021), aparecia de forma agregada ou subordinada à renda, ao gasto e à composição etária.

Os resultados complementam os do Capítulo 3, mas referem-se a outra grandeza: lá, o consumo de eletricidade no próprio domicílio, *per capita*; aqui, o requerimento, que inclui a eletricidade incorporada aos bens e serviços. Por isso, a relação entre as duas análises limita-se à direção dos efeitos. No Capítulo 3, o consumo *per capita* aumentou com a entrada de moradores nos domicílios de 1 e 2 moradores e diminuiu a partir de 4; aqui, o requerimento total *per capita* recuou com o número de moradores em todos os tipos, e a inflexão em torno de 4 moradores não tem correspondente. Os dois resultados são compatíveis com o compartilhamento de bens e serviços no domicílio, observado no Capítulo 3 pela posse de eletrodomésticos e, aqui, pela cesta de consumo. A relação entre as duas análises é retomada nas considerações finais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese investigou de que modo as transformações na estrutura dos domicílios brasileiros, a redução do número médio de moradores, a multiplicação de domicílios menores e o envelhecimento da população, repercutem sobre o consumo residencial de energia elétrica. Para tanto, foram conduzidas duas análises complementares: a primeira examinou a relação entre a composição domiciliar, entendida como o número de moradores em diferentes faixas etárias, e o consumo de eletricidade *per capita* nos domicílios; a segunda mensurou os requerimentos direto e indireto de energia elétrica associados ao atendimento da demanda final dos domicílios, segundo o tipo de domicílio, definido pelo número de moradores, e avaliou em que medida a redução do número de moradores se associa a alterações na estrutura dessa demanda, mobilizada pela cesta de consumo.

Em conjunto, os resultados, obtidos para grandezas distintas, o consumo residencial e o requerimento de eletricidade, apontam em direção compatível e sugerem que a transição para domicílios menores tende a se associar a maior consumo e maior requerimento total de energia elétrica *per capita* e a alterações no perfil setorial do requerimento associado ao consumo dos domicílios; a primeira análise indica, ainda, que a composição etária condiciona essa associação. São aspectos que o planejamento setorial, ancorado sobretudo no crescimento populacional e no número de unidades consumidoras, pode não captar.

Na primeira análise, a partir dos microdados da Pesquisa de Orçamentos Familiares de 2017/2018, com uma amostra de 16.468 domicílios, combinaram-se modelos de regressão robusta, estimados pelos métodos de mínimos quadrados ordinários e MM, com o modelo de limites ótimos de Gannon, Harris e Harris (2014). Os modelos de regressão indicaram que a inclusão de um morador adicional se associa à redução do consumo de energia elétrica *per capita*, de 71,95 kWh no modelo de tamanho do domicílio, e que essa associação varia conforme a faixa etária do novo integrante, sem seguir um padrão monotônico. Contudo, o teste de especificação RESET rejeitou a forma funcional linear em todas as especificações: a relação entre a composição domiciliar e o consumo não é adequadamente descrita por um modelo linear, e daí o recurso ao modelo de limites ótimos.

O modelo de limites ótimos indicou que o efeito de escala não é uniforme e que parece condicionado ao tamanho do domicílio e ao nível de consumo. O efeito de economia de escala no consumo *per capita* manifestou-se apenas a partir de quatro pessoas: em domicílios com até dois integrantes, o coeficiente de composição foi positivo e significativo, de modo que a entrada de um morador elevou o consumo *per capita*, em cerca de 518 kWh nos domicílios unipessoais e 77,65 kWh nos de duas pessoas, ao passo que, a partir de quatro pessoas, o coeficiente tornou-se negativo, sinalizando ganho de escala. Quando o nível de consumo foi utilizado como variável de limite, a redução associada a um morador adicional mostrou-se menor nos domicílios de alto consumo (cerca de 105 kWh) do que nos de baixo

consumo (cerca de 168 kWh). A economia de escala parece, portanto, enfraquecer-se à medida que o domicílio consome mais eletricidade.

A idade do morador alterou esse padrão. Nos domicílios menores, a entrada de um morador com 15 anos ou mais elevou o consumo *per capita*, com magnitude máxima na faixa de 15 a 24 anos, cerca de 332 kWh nos domicílios unipessoais, ante 305 kWh para um morador de 60 anos ou mais, enquanto os moradores de 0 a 14 anos associaram-se a menor consumo *per capita* em todos os tamanhos. Nos domicílios de menor consumo, um morador idoso adicional produziu a redução mais expressiva do consumo *per capita*, cerca de 296 kWh, resultado compatível com o menor consumo entre idosos apontado por Leahy e Lyons (2010), Kavousian *et al.* (2013) e Su (2019).

A análise da posse de eletrodomésticos é coerente com essa leitura: a posse *per capita* de aparelhos diminui à medida que o domicílio cresce; a economia de escala decorreria, em parte, do compartilhamento de equipamentos e de espaço habitacional. Os resultados indicam, assim, que o consumo residencial de eletricidade está associado tanto ao tamanho quanto à composição etária dos moradores, e que a influência da composição está condicionada ao tamanho do domicílio.

A segunda análise deslocou o foco do consumo direto para os requerimentos direto e indireto de energia elétrica, com o objetivo de mensurar o efeito do tipo de domicílio sobre a eletricidade mobilizada pelo consumo dos domicílios e de avaliar como esse efeito se distribui entre a energia usada no próprio domicílio e a incorporada às cadeias produtivas. A justificativa esteve na lacuna do tratamento agregado da dimensão domiciliar, tomada como dado exógeno pelo planejamento setorial, e no critério contábil por classe, que imputa às demais classes a eletricidade que o domicílio aciona de forma indireta.

Para captar essa dupla natureza, empregou-se um modelo de insumo-produto, nas versões aberta e fechada em relação às famílias, aqui entendidas como os próprios domicílios (Miller e Blair, 2009), que rastreia tanto a eletricidade consumida no próprio domicílio quanto a incorporada aos bens e serviços da cesta doméstica, conforme a decomposição de Zhang, Wang e Zhang (2023), e, para a variação entre 2000 e 2015, a decomposição estrutural de Yu *et al.* (2026). A análise apoiou-se nas Matrizes de Insumo-Produto do IBGE de 2000 e 2015, expressas a preços constantes de 2000 e compatibilizadas com as Pesquisas de Orçamentos Familiares de 2002/2003 e 2008/2009, com os rendimentos das Pesquisas Nacionais por Amostra de Domicílios de 2001 e 2015 e com o consumo setorial do Balanço Energético Nacional, agregados em doze setores de atividade e seis tipos de domicílio.

Os resultados mostraram-se compatíveis com a hipótese H4. O requerimento total *per capita* diminuiu com o número de moradores do tipo de domicílio, e o domicílio de 1 morador alcançou requerimento total *per capita* cerca de seis vezes o do domicílio com seis moradores ou mais, razão que ficou em torno de 6,1 vezes em 2000 e de 6,5 vezes em 2015,

com diferença absoluta crescente. Como a métrica *per capita* incorpora o gasto efetivo de cada tipo, esse gradiente reflete também diferenças de renda e de consumo entre os tipos de domicílio. Esse gradiente é compatível com a diluição das economias de escala intradomiciliares no plano do requerimento, uma vez que a cesta de bens e serviços do domicílio, sobretudo os itens duráveis de uso compartilhado, é adquirida por domicílio e não por pessoa, de modo que a eletricidade a ela incorporada tende a ser compartilhada por mais pessoas nos tipos de domicílio com mais moradores.

A decomposição entre uso direto e incorporado apontou predominância do componente indireto em todos os tipos de domicílio, entre cerca de 54% e 68% do requerimento total, com maior participação nos tipos de domicílio com menos moradores. Em 2000, a composição setorial da energia incorporada variou de forma moderada entre os tipos de domicílio, com maior peso do Comercial no domicílio de 1 morador e de Alimentos e Bebidas e do Agropecuário no de 6 moradores ou mais; em 2015, essa ordenação não se manteve. O número de moradores parece, assim, afetar sobretudo o patamar do requerimento total *per capita*.

O efeito de escala recaiu principalmente sobre o componente indireto, resultado compatível com a hipótese H5. A composição setorial alterou-se sobretudo ao longo do tempo, quando a energia incorporada deslocou-se da indústria de base, como a metalurgia, para os setores energético e comercial, deslocamento que pode refletir a mudança na composição da demanda dos domicílios.

A comparação entre os modelos aberto e fechado mostrou, ainda, que o efeito induzido pela renda do trabalho acrescentou até cerca de 9% ao requerimento total e concentrou-se nos domicílios de dois a quatro moradores, sobretudo nos de três e quatro, que se apropriam da maior parcela dos rendimentos. Nesse ponto, a leitura articula-se à proposição de que a redução do tamanho dos domicílios atua por duas margens, a multiplicação de unidades e a intensidade de cada uma, cujo saldo é empírico (Supasa *et al.*, 2017). No caso brasileiro, os resultados sugerem que a multiplicação dos domicílios e a redução do seu tamanho médio tenham atuado no sentido de elevar o requerimento total *per capita*.

A decomposição da variação entre 2000 e 2015 indica, ainda, que o aumento do gasto *per capita* foi o principal fator do crescimento do requerimento total em nível e que a mudança na distribuição dos tipos de domicílio, isolada do crescimento da população total, respondeu por cerca de 20% do acréscimo do componente indireto, deslocando o requerimento para os domicílios de 1 e 2 moradores, ao passo que a estrutura produtiva atuou no sentido de contê-lo. Com a população constante, a mudança observada na distribuição dos tipos de domicílio entre 2000 e 2015 elevaria o requerimento total em 8,9% a 9,5%. A redução do tamanho dos domicílios tende, portanto, a elevar por si só o requerimento total.

A leitura conjunta das duas análises requer cautela, pois elas medem grandezas distintas: a primeira, o consumo de eletricidade no próprio domicílio, *per capita*; a segunda, o requerimento de eletricidade, que inclui a energia incorporada aos bens e serviços e é expresso em MWh *per capita*. Referem-se também a períodos distintos: 2017/2018 no consumo e 2000 e 2015 no requerimento. Os resultados não são, portanto, comparáveis em magnitude, e a convergência entre eles restringe-se à direção: a redução do número de moradores associou-se a maior consumo *per capita* e a maior requerimento total *per capita*.

Quanto à forma, os resultados diferem: o consumo *per capita* passou a diminuir com a entrada de um morador apenas a partir de quatro pessoas, enquanto o requerimento total *per capita* recuou em todos os tipos de domicílio, sem ponto de inflexão nítido, e a razão entre o maior e o menor requerimento total por domicílio limitou-se a 1,4. Os dois resultados são compatíveis com o compartilhamento de bens no interior do domicílio, sugerido pela posse *per capita* decrescente de eletrodomésticos e pela predominância do componente indireto ligado à cesta de consumo; nenhuma das análises, contudo, testa diretamente esse mecanismo, que permanece como interpretação plausível. A primeira análise examinou o mecanismo no consumo direto e o qualificou segundo o tamanho, o nível de consumo e a composição etária. A segunda examinou o requerimento total, direto e incorporado, e o articulou à origem setorial da eletricidade mobilizada pela cesta doméstica.

A contribuição desta tese está em tratar de forma conjunta dimensões antes examinadas isoladamente nos estudos nacionais, o tamanho e a composição etária do domicílio, a não linearidade do efeito do número de moradores, a heterogeneidade do efeito ao longo da distribuição do consumo e a decomposição entre uso direto e incorporado.

No domicílio de 1 morador, a primeira análise associou o maior acréscimo de consumo *per capita* à entrada de moradores de 15 a 24 anos (cerca de 332 kWh) e de idosos (cerca de 305 kWh), e a segunda registrou o maior requerimento total *per capita* entre os tipos de domicílio (3,26 MWh *per capita* em 2000 e 4,81 em 2015, no modelo aberto); a idade dos moradores, contudo, é identificada apenas na primeira análise. A heterogeneidade manifesta-se em dimensões distintas: no consumo, a economia de escala é mais fraca nos domicílios de maior consumo; no requerimento, o efeito induzido pela renda do trabalho concentrou-se nos domicílios de dois a quatro moradores. As implicações são complementares: a primeira análise aponta para a eficiência no uso direto, por meio dos equipamentos e do desempenho das edificações, e a segunda, para a eficiência nas cadeias que suprem a cesta de consumo, sobretudo nos setores energético e comercial.

Diante da redução do tamanho médio dos domicílios, do crescimento do número de unidades em ritmo superior ao da população e do envelhecimento populacional, os resultados sugerem tendência de elevação do consumo residencial de energia, que poderia persistir mesmo em cenário de desaceleração e, segundo as projeções do IBGE (2024b), de

redução da população a partir da década de 2040. O próprio Plano Decenal de Expansão de Energia 2036 (PDE 2036) adota como premissa o crescimento do número de domicílios a 1,2% ao ano, até 89,8 milhões em 2036, ritmo superior ao da população, de 0,24% ao ano (EPE, 2026). Como observado na seção 4.1, entre os fatores a que o relatório síntese do plano atribui a trajetória do consumo residencial não figuram explicitamente o tamanho e a composição dos domicílios.

Projeções ancoradas apenas na trajetória histórica ou no crescimento demográfico podem, assim, subestimar o requerimento futuro do setor, subestimação que pode ser agravada pela eletrificação do transporte, cuja recarga residencial adiciona ao consumo direto dos domicílios uma carga que, ao contrário de usos compartilhados como iluminação e refrigeração, tende a não se diluir entre os moradores.

A eletrificação da economia, entre cujos vetores a Enerdata (2025) destaca a eletrificação do transporte e a difusão dos centros de dados, pode amplificar esses efeitos. No cenário de referência do PDE 2036, a participação da eletricidade no consumo final de energia passa de 20,0%, em 2026, para 23,3%, em 2036, impulsionada pela eletrificação de diversos setores, pela expansão dos centros de dados e pela mobilidade elétrica (EPE, 2026).

No uso direto, a substituição de combustíveis por eletricidade em usos finais dos domicílios, como a recarga de veículos elétricos, acrescenta ao domicílio cargas que podem não se diluir entre os moradores da mesma forma que usos compartilhados como a iluminação e a refrigeração. O plano projeta crescimento de 23% do consumo residencial de eletricidade entre 2026 e 2036, até 241 TWh, associado à maior posse de equipamentos, à climatização (seção 4.1) e à eletrificação da cocção, cuja participação no consumo residencial de eletricidade passa de 6,2% para 12,6%, com a difusão de fogões elétricos, *cooktops* de indução e fritadeiras elétricas (EPE, 2026).

A recarga veicular é o caso mais evidente: segundo a EPE (2025d), os veículos leves eletrificados responderam por 4,3% dos licenciamentos em 2023, cerca de 93 mil unidades, e por cerca de 7% entre janeiro e outubro de 2024; no PDE 2036, os híbridos *plug-in* e os elétricos a bateria, que dependem de recarga externa, devem responder por 9,8% da frota de automóveis e comerciais leves em 2036, e o consumo de eletricidade associado à eletromobilidade alcança cerca de 15 TWh, dos quais 9,4 TWh de veículos leves (EPE, 2026). O plano assinala que a ampliação da recarga nas residências pode alterar o perfil de carga residencial, especialmente se concentrada no período noturno, e que a eletromobilidade constitui carga pulverizada, com impactos sobretudo sobre as redes de distribuição (EPE, 2026). Se essa trajetória se confirmar, é possível que a diferença de consumo e de requerimento *per capita* entre domicílios pequenos e grandes se amplie, hipótese ainda a ser testada.

No uso indireto, os resultados desta tese já indicam aumento do requerimento total

por real gasto entre 2000 e 2015, a preços constantes, e ganho de peso do Energético e do Comercial no requerimento indireto, movimento que a eletrificação de processos produtivos e de serviços e a digitalização da economia podem reforçar. O comércio eletrônico, as entregas de refeições e o transporte por aplicativo transferem para fora do domicílio atividades antes realizadas nele e acrescentam etapas que consomem eletricidade no comércio, na logística e nos centros de dados (Lange; Pohl; Santarius, 2020; Shahmohammadi *et al.*, 2020). No PDE 2036, o consumo de eletricidade do setor comercial e de serviços cresce cerca de 5,5% ao ano, até 220 TWh em 2036, e os centros de dados são o principal vetor desse crescimento, com expansão média de 13,7% ao ano, atribuída pelo plano à crescente digitalização da economia, à intensificação do uso de serviços digitais e à maior densidade computacional exigida pelas novas tecnologias, em especial a inteligência artificial (EPE, 2026). O consumo das grandes cargas, que reúnem centros de dados, hidrogênio eletrolítico e eletromobilidade, passa de 4 para 47 TWh entre 2026 e 2036 (EPE, 2026). Como a eletricidade incorporada à cesta dos domicílios passa, em parte, pelo setor comercial, e como parte dos serviços digitais é consumida pelos próprios domicílios, essa expansão sugere que o componente indireto do requerimento mereça acompanhamento no planejamento.

A digitalização alcança também o uso direto: o plano projeta, entre 2025 e 2036, aumento da posse por domicílio de computadores, de 0,20 para 0,25, de telefones celulares, de 1,09 para 1,39, e de televisores, de 1,10 para 1,40 (EPE, 2026). Parte desses equipamentos, como os celulares, é de uso individual, de modo que sua posse tende a acompanhar mais o número de moradores do que o de domicílios; isso poderia atenuar, nesses usos, as economias de escala identificadas nesta tese, hipótese que exigiria verificação empírica.

As possíveis consequências, que constituem questões a investigar, são de três ordens. Para o sistema elétrico, a combinação de mais domicílios, menores e mais eletrificados, pode elevar a demanda total e, a depender do horário da recarga e de outros usos, a demanda de ponta, com reflexos sobre o planejamento da geração, da transmissão e da distribuição; o PDE 2036 aponta, em contrapartida, que a gestão inteligente da recarga pode agregar flexibilidade ao sistema, desde que acompanhada de sinais tarifários para os consumidores de baixa tensão e da difusão da medição inteligente (EPE, 2026). Para as emissões, os efeitos dependem da matriz de geração: no Brasil, a predominância de fontes renováveis na geração elétrica (EPE, 2025c), cuja participação o PDE 2036 projeta em 88,8% em 2036 (EPE, 2026), favorece que a eletrificação contribua para a descarbonização, desde que a expansão da oferta preserve esse perfil. Para a equidade, como os domicílios unipessoais não podem compartilhar entre moradores os custos de equipamentos e de consumo, a eletrificação pode pesar mais sobre os de menor renda.

A partir desses resultados, e respeitados os seus limites, é possível indicar frentes de política a avaliar. No planejamento, propõe-se incorporar às projeções de demanda do Plano Decenal de Expansão de Energia e do Plano Nacional de Energia cenários explícitos de número, tamanho e composição etária dos domicílios, construídos a partir das projeções

populacionais e de arranjos domiciliares do IBGE, e desagregar a demanda residencial por tipo de domicílio, de modo a captar o efeito da redução do tamanho dos domicílios sobre o consumo *per capita* e sobre a demanda de ponta.

Na eficiência do uso direto, propõe-se dirigir o Programa de Eficiência Energética regulado pela ANEEL e as ações de substituição de equipamentos, como refrigeradores, chuveiros elétricos e aparelhos de ar-condicionado, aos domicílios de baixa renda com uma ou duas pessoas, nos quais a menor escala tende a elevar o consumo *per capita*; revisar periodicamente os índices mínimos de eficiência da Lei nº 10.295/2001 e as faixas do Programa Brasileiro de Etiquetagem, incluindo equipamentos dimensionados para domicílios pequenos; e associar a Tarifa Social de Energia Elétrica a ações de eficiência, para que o subsídio não perpetue o uso de equipamentos ineficientes. A tarifa foi reformulada pela Lei nº 15.235/2025, que ampliou a gratuidade para o consumo de até 80 kWh mensais às famílias inscritas no CadÚnico com renda de até meio salário mínimo *per capita* (EPE, 2026). Diferentemente do Programa Gás do Povo, que gradua o número de botijões pelo tamanho da família (EPE, 2026), esse limite, tal como descrito no PDE 2036, não varia com o número de moradores, aspecto que, à luz dos resultados desta tese, poderia ser avaliado.

Na habitação, a Resolução CGIEE nº 4/2025 passou a exigir, a partir de 2030, os níveis mínimos de eficiência do PBE Edifica nas novas edificações residenciais dos municípios com mais de 100 mil habitantes e, nas de interesse social, em todo o território nacional (EPE, 2026). Recomenda-se acompanhar a aplicação desses critérios de desempenho energético e de eficiência passiva aos programas habitacionais, a exemplo do Minha Casa, Minha Vida, e diversificar as tipologias habitacionais ofertadas, com unidades compactas eficientes e soluções de uso compartilhado, como lavanderias e áreas comuns, que poderiam recuperar parte das economias de escala. As ações podem distinguir dois grupos presentes entre os que vivem sós: para os idosos, diagnóstico energético domiciliar, *retrofit* voltado ao conforto térmico e substituição de equipamentos em condições adaptadas; para os jovens, cuja entrada nos domicílios unipessoais se associou ao maior acréscimo de consumo *per capita*, informação sobre consumo, medição individualizada e requisitos mínimos de eficiência para imóveis de aluguel e de pequenas dimensões.

No componente indireto, como a maior parte do requerimento está incorporada à cesta de consumo, sugere-se que as políticas não se restrinjam à classe residencial e alcancem os setores que mais ganharam peso, o energético e o comercial, por meio de metas de eficiência para o varejo e os serviços e de padrões de desempenho para os ramos eletrointensivos que suprem a cesta. Diante da eletrificação, recomenda-se ainda adotar tarifas horárias e incentivos à recarga fora da ponta, como a Tarifa Branca, e planejar a rede de distribuição considerando a densidade de domicílios pequenos e eletrificados. Como a redução do tamanho dos domicílios decorre de transformações socioeconômicas mais amplas, cuja abordagem por políticas setoriais isoladas tende a alcance limitado,

recomenda-se instituir instâncias de coordenação que integrem as políticas energética, habitacional, urbana e demográfica.

Os resultados devem ser lidos à luz de algumas limitações que atravessam as duas análises. A primeira apoia-se em dados de corte transversal da POF 2017/2018, fonte que restringe a identificação de relações causais e a observação da dinâmica do consumo ao longo do tempo. A segunda repousa sobre a agregação em doze setores e sobre a categoria aberta de seis moradores ou mais, recorte que impõe cautela na comparação com estudos de recorte distinto, e apoia-se na compatibilização de fontes de anos próximos, mas não coincidentes, procedimento que introduz aproximação na montagem do vetor de demanda final por tipo de domicílio. O consumo residencial de eletricidade do BEN foi distribuído entre os tipos de domicílio pela participação de cada tipo no consumo de energia elétrica registrado na POF, estimado apenas com os domicílios que informaram a quantidade consumida, critério que supõe que os demais consumam, em média, como os informantes do mesmo tipo de domicílio, e a deflação por índice único preserva a estrutura técnica, de modo que as variações entre os anos não captam mudanças de preços relativos.

As duas análises referem-se, ainda, ao Brasil como um todo e não examinam diferenças regionais, relevantes em um país heterogêneo quanto ao clima, à renda e à estrutura produtiva. Os resultados, por fim, não foram confrontados com os de estudos internacionais, dadas as diferenças de país, período, métrica e recorte setorial, em especial com o caso chinês de Zhang, Wang e Zhang (2023), medido em carbono e restrito ao meio urbano.

Como agenda de pesquisa futura, sugerem-se cinco frentes. A primeira é a análise regional, dada a heterogeneidade do território brasileiro quanto ao clima, à renda, ao acesso à energia, à estrutura produtiva e ao ritmo da transição demográfica: no consumo, os modelos poderiam ser estimados por grande região, na medida em que o tamanho da amostra da POF o permita; no requerimento, matrizes de insumo-produto inter-regionais permitiriam distinguir o requerimento direto e indireto por região, inclusive a eletricidade incorporada aos fluxos de bens entre elas. A segunda é a projeção do requerimento de eletricidade sob cenários de redução populacional e de mudança nos arranjos domiciliares, articulando as projeções do IBGE às do planejamento energético. A terceira é o uso de dados longitudinais ou em painel, que permitam distinguir efeitos de idade, período e coorte e captar a dinâmica do consumo ao longo do ciclo de vida. A quarta é a avaliação prospectiva da eletrificação do transporte e da adoção de novas tecnologias sobre a demanda residencial, inclusive sobre a demanda de ponta. A quinta é a investigação da interação entre a redução do tamanho dos domicílios, o envelhecimento e o efeito rebote associado a ganhos de eficiência, bem como a atualização da segunda análise com matrizes de insumo-produto e pesquisas de orçamento mais recentes.

Os resultados sugerem que a demografia domiciliar é uma dimensão relevante

do consumo residencial de energia elétrica no Brasil e que a proliferação de domicílios menores, associados a maior consumo e a maior requerimento total *per capita*, demanda um planejamento atento à estrutura domiciliar.

REFERÊNCIAS

ABRAHAMSE, W.; STEG, L. How do socio-demographic and psychological factors relate to households' direct and indirect energy use and savings? **Journal of Economic Psychology**, v. 30, n. 5, p. 711–720, 2009.

ABRAHÃO, K. C. de F. J. **A influência da estrutura demográfica sobre o consumo residencial de energia elétrica**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: `https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/37754`. Acesso em: 7 dez. 2023.

ABRAHÃO, K. C. de F. J.; SOUZA, R. V. G. de. What has driven the growth of Brazil´s residential electricity consumption during the last 19 years? An index decomposition analysis. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 7–39, 2021.

ACHÃO, C.; SCHAEFFER, R. Decomposition analysis of the variations in residential electricity consumption in Brazil for the 1980–2007 period: measuring the activity, intensity and structure effects. **Energy Policy**, v. 37, n. 12, p. 5208–5220, 2009.

ALA-MANTILA, S. *et al.* To each their own? The greenhouse gas impacts of intra-household sharing in different urban zones. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 356–367, 2016.

ARRIAGADA, I. (org.). **Familias y políticas públicas en América Latina: una historia de desencuentros**. Santiago de Chile: Naciones Unidas, CEPAL, División de Desarrollo Social: UNFPA, 2007. (Libros de la CEPAL, no 96).

BANO, S.; LIU, L.; KHAN, A. Dynamic influence of aging, industrial innovations, and ICT on tourism development and renewable energy consumption in BRICS economies. **Renewable Energy**, v. 192, p. 431–442, 2022.

BARDAZZI, R.; PAZIENZA, M. G. Demographic shifts, household energy needs and vulnerability. In: BARDAZZI, R.; PAZIENZA, M. G. (org.). **Vulnerable households in the energy transition**. Cham: Springer, 2023. p. 29–55.

BARTEN, A. P. Family composition, prices and expenditure patterns. In: HART, P. E.; MILLS, G.; WHITAKER, J. K. (org.). **Econometric analysis for national economic planning**. London: Butterworths, 1964.

BECKER, G. S. A theory of the allocation of time. **The Economic Journal**, v. 75, n. 299, p. 493-517, 1965.

BELAÏD, F. Understanding the spectrum of domestic energy consumption: Empirical evidence from France. **Energy Policy**, v. 92, p. 220–233, 2016.

BHATTACHARYYA, S. C. **Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance**. Springer Nature, 2019.

BIN, S.; DOWLATABADI, H. Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO2 emissions. **Energy Policy**, v. 33, n. 2, p. 197–208, 2005.

BONGAARTS, J. **Household size and composition in the developing world**. Population Council, 2001. Disponível em: `https://knowledgecommons.popcouncil.org/departments_sbsr-pgy/283`. Acesso em: 8 jun. 2023.

BROUNEN, D.; KOK, N.; QUIGLEY, J. M. Residential energy use and conservation: Economics and demographics. **European Economic Review**, v. 56, n. 5, Green Building, the Economy, and Public Policy, p. 931–945, 2012.

CAO, P. *et al.* Household size and transport carbon emissions in China: Direct, heterogeneity and mediating effects. **Science of The Total Environment**, v. 925, p. 171650, 2024.

CARLSSON-KANYAMA, A.; LINDÉN, A.-L. Energy efficiency in residences—Challenges for women and men in the North. **Energy Policy**, v. 35, n. 4, p. 2163–2172, 2007.

CARVALHO, A. A.; ALVES, J. E. D. Explorando o consumo das famílias brasileiras e sua interface com o ciclo de vida e gênero. **Oikos: Família e Sociedade em Debate**, v. 23, n. 1, p. 6–29, 2012.

CARVALHO, T. S.; SANTIAGO, F. S.; PEROBELLI, F. S. Demographic change in Brazil and its impacts on CO2 emissions. **Economic Systems Research**, v. 33, n. 2, p. 197–213, 2021.

CAYLA, J.-M.; MAIZI, N.; MARCHAND, C. The role of income in energy consumption behaviour: Evidence from French households data. **Energy Policy**, v. 39, n. 12, Clean Cooking Fuels and Technologies in Developing Economies, p. 7874–7883, 2011.

CHAIMOWICZ, F.; CHAIMOWICZ, G. de F. O envelhecimento populacional brasileiro. **PISTA: Periódico Interdisciplinar** [**Sociedade Tecnologia Ambiente**], v. 4, n. 2, p. 6–26, 2022.

CHEN, H.; KIM, M.-K.; JIANG, W.; ZHANG, Y. Exploring the link between Chinese household income and carbon emissions from 1994 to 2018: a partially closed input-output model approach. **Frontiers in Environmental Science**, v. 13, 1645056, 2025.

CHEN, P.; JIANG, R.; CHEN, Z.-M. Global household energy consumption structure: direct versus embodied perspective from 2000 to 2014. **Energy, Ecology and Environment**, v. 9, n. 1, p. 100–112, 2024.

CHO, S.-H.; SOH, M.; PARK, K.; KIM, H. J. Impact of the rise of solo living and an ageing population on residential energy consumption in South Korea. **Energy & Environment**, v. 33, n. 2, p. 399–416, 2022.

CLARK, C. F.; KOTCHEN, M. J.; MOORE, M. R. Internal and external influences on pro-environmental behavior: Participation in a green electricity program. **Journal of Environmental Psychology**, v. 23, n. 3, p. 237–246, 2003.

COHEN, C.; LENZEN, M.; SCHAEFFER, R. Energy requirements of households in Brazil. **Energy Policy**, v. 33, n. 4, p. 555–562, 2005.

CRAICE, C. Como consumimos? Possibilidade de análise do consumo pela demografia: estudo do caso em Lucas do Rio Verde. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 20., 2016, Foz do Iguaçu. **Anais** [**...**]. Foz do Iguaçu: ABEP, 2016. p. 1–12.

DENTON, F. T.; SPENCER, B. G. Envelhecimento Populacional e Seus Custos Econômicos: Um Levantamento das Questões e Evidências. **Canadian Journal on Aging / La Revue canadienne du vieillissement**, v. 19, n. S1, p. 1–31, 2000.

DIETZENBACHER, E.; LOS, B. Structural decomposition techniques: sense and sensitivity. **Economic Systems Research**, v. 10, n. 4, p. 307–324, 1998.

DIÓGENES, V. H. D. **Efeitos de idade, período e coorte no consumo de energia elétrica dos domicílios brasileiros no século XXI: uma análise sob a perspective da relação população-consumo-ambiente**. 2022. Tese (Doutorado em Demografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50989. Acesso em: 30 maio 2023.

DIÓGENES, V. H. D. **Quando menos é mais: análise do impacto da transição demográfica no consumo de energia elétrica domiciliar do brasileiro**. 2015. Dissertação (Mestrado em Demografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/22854. Acesso em: 12 dez. 2023.

DIÓGENES, V.; OJIMA, R. Análise do impacto da transição da estrutura etária no consumo de energia elétrica domiciliar do Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 54, 2020.

DRUCKMAN, A.; JACKSON, T. Household energy consumption in the UK: A highly geographically and socio-economically disaggregated model. **Energy Policy**, v. 36, n. 8, p. 3177–3192, 2008.

DUARTE, R.; MAINAR, A.; SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J. The role of consumption patterns, demand and technological factors on the recent evolution of CO2 emissions in a group of advanced economies. **Ecological Economics**, v. 96, p. 1–13, 2013.

ELLSWORTH-KREBS, K. Implications of declining household sizes and expectations of home comfort for domestic energy demand. **Nature Energy**, v. 5, n. 1, p. 20–25, 2020.

ENERDATA. **World Power consumption | Electricity consumption | Enerdata**. Enerdata, 2025. Disponível em: https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic consumption-data.html. Acesso em: 15 mar. 2026.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2025**. Brasília: EPE, 2025a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet.pdf. Acesso em: 19 jan. 2026.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Atlas da Eficiência Energética Brasil**. Brasília: EPE, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil. Acesso em: 29 set. 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Atlas de Eficiência Energética Brasil 2025**. Brasília: EPE, 2025b. Disponível em: http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-de-eficiencia-energetica-brasil-2025. Acesso em: 19 jan. 2026.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional**. Brasília: EPE, 2025c. Disponível em: http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben. Acesso em: 5 fev. 2026.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Demanda de energia dos veículos leves: 2025-2034**. Nota Técnica EPE/DPG/SDB/2024/10, revisão 1. Rio de Janeiro: EPE, 2025d. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-331/topico-739/NT-EPE-DPG-SDB-2024-10_Demanda%20de%20energia%20veiculos%20leves_2025-2034_R1.pdf. Acesso em: 16 out. 2026.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2036**: relatório síntese. Versão para consulta pública. Brasília: MME/EPE, 2026.

FONG, W.-K. *et al.* Influences of Indirect Lifestyle Aspects and Climate on Household Energy Consumption. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v. 6, n. 2, p. 395–402, 2007.

FRONDEL, M.; SOMMER, S.; VANCE, C. Heterogeneity in German Residential Electricity Consumption: A quantile regression approach. **Energy Policy**, v. 131, p. 370–379, 2019.

FU, C.; WANG, W.; TANG, J. Exploring the sensitivity of residential energy consumption in China: Implications from a micro-demographic analysis. **Energy Research & Social Science**, v. 2, p. 1–11, 2014.

GANDRA, J. M. de F. V. **Mudanças nos padrões de formação das famílias domiciliares brasileiras: um estudo das complexidades recentes, dos diferenciais socioeconômicos e de papéis de gênero**. 2023. Tese (Doutorado em Demografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/53926. Acesso em: 26 jan. 2024.

GANNON, B.; HARRIS, D.; HARRIS, M. Threshold Effects in Nonlinear Models with an Application to the Social Capital-Retirement-Health Relationship. **Health Economics**, v. 23, n. 9, p. 1072–1083, 2014.

GHOSH, N. K.; BLACKHURST, M. F. Energy savings and the rebound effect with multiple energy services and efficiency correlation. **Ecological Economics**, v. 105, p. 55–66, 2014.

GUO, W.; SUN, T.; DAI, H. Effect of Population Structure Change on Carbon Emission in China. **Sustainability**, v. 8, n. 3, p. 225, 2016.

GUO, Z. *et al.* Residential electricity consumption behavior: Influencing factors, related theories and intervention strategies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 399–412, 2018.

HAJAT, S.; KOVATS, R. S.; LACHOWYCZ, K. Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk?. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 64, n. 2, p. 93–100, 2007.

HAN, X.; WEI, C.; CAO, G.-Y. Aging, generational shifts, and energy consumption in urban China. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 119, n. 37, p. e2210853119, 2022.

HANSEN, A. R. Heating homes: Understanding the impact of prices. **Energy Policy**, v. 121, p. 138–151, 2018.

HASANOV, F. J.; MIKAYILOV, J. I. The impact of age groups on consumption of residential electricity in Azerbaijan. **Communist and Post-Communist Studies**, v. 50, n. 4, p. 339–351, 2017.

HASSAN, K.; SALIM, R. Population ageing, income growth and CO2 emission: Empirical evidence from high income OECD countries. **Journal of Economic Studies**, v. 42, n. 1, p. 54–67, 2015.

HENAO, A.; MARSHALL, W. E. The impact of ride-hailing on vehicle miles traveled. **Transportation**, v. 46, n. 6, p. 2173–2194, 2019.

HOGAN, D. J. Mobilidade populacional, sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade social. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 22, p. 323–338, 2005.

HORI, S. *et al.* The determinants of household energy-saving behavior: Survey and comparison in five major Asian cities. **Energy Policy**, v. 52, Special Section: Transition Pathways to a Low Carbon Economy, p. 354–362, 2013.

HUANG, W.-H. Nonlinear relationship between household composition and electricity consumption: optimal threshold models. **Optimization and Engineering**, v. 23, n. 4, p. 2261–2292, 2022.

HUANG, W.-H. The determinants of household electricity consumption in Taiwan: Evidence from quantile regression. **Energy**, v. 87, p. 120–133, 2015.

HUEBNER, G. *et al.* Understanding electricity consumption: A comparative contribution of building factors, socio-demographics, appliances, behaviours and attitudes. **Applied Energy**, v. 177, p. 692–702, 2016.

HUNG, M.-F.; HUANG, T.-H. Dynamic demand for residential electricity in Taiwan under seasonality and increasing-block pricing. **Energy Economics**, v. 48, p. 168–177, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil: população por idade de 60 anos e mais e sexo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023a. Disponível em: `https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/0c84737978791f626ea10b75eae18b3c.docx`. Acesso em: 5 fev. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 1970**. Rio de Janeiro: IBGE, 1970.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas Nacionais Trimestrais Indicadores de Volume e Valores Correntes 2023: Indicadores de Volume e Valores Correntes Out.-Dez. 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: `https://www.ibge.gov.br/`. Acesso em: 26 jul. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Em 2022, expectativa de vida era de 75,5 anos**. Rio de Janeiro: Agência de Notícias, IBGE, 2023b. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/38455-em-2022-expectativa-de-vida-era-de-75-5-anos. Acesso em: 13 fev. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Matriz de insumo-produto: Brasil: 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 26 jul. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Matriz de insumo-produto: Brasil: 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 26 jul. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2001**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?edicao=18338&t=microdados. Acesso em: 15 fev. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa De Orçamentos Familiares 2002 2003: Perfil Das Despesas No Brasil: Indicadores**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007a. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 26 jul. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007b. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/justica-e-seguranca/19877-2002-2003.html?=&t=downloads. Acesso em: 15 mar. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: Conceitos e métodos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=conceitos-e-metodos. Acesso em: 15 out. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?edicao=18338&t=microdados. Acesso em: 15 fev. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **POF 2008-2009**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/justica-e-seguranca/9050-pesquisa-de-orcamentos-familiares.html?edicao=37718. Acesso em: 15 mar. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **POF 2017-2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/24786-pesquisa-de-orcamentos-familiares-2.html. Acesso em: 2 maio 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeções da população: Brasil e unidades da federação: revisão 2024**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024b.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema de Contas Nacionais: Tradutores: POF (2008/2009)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: `https://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Sistema_de_Contas_Nacionais/Tradutores/`. Acesso em: 14 out. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 6784: Produto Interno Bruto, Produto Interno Bruto per capita, população residente e deflator**. Rio de Janeiro: IBGE, 2026. Disponível em: `https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6784`. Acesso em: 16 out. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 9880: Domicílios particulares, por tipo de domicílio e número de moradores, segundo sexo, cor ou raça e grupos de idade da pessoa responsável pelo domicílio**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: `https://sidra.ibge.gov.br/tabela/9880#resultado`. Acesso em: 16 fev. 2026.

IEA – International Energy Agency. **Energy Statistics Data Browser: Data Tools**. IEA, 2023. Disponível em: `https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser`. Acesso em: 7 jun. 2024.

IVANOVA, D.; BÜCHS, M. Household Sharing for Carbon and Energy Reductions: The Case of EU Countries. **Energies**, v. 13, n. 8, p. 1909, 2020.

IVANOVA, D.; BÜCHS, M. Implications of shrinking household sizes for meeting the 1.5 °C climate targets. **Ecological Economics**, v. 202, 107590, 2022.

JONES, R. V.; LOMAS, K. J. Determinants of high electrical energy demand in UK homes: Socio-economic and dwelling characteristics. **Energy and Buildings**, v. 101, p. 24–34, 2015.

KAVOUSIAN, A.; RAJAGOPAL, R.; FISCHER, M. Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. **Energy**, v. 55, p. 184–194, 2013.

KAZA, N. Understanding the spectrum of residential energy consumption: A quantile regression approach. **Energy Policy**, v. 38, n. 11, Energy Efficiency Policies and Strategies with regular papers, p. 6574–6585, 2010.

KELLY, S. Do homes that are more energy efficient consume less energy?: A structural equation model of the English residential sector. **Energy**, v. 36, n. 9, p. 5610–5620, 2011.

KIM, J.; JANG, M.; SHIN, D. Examining the Role of Population Age Structure upon Residential Electricity Demand: A Case from Korea. **Sustainability**, v. 11, n. 14, p. 3914, 2019.

KIM, M.-J. RETRACTED: Characteristics and determinants by electricity consumption level of households in Korea. **Energy Reports**, v. 4, p. 70–76, 2018.

KIM, M.-J. Understanding the determinants on household electricity consumption in Korea: OLS regression and quantile regression. **The Electricity Journal**, v. 33, n. 7, p. 106802, 2020.

KIRK, D. Demographic Transition Theory. **Population Studies**, v. 50, n. 3, p. 361–387, 1996.

KOSTAKIS, I. Socio-demographic determinants of household electricity consumption: evidence from Greece using quantile regression analysis. **Current Research in Environmental Sustainability**, v. 1, p. 23–30, 2020.

LAN, J.; MALIK, A.; LENZEN, M.; MCBAIN, D.; KANEMOTO, K. A structural decomposition analysis of global energy footprints. **Applied Energy**, v. 163, p. 436–451, 2016.

LANGE, S.; POHL, J.; SANTARIUS, T. Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? **Ecological Economics**, v. 176, 106760, 2020.

LEAHY, E.; LYONS, S. Energy use and appliance ownership in Ireland. **Energy Policy**, v. 38, n. 8, p. 4265–4279, 2010.

LESTHAEGHE, R. J. **The Unfolding Story of the Second Demographic Transition**. University of Michigan, 2010. Disponível em: `http://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/79230`. Acesso em: 29 jan. 2024.

LESTHAEGHE, R.; NEIDERT, L. US Presidential Elections and the Spatial Pattern of the American Second Demographic Transition. **Population and Development Review**, v. 35, n. 2, p. 391–400, 2009.

LESTHAEGHE, R.; SURKYN, J. Cultural Dynamics and Economic Theories of Fertility Change. **Population and Development Review**, v. 14, n. 1, p. 1–45, 1988.

LI, C.; MIROSA, M.; BREMER, P. Review of online food delivery platforms and their impacts on sustainability. **Sustainability**, v. 12, n. 14, 5528, 2020.

LIDDLE, B. The Energy, Economic Growth, Urbanization Nexus Across Development: Evidence from Heterogeneous Panel Estimates Robust to Cross-Sectional Dependence. **The Energy Journal**, v. 34, n. 2, p. 223–244, 2013.

LIDDLE, B.; LUNG, S. Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts. **Population and Environment**, v. 31, n. 5, p. 317–343, 2010.

LIN, B.; LIU, H. A study on the energy rebound effect of China's residential building energy efficiency. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 608–618, 2015.

LIU, J. *et al.* Effects of household dynamics on resource consumption and biodiversity. **Nature**, v. 421, n. 6922, p. 530–533, 2003.

MACKELLAR, F. L. *et al.* Population, Households, and CO 2 Emissions. **Population and Development Review**, v. 21, n. 4, p. 849, 1995.

MALTHUS, T. R. **An essay on the principle of population**. London: J. Johnson, 1798.

MAO, R.; XU, J. Population aging, consumption budget allocation and sectoral growth. **China Economic Review**, v. 30, p. 44–65, 2014.

MARAZZI, A. **Algorithms, Routines, and S-Functions for Robust Statistics**. CRC Press, 1993.

MARTINSSON, J.; LUNDQVIST, L. J.; SUNDSTRÖM, A. Energy saving in Swedish households. The (relative) importance of environmental attitudes. **Energy Policy**, v. 39, n. 9, p. 5182–5191, 2011.

MASANET, E.; SHEHABI, A.; LEI, N.; SMITH, S.; KOOMEY, J. Recalibrating global data center energy-use estimates. **Science**, v. 367, n. 6481, p. 984–986, 2020.

MASSAGONY, A.; PANDIT, R.; WHITE, B. Socioeconomic and climatic factors affecting household electricity consumption in Indonesia. **Energy**, v. 344, art. 139749, 2025.

MCLOUGHLIN, F.; DUFFY, A.; CONLON, M. Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study. **Energy and Buildings**, v. 48, p. 240–248, 2012.

MENZ, T.; WELSCH, H. Population aging and carbon emissions in OECD countries: Accounting for life-cycle and cohort effects. **Energy Economics**, v. 34, n. 3, p. 842–849, 2012.

MIAH, Md. D. *et al.* Domestic energy-use pattern by the households: A comparison between rural and semi-urban areas of Noakhali in Bangladesh. **Energy Policy**, v. 39, n. 6, p. 3757–3765, 2011.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. Cambridge University Press, 2009.

MILLS, B.; SCHLEICH, J. Residential energy-efficient technology adoption, energy conservation, knowledge, and attitudes: An analysis of European countries. **Energy Policy**, v. 49, Special Section: Fuel Poverty Comes of Age: Commemorating 21 Years of Research and Policy, p. 616–628, 2012.

MIYAZAWA, K. **Input-Output Analysis and the Structure of Income Distribution**. Berlin: Springer-Verlag, 1976. (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, v. 116).

MME – Ministério de Minas e Energia. **Luz para Todos: sobre o programa**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: `https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/Programa` Luz para Todos/sobre-o-programa. Acesso em: 21 jun. 2026.

MODIGLIANI, F. Life Cycle, Individual Thrift, and the Wealth of Nations. **The American Economic Review**, v. 76, n. 3, p. 297–313, 1986.

NARASIMHA RAO, M.; REDDY, B. S. Variations in energy use by Indian households: An analysis of micro level data. **Energy**, v. 32, n. 2, p. 143–153, 2007.

NELSON, J. A. Household Economies of Scale in Consumption: Theory and Evidence. **Econometrica**: Journal of the Econometric Society, p. 1301–1314, 1988.

NISIFOROU, O. A.; POULLIS, S.; CHARALAMBIDES, A. G. Behaviour, attitudes and opinion of large enterprise employees with regard to their energy usage habits and adoption of energy saving measures. **Energy and Buildings**, v. 55, Cool Roofs, Cool Pavements, Cool Cities, and Cool World, p. 299–311, 2012.

NOTESTEIN, F. W. Population: the long view. In: SCHULTZ, T. W. (org.). **Food for the world**. Chicago: University of Chicago Press, 1945. p. 36–57.

O'NEILL, B. C. *et al.* Demographic change and carbon dioxide emissions. **The Lancet**, v. 380, n. 9837, p. 157–164, 2012.

O'NEILL, B. C. *et al.* Global demographic trends and future carbon emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 41, p. 17521–17526, 2010.

O'NEILL, B. C.; CHEN, B. S. Demographic Determinants of Household Energy Use in the United States. **Population and Development Review**, v. 28, p. 53–88, 2002.

OSORIO, P.; CADARSO, M. A.; TOBARRA, M. A. Sustainability of Spanish households' consumption: a Miyazawa's extended input-output model. In: INTERNATIONAL INPUT-OUTPUT CONFERENCE, 29., 2023, Alghero. **Anais** [...]. Alghero: International Input-Output Association, 2023.

PACHAURI, S. An analysis of cross-sectional variations in total household energy requirements in India using micro survey data. **Energy Policy**, v. 32, n. 15, p. 1723–1735, 2004.

PANG, Q.; DONG, X.; PENG, S.; ZHANG, L. Sector linkages and driving forces of Chinese household CO2 emissions based on semi-closed input–output model. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 23, p. 35408–35421, 2022.

PEROBELLI, F. S.; FARIA, W. R.; VALE, V. de A. O aumento da renda familiar brasileira e seu impacto no CO2 emissões: Evidências para 2003 e 2009 a partir de tabelas de insumos-produtos. **Energy Economics**, v. 52, p. 228–239, 2015.

POORTINGA, W.; STEG, L.; VLEK, C. Values, Environmental Concern, and Environmental Behavior: A Study into Household Energy Use. **Environment and Behavior**, v. 36, n. 1, p. 70–93, 2004.

PRADO, J.; SANTOYO, A. H.; SOARES, T. C. Impactos de la estructura etaria en las emisiones de CO2 en el Brasil (2002-2016). **Notas de Población**, Santiago, n. 121, p. 1-22, jul./dic. 2025.

RAMSEY, J. B. Tests for Specification Errors in Classical Linear Least-Squares Regression Analysis. **Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology**, v. 31, n. 2, p. 350–371, 1969.

RÄTY, R.; CARLSSON-KANYAMA, A. Energy consumption by gender in some European countries. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, p. 646–649, 2010.

ROMERO-JORDÁN, D.; DEL RÍO, P.; PEÑASCO, C. An analysis of the welfare and distributive implications of factors influencing household electricity consumption. **Energy Policy**, v. 88, p. 361–370, 2016.

ROSERO-BIXBY, L.; CASTRO-MARTÍN, T.; MARTÍN-GARCÍA, T. Is Latin America starting to retreat from early and universal childbearing?. **Demographic Research**, v. 20, p. 169–194, 2009.

SARDIANOU, E. Estimating energy conservation patterns of Greek households. **Energy Policy**, v. 35, n. 7, p. 3778–3791, 2007.

SCHIPPER, L. *et al.* Linking Life-Styles and Energy Use: A Matter of Time?. **Annual Review of Energy**, v. 14, n. 1, p. 273–320, 1989.

SCHIPPER, L. Life-styles and the environment: the case of energy. **Daedalus**, v. 125, n. 3, p. 113–139, 1996.

SETTE, A. B. P. **Dois ensaios sobre consumo e arranjos familiares brasileiros**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017. Disponível em: `https://locus.ufv.br//handle/123456789/19835`. Acesso em: 10 jan. 2024.

SHAHMOHAMMADI, S.; STEINMANN, Z. J. N.; TAMBJERG, L.; VAN LOON, P.; KING, J. M. H.; HUIJBREGTS, M. A. J. Comparative greenhouse gas footprinting of online versus traditional shopping for fast-moving consumer goods: a stochastic approach. **Environmental Science & Technology**, v. 54, n. 6, p. 3499–3509, 2020.

SHAO, H.; YU, M.; XIA, M.; YU, D.; GAO, F. Will the miniaturization of household size promote household carbon emissions in China? Analysis based on CFPS data. **Frontiers in Environmental Science**, v. 12, 1382083, 2024.

SIMÕES, C. C. da S. **Relações entre as alterações históricas na dinâmica demográfica brasileira e os impactos decorrentes do processo de envelhecimento da população**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

SIMÕES, G. M. F.; LEDER, S. M. Energy poverty: The paradox between low income and increasing household energy consumption in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 268, p. 112234, 2022.

SU, Y.-W. Residential electricity demand in Taiwan: Consumption behavior and rebound effect. **Energy Policy**, v. 124, p. 36–45, 2019.

SUPASA, T. *et al.* Household Energy Consumption Behaviour for Different Demographic Regions in Thailand from 2000 to 2010. **Sustainability**, v. 9, n. 12, p. 2328, 2017.

TANG, Z.; CHEN, L. Measurement and analysis of direct and indirect household energy consumption: a case study of China. **Frontiers in Energy Research**, v. 11, 2023. Disponível em: `https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2023.1220207/full`. Acesso em: 14 set. 2024.

THERBORN, G. **Sexo e poder: a família no mundo 1900-2000**. São Paulo: Contexto, 2006.

THOMPSON, W. S. Population. **American Journal of Sociology**, v. 34, n. 6, p. 959–975, 1929.

TONN, B.; EISENBERG, J. The aging US population and residential energy demand. **Energy Policy**, v. 35, n. 1, p. 743–745, 2007.

UNDERWOOD, A.; ZAHRAN, S. The carbon implications of declining household scale economies. **Ecological Economics**, v. 116, n. C, p. 182–190, 2015.

VALENZUELA, C. *et al.* An analysis of monthly household energy consumption among single-family residences in Texas, 2010. **Energy Policy**, v. 69, p. 263–272, 2014.

VAN DE KAA, D. **Second demographic transition revisited: theories and expectations**. Wageningen University, 1994. Disponível em: `https://library.wur.nl/WebQuery/titel/504453`. Acesso em: 15 mar. 2026.

VAN RAAIJ, W. F.; VERHALLEN, T. M. M. A behavioral model of residential energy use. **Journal of Economic Psychology**, v. 3, n. 1, p. 39–63, 1983.

VERARDI, V.; CROUX, C. Robust regression in Stata. **Stata Journal**, v. 9, n. 3, 2009. Disponível em: `http://socionet.ru/publication.xml?h=repec:tsj:stataj:v:9:y:2009:i:3:p:439-453`. Acesso em: 27 set. 2023.

VO, D. H. Socio-demographic determinants of electricity consumption across Vietnamese households. **PLOS ONE**, v. 20, n. 4, p. e0320758, 2025.

WACHSMANN, U.; WOOD, R.; LENZEN, M.; SCHAEFFER, R. Structural decomposition of energy use in Brazil from 1970 to 1996. **Applied Energy**, v. 86, n. 4, p. 578–587, 2009.

WANG, W.; ZHANG, M. Direct and indirect energy consumption of rural households in China. **Natural Hazards**, v. 79, n. 3, p. 1693–1705, 2015.

WEISS DE ABREU, M. *et al.* Household energy consumption behaviors in developing countries: A structural decomposition analysis for Brazil. **Energy for Sustainable Development**, v. 62, p. 1–15, 2021.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory Econometrics: A Modern Approach**. Cengage Learning, 2015.

WU, W.; KANAMORI, Y.; ZHANG, R.; ZHOU, Q.; TAKAHASHI, K.; MASUI, T. Implications of declining household economies of scale on electricity consumption and sustainability in China. **Ecological Economics**, v. 184, p. 106981, 2021.

XIONG, J. *et al.* Perceptual and physiological responses of elderly subjects to moderate temperatures. **Building and Environment**, v. 156, p. 117–122, 2019.

XU, X.; XIAO, B.; LI, C. Z. Critical factors of electricity consumption in residential buildings: An analysis from the point of occupant characteristics view. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, p. 120423, 2020.

YANG, K.; WU, J.; LI, L.; MI, Z.; YANG, J.; TANG, L. Impact of household size and structure on carbon emissions in China. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 75, p. 9–19, 2025.

YATES, L. Sharing, households and sustainable consumption. **Journal of Consumer Culture**, v. 18, n. 3, p. 433–452, 2018.

YE, Y.; KOCH, S. F.; ZHANG, J. Determinants of household electricity consumption in South Africa. **Energy Economics**, v. 75, p. 120–133, 2018.

YOHAI, V. J. High Breakdown-Point and High Efficiency Robust Estimates for Regression. **The Annals of Statistics**, v. 15, n. 2, p. 642–656, 1987.

YU, B.; ZHANG, J.; FUJIWARA, A. Evaluating the direct and indirect rebound effects in household energy consumption behavior: A case study of Beijing. **Energy Policy**, v. 57, p. 441–453, 2013.

YU, M.; MENG, B.; LI, R. Analysis of China's urban household indirect carbon emissions drivers under the background of population aging. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 60, p. 114–125, 2022.

YU, Y.; WANG, H.; WANG, H.; HUANG, W.; QIAN, T. Shrinking household size and CO2 emissions in China: evidence from machine learning and input-output models. **iScience**, v. 29, n. 8, 117096, 2026.

ZELEZNY, L. C.; CHUA, P.-P.; ALDRICH, C. New Ways of Thinking about Environmentalism: Elaborating on Gender Differences in Environmentalism. **Journal of Social Issues**, v. 56, n. 3, p. 443–457, 2000.

ZHANG, Y.; WANG, F.; ZHANG, B. The impacts of household structure transitions on household carbon emissions in China. **Ecological Economics**, v. 206, p. 107734, 2023.

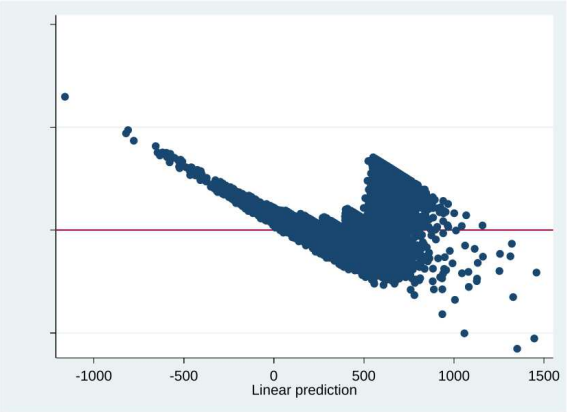
ZHANG, Z.; CAI, W.; FENG, X. How do urban households in China respond to increasing block pricing in electricity? Evidence from a fuzzy regression discontinuity approach. **Energy Policy**, v. 105, p. 161–172, 2017.

APÊNDICE A – Análise 1

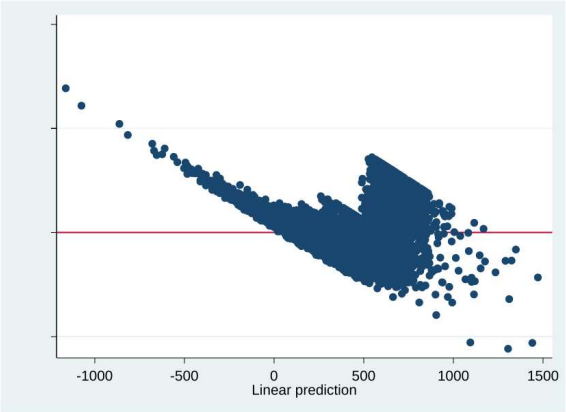
A Figura 1A apresenta os gráficos de resíduos das regressões estimadas por MQO para os Modelos 1(A), 1(B) e 1(C), utilizados na identificação de *outliers* (seção 3.3.1).

Figura 1A – Gráficos de resíduos das regressões estimadas por MQO: Modelos 1(A), 1(B) e 1(C)

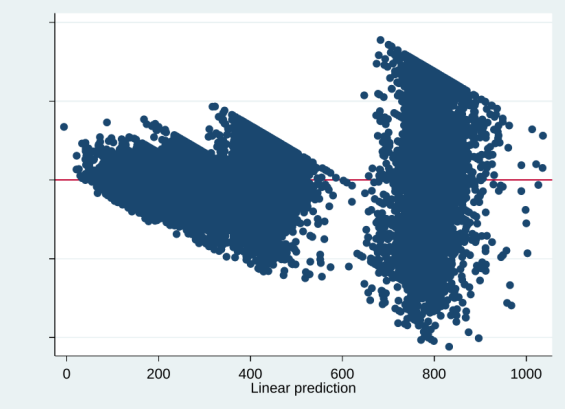
Modelo 1 (A)



Modelo 1 (B)



Modelo 1 (C)



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

A Tabela 1A reporta o número de domicílios segundo a composição etária dos moradores, por tamanho do domicílio, e complementa os resultados do modelo de limites ótimos (seção 3.3.2).

Tabela 1A – Número de domicílios com diferentes composições domiciliares por tamanho de domicílio

	Tamanho do domicílio						**Total**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	
Número de domicílios com pelo menos um membro de 0 a 14 anos	0	422	2021	1710	887	738	5778
Número de domicílios com pelo menos um membro com idade entre 15 e 24 anos	124	949	1495	1195	659	609	5031
Número de domicílios com pelo menos um membro com idade entre 25 e 44 anos	836	1845	2510	1907	891	703	8692
Número de domicílios com pelo menos um membro com idade entre 45 e 59 anos	1120	1786	1329	831	437	391	5894
Número de domicílios com pelo menos um membro com 60 anos ou mais	1918	2184	953	452	237	218	5962

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2017/2018 (IBGE, 2019).

A Tabela 2A apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre a posse de eletrodomésticos e o tamanho do domicílio, discutidos na seção 3.3.2.

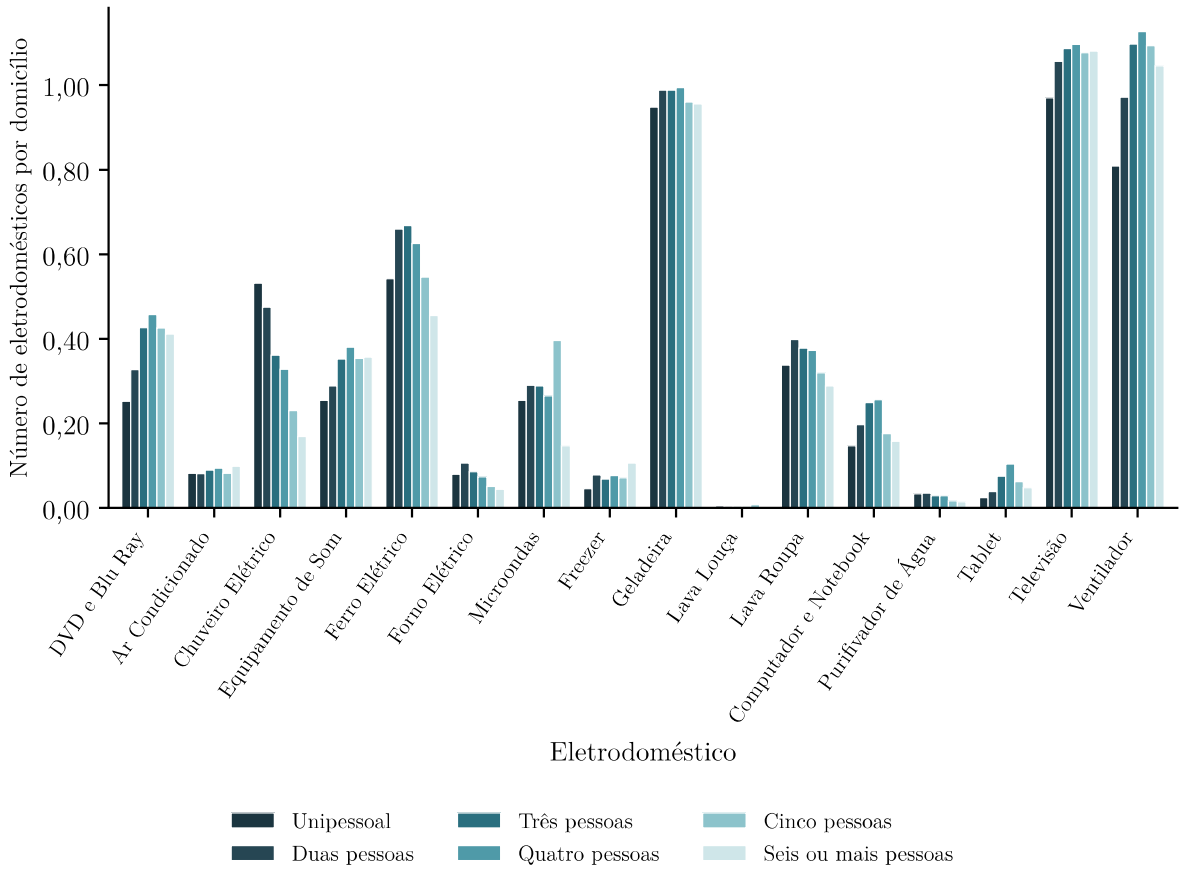
Tabela 2A – Coeficientes de correlação de Pearson entre posse de eletrodomésticos e tamanho do domicílio

Número de Aparelho de DVD ou Blu-Ray	0,12
Número de Ar-Condicionado	0,01
Número de Chuveiro Elétrico	-0,18
Número de Equipamento de Som	0,08
Número de Ferro Elétrico	-0,02
Número de Forno Elétrico	-0,04
Número de Forno Micro-ondas	-0,05
Número de Freezer	0,05
Número de Geladeira	0,02
Número de Máquina de Lavar Louça	-0,01
Número de Máquina de Lavar Roupa	-0,02
Número de Microcomputador ou Notebook	0,03
Número de Purificador de Água	-0,03
Número de Tablet	0,06
Número de Televisão	0,08
Número de Ventilador ou Circulador de Ar	0,10

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.

A Figura 2A mostra a posse de eletrodomésticos por tamanho do domicílio (seção 3.3.2).

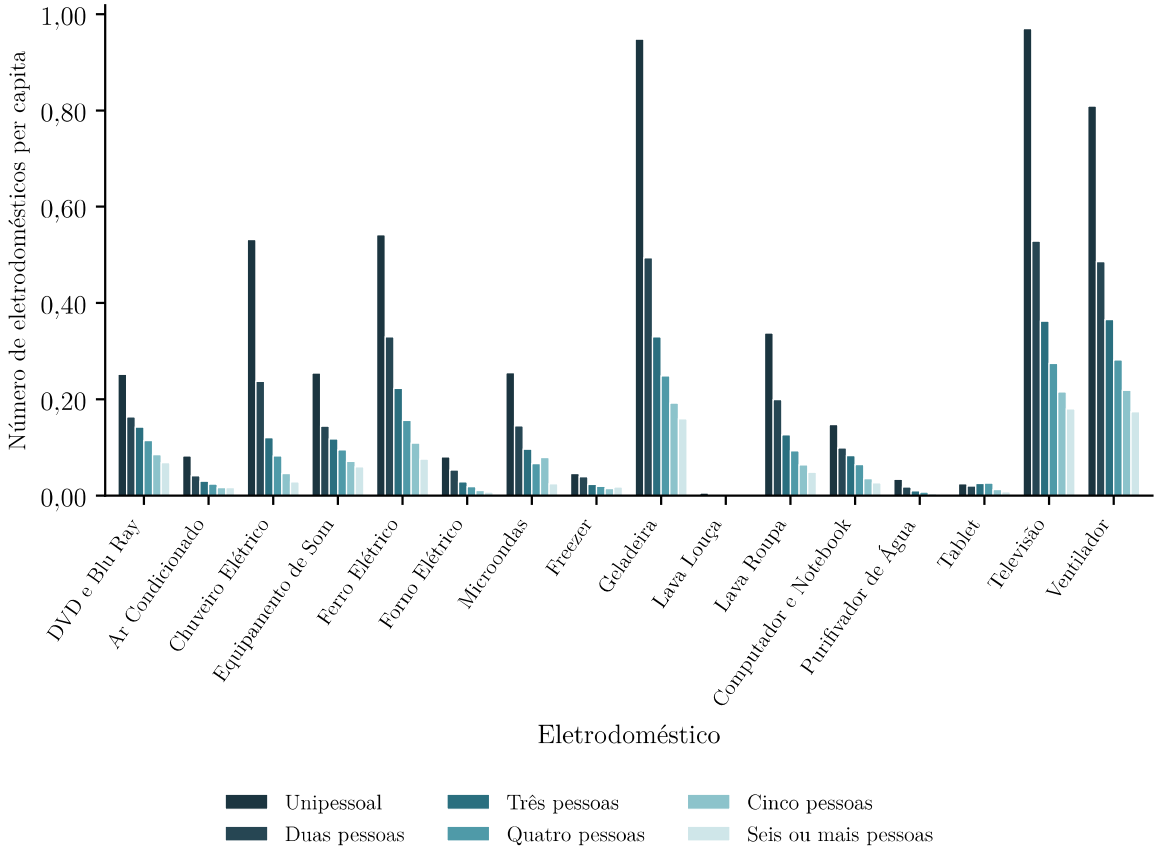
Figura 2A – Número de eletrodomésticos por tamanho do domicílio



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2017/2018 (IBGE, 2019).

A Figura 3A apresenta a posse de eletrodomésticos *per capita* por tamanho do domicílio, também discutida na seção 3.3.2.

Figura 3A – Número de eletrodomésticos *per capita* por tamanho de domicílio



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2017/2018 (IBGE, 2019).

O Quadro 1A sistematiza a literatura revisada na seção 3.1 sobre os efeitos do tamanho e da composição domiciliar no consumo de eletricidade, com a métrica adotada em cada estudo.

Quadro 1A – Resumo da literatura revisada dos efeitos do tamanho e da composição domiciliar no consumo de eletricidade

Estudo	Região	Método	Variáveis	Principais resultados
O'neill e Chen (2002)	Estados Unidos	IPAT	Tamanho do domicílio (1,2,3,4,5,6 ou mais) e composição: presença de crianças 0-17 anos, adultos e idosos.	Efeito negativo entre tamanho do domicílio e consumo de energia.
Liddle e Lung (2010)	Países desenvolvidos	STIRPAT e regressão linear	Composição (20-34, 35-49 e 50-64 anos).	Os domicílios maiores são menos intensivos em energia por membro.
Leahy e Lyons (2010)	Irlanda	Regressão linear	Presença de filhos e tamanho do domicílio (1,2,3,4,5,6,7,8 ou mais).	A presença de crianças não afetou o uso de eletricidade. O tamanho do domicílio teve um efeito positivo na demanda de eletricidade.
Mcloughlin *et al.* (2012)	Irlanda	Regressão linear	Tipos de domicílios (adultos que vivem sozinhos, adultos que vivem com outros adultos, adultos que vivem com outros adultos e crianças).	Indivíduos adultos que residem com crianças apresentam um consumo significativamente superior de eletricidade em comparação com aqueles que vivem sozinhos ou com outros adultos.

(continua)

(continuação)

Estudo	Região	Método	Variáveis	Principais resultados
Brounen *et al.* (2012)	Holanda	Regressão linear	Presença de crianças, número de crianças e presença de idosos	s domicílios com crianças consumiam mais eletricidade em comparação com aquelas sem filhos. O consumo de eletricidade *per capita* era influenciado pela idade das crianças, sendo que os domicílios idososs consumiam menos eletricidade do que casais de meia-idade.
Kavousian *et al.* (2013)	Estados Unidos	Análise Fatorial e regressão linear	Tamanho do domicílio	os domicílios com maior número de membros apresentam um consumo total de eletricidade mais elevado, porém, o consumo *per capita* é menor.
Fu *et al.* (2014)	China	Testes estatísticos	Faixas etárias (0–59 anos, acima de 59 anos)	Os idosos consumiram menos eletricidade *per capita* do que os grupos mais jovens.
Hung e Huang (2015)	Taiwan	Modelo de dados em painel dinâmico	Tamanho do domicílio e seu termo ao quadrado.	A relação em forma de U entre o consumo de eletricidade e o tamanho do domicílio.

(continua)

(continuação)

Estudo	Região	Método	Variáveis	Principais resultados
Huang (2015)	Taiwan	Regressão quantílica	Tamanho do domicílio e número de idosos.	O número de membros idosos teve um efeito negativo no consumo de eletricidade nos domicílios com baixa demanda, mas um efeito positivo nos domicílios de alta demanda.
Jones e Lomas (2015)	Reino Unido	Probabilidade estatística	Tamanho do domicílio, presença de crianças e adolescentes.	Domicílios com mais membros, crianças e adolescentes tem maior probabilidade de consumir mais energia elétrica.
Craice (2016)	Brasil - Lucas do Rio Verde	Correlação	Tamanho e número de membros com idade menor que 18 anos.	Conforme aumenta o número de moradores, diminui o gasto com energia por pessoa no domicílio.
Huebner *et al.* (2016)	Reino Unido	Regressão linear	Tamanho do domicílio (1, 2, 3, 4, 5 ou mais).	À medida que o tamanho do domicílio aumentava, observou-se uma diminuição no aumento do consumo de eletricidade por cada membro adicional.
Romero-Jordán *et al.* (2016)	Espanha	Regressão quantílica	Presença de crianças	A existência de crianças no domicílio teve um efeito positivo no consumo de eletricidade

(continua)

(continuação)

Estudo	Região	Método	Variáveis	Principais resultados
Zhang *et al.* (2017)	China	Descontinuidade de regressão difusa	Tamanho do domicílio	O tamanho do domicílio teve um efeito significativamente positivo apenas entre os utilizadores com alta demanda.
Hasanov e Mikayilov (2017)	Azerbaijão	STIRPAT, Cointegração e correção de erros	Grupos etários (0-14, 15-64, 65 anos ou mais).	Todos os grupos etários apresentaram efeito significativo em relação ao consumo doméstico de eletricidade.
Hansen (2018)	Dinamarca	Regressão linear	Tamanho do domicílio, número de crianças.	O consumo de energia para aquecimento foi afetado positivamente pelo número de crianças e pelo número de membros no domicílio.
Kim (2018)	Coreia	Regressão linear	Tamanho do domicílio, tipos de família (solteiro, casal, casal-filho, casal-filho-pai e outros)	As famílias compostas por casais e filhos consumiam mais eletricidade do que outros tipos de famílias. O tamanho do domicílio teve um efeito positivo no consumo de eletricidade entre os usuários de baixa demanda.

(continua)

(continuação)

Estudo	Região	Método	Variáveis	Principais resultados
Kim *et al.* (2019)	Coreia	Cointegração e dos efeitos marginais de curto prazo	Grupos etários (0-14, 65-79, 80 anos ou mais).	Os idosos com idade acima de 65 anos, em geral, consumiam mais eletricidade do que a população em idade ativa, embora tenham apresentado um efeito heterogêneo entre os diferentes grupos de idosos.
Su (2019)	Taiwan	Regressão binomial negativa	Número de membros em diferentes faixas etárias (0–4 anos, 5–19 anos, 20–34 anos, 35–64 anos, 65 ou mais).	A demanda por eletricidade dos membros do domicílio variou de acordo com a faixa etária.
Frondel *et al.* (2019)	Alemanha	Regressão quantílica	Tamanho do domicílio (1,2,3,4 ou mais).	A heterogeneidade do consumo residencial de eletricidade aumentou com o tamanho do domicílio.
Kostakis (2020)	Grécia	Regressão quantílica	Idade média dos membros do domicílio.	Os domicílios idosos tinham maior procura de eletricidade do que domicílios com membros mais jovens.
Kim (2020)	Coreia	Regressão quantílica	Tamanho do domicílio	Os efeitos do amanho do domicílio foram mais fortes nos quantis inferiores do que nos quantis superiores.

(continua)

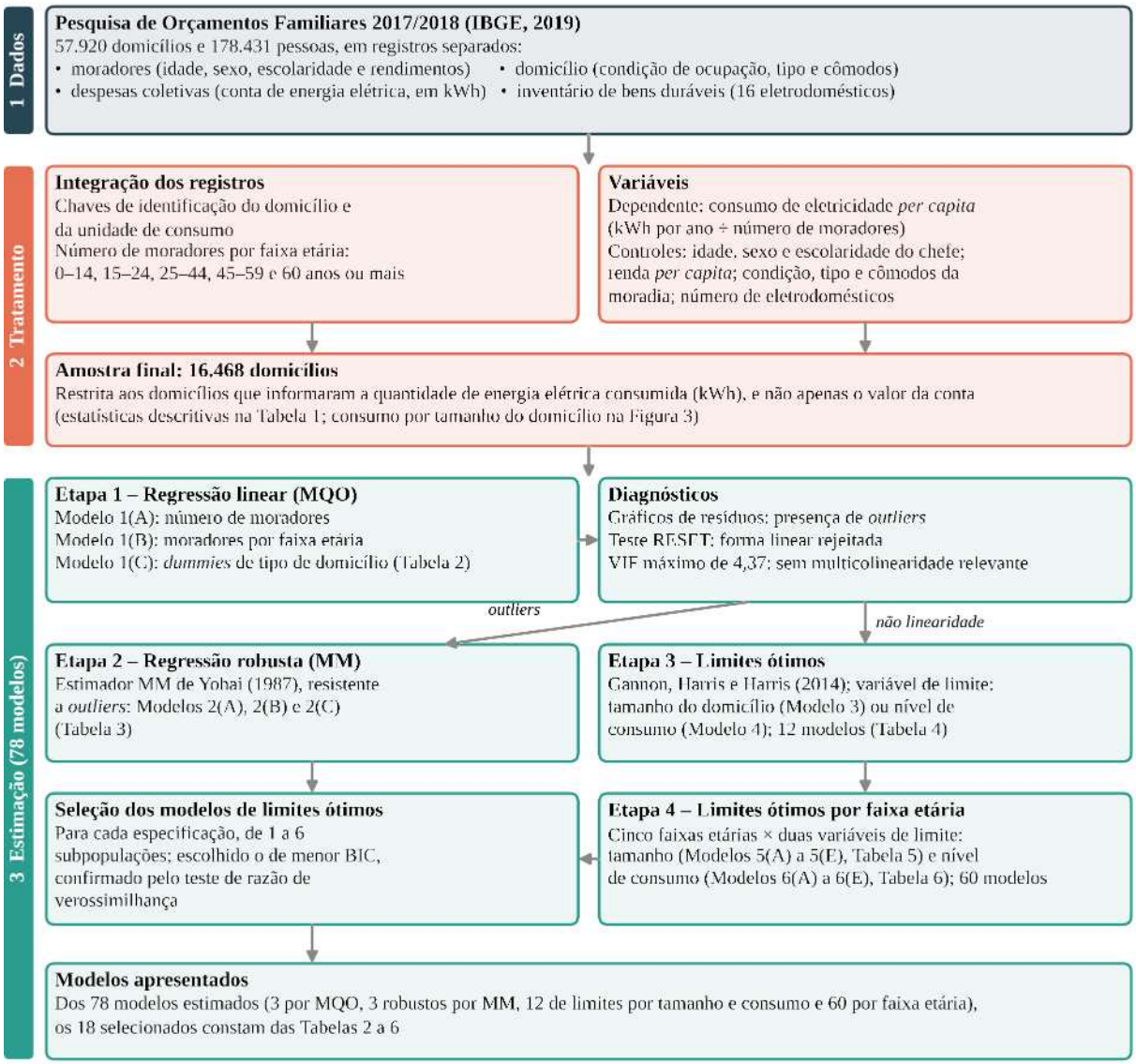
(continuação)

Estudo	Região	Método	Variáveis	Principais resultados
Abrahão e Souza (2021b)	Brasil	Decomposição de índices	Grupos etários (0-14,15-34, 35-59, 60 anos ou mais).	O consumo de energia elétrica mostrou variação conforme a faixa etária da população, apresentando padrões distintos em diferentes regiões.
Simões e Leder (2022)	Brasil	Testes estatísticos	Número de ocupantes, domicílios com crianças, idosos e pessoas com deficiência.	A intensidade do uso de energia foi afetada pelo número de ocupantes.
Diógenes (2022)	Brasil	Regressão linear	Grupos etários para chefe do domicílio (10-19,20-29, 30-39,40-49, 50-59,60-69, 70-79,80-89 anos).	O consumo de energia elétrica aumenta com a idade do chefe do domicílio.
Huang (2022)	Taiwan	Modelo de Limites Ótimos	Tamanho e composição (0-14, 15-24, 25-44, 45-59, 60 anos ou mais).	Os efeitos da composição e do tamanho do domicílio no consumo de eletricidade variam de acordo com o tamanho do domicílio e do nível de consumo de eletricidade.

Fonte: Elaborada pela autora a partir de Abrahão e Souza (2021); Brounen *et al.* (2012); Craice (2016); Diógenes (2022); Frondel *et al.* (2019); Fu *et al.* (2014); Hansen (2018); Hasanov e Mikayilov (2017); Huang (2015, 2022); Huebner *et al.* (2016); Hung e Huang (2015); Jones e Lomas (2015); Kavousian *et al.* (2013); Kim *et al.* (2019); Kim (2018, 2020); Kostakis (2020); Leahy e Lyons (2010); Liddle e Lung (2010); Mcloughlin *et al.* (2012); O'neill e Chen (2002); Romero-Jordán *et al.* (2016); Simões e Leder (2022); Su (2019)

A Figura 4A resume as etapas metodológicas da Análise 1 descritas na seção 3.2, da organização dos microdados da POF 2017/2018 à estimação e à seleção dos modelos.

Figura 4A – Etapas da análise da composição domiciliar e do consumo de energia elétrica: dos dados à estimação dos modelos



Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE B – Análise 2

A Tabela 1B reporta o consumo de energia elétrica por setor do Balanço Energético Nacional (BEN) em 2000 e 2015, base para o cálculo dos coeficientes de energia elétrica (seção 4.3.2).

Tabela 1B – Consumo de energia elétrica por setor no Brasil nos anos de 2000 e 2015, segundo a classificação do Balanço Energético Nacional

Setores do BEN	**Consumo de energia elétrica (GWh/ano)**		**Variação 2015/2000 (%)**
	2000	**2015**	
Consumo final energético	331.795	530.168	60%
1. Agropecuário	12.856	26.790	108%
2. Alimentos e bebidas	16.173	26.081	61%
3. Cerâmica	2.720	3.940	45%
4. Cimento	4.628	7.111	54%
5. Comercial	47.510	91.444	92%
6. Ferro gusa e aço	14.717	18.714	27%
7. Ferro ligas	6.398	6.826	7%
8. Mineração e pelotização	7.429	12.742	72%
9. Não ferrosos e out. Metalurg.	28.970	26.929	-7%
10. Outras indústrias	29.473	44.928	52%
11. Papel e celulose	12.144	21.684	79%
12. Público	29.200	43.443	49%
13. Química	17.251	22.562	31%
14. Residencial	83.613	131.198	57%
15. Setor energético	10.479	37.207	255%
16. Têxtil	6.983	6.512	-7%
17.Transportes	1.250	2.055	64%

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2000 e 2015 (EPE, 2025c).

O Quadro 1B apresenta a correspondência entre os setores do BEN e os 12 setores agregados adotados na Análise 2.

Quadro 1B – Correspondência entre os setores agregados e os setores do Balanço Energético Nacional adotada neste estudo

Setores Agregados	**Setores do Balanço Energético Nacional**
1. Agropecuário	1. Agropecuário
2. Alimentos e Bebidas	2. Alimentos e bebidas
3. Comercial	5. Comercial
4. Energético	15. Setor energético
5. Minerais não metálicos	3. Cerâmica; 4. Cimento
6. Não ferrosos e Outros da Metalurgia	6. Ferro gusa e aço; 7. Ferro ligas; 8. Mineração e pelotização; 9. Não ferrosos e out. Metalurg.
7. Outras Indústrias	10. Outras indústrias
8. Papel e Celulose	11. Papel e celulose
9. Público	12. Público
10. Químico	13. Química
11. Têxtil	16. Têxtil
12.Transporte	17. Transportes

Fonte: Elaborada pela autora.

O Quadro 2B reporta o consumo de energia elétrica de 2000 e 2015 reorganizado segundo os setores agregados.

Quadro 2B – Consumo de energia elétrica por setor agregado no Brasil nos anos de 2000 e 2015

Setores Agregados	**Consumo de energia elétrica (GWh/ano)**		**Variação 2015/2000 (%)**
	2000	2015	
Consumo Final Energético	331.795	530.168	60%
Agropecuário	12.856	26.790	108%
Alimentos e Bebidas	16.173	26.081	61%
Comercial	47.510	91.444	92%
Energético	10.479	37.207	255%
Minerais não metálicos	14.777	23.793	61%
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	50.085	52.469	5%
Outras Indústrias	29.473	44.928	52%
Papel e Celulose	12.144	21.684	79%
Público	29.200	43.443	49%
Químico	17.251	22.562	31%
Residencial	83.613	131.198	57%
Têxtil	6.983	6.512	-7%
Transporte	1.250	2.055	64%

Fonte: Elaborada pela autora.

O Quadro 3B detalha a correspondência entre os setores agregados e as 55 atividades econômicas da matriz de insumo-produto de 2000, com o consumo final dos domicílios por atividade.

Quadro 3B – Correspondência entre os setores agregados com as 55 atividades econômicas da matriz de insumo-produto do Brasil (2000) e o consumo final dos domicílios por atividade

Setores Agregados	**Código**	**Descrição da atividade**	**Consumo (R$ milhões)**
Agropecuário	0101	Agricultura, silvicultura, exploração florestal	12.781,57
	0102	Pecuária e pesca	8.021,25
Alimentos e Bebidas	0301	Alimentos e bebidas	63.191,91
Comercial	0601	Comércio	78.506,31
	0801	Serviços de informação	17.198,54
	0901	Intermediação financeira e seguros	49.088,46
	1001	Serviços imobiliários e aluguel	105.183,15
	1101	Serviços de manutenção e reparação	11.732,28
	1102	Serviços de alojamento e alimentação	29.673,65
	1103	Serviços prestados às empresas	6.001,60
	1104	Educação mercantil	21.779,49
	1105	Saúde mercantil	29.202,91
	1106	Outros serviços	40.602,03
Energético	0201	Petróleo e gás natural	407,18
	0309	Refino de petróleo e coque	11.931,39
	0310	Álcool	2.388,67
Minerais não metálicos	0319	Cimento	231,51
	0320	Outros produtos de minerais não-metálicos	199,87
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	0202	Minério de ferro	6,68
	0321	Fabricação de aço e derivados	43,96
	0322	Metalurgia de metais não-ferrosos	16,02
	0323	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	793,72
Outras Indústrias	0203	Outros da indústria extrativa	106,81
	0302	Produtos do fumo	2.710,16
	0304	Artigos do vestuário e acessórios	16.285,20
	0305	Artefatos de couro e calçados	6.579,04
	0306	Produtos de madeira - exclusive móveis	252,46
	0308	Jornais, revistas, discos	4.206,55

(continua)

(continuação)

Setores Agregados	Código	Descrição da atividade	Consumo (R$ milhões)
	0324	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	1.164,66
	0325	Eletrodomésticos	3.522,37
	0326	Máquinas para escritório e equipamentos de informática	1.318,32
	0327	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	515,52
	0328	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	6.205,81
	0329	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	2.036,56
	0330	Automóveis, camionetas e utilitários	12.113,36
	0331	Caminhões e ônibus	152,55
	0332	Peças e acessórios para veículos automotores	220,24
	0333	Outros equipamentos de transporte	1.706,97
	0334	Móveis e produtos das indústrias diversas	9.236,13
	0501	Construção	0,00
Papel e Celulose	0307	Celulose e produtos de papel	2.337,55
Público	0401	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	20.454,83
	1201	Educação pública	89,45
	1202	Saúde pública	989,80
	1203	Administração pública e seguridade social	2.655,81
Químico	0311	Produtos químicos	347,43
	0312	Fabricação de resina e elastômeros	62,63
	0313	Produtos farmacêuticos	8.893,85
	0314	Defensivos agrícolas	103,92
	0315	Perfumaria, higiene e limpeza	6.709,75
	0316	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	562,54
	0317	Produtos e preparados químicos diversos	345,44
	0318	Artigos de borracha e plástico	1.506,37
Têxtil	0303	Têxteis	4.950,10
Transporte	0701	Transporte, armazenagem e correio	33.644,70

Fonte: Elaborada pela autora a partir da Matriz de Insumo-Produto de 2000 do Brasil (IBGE, 2008).

Nota: Para informações detalhadas sobre os produtos que compõem cada setor de atividade econômica, consultar a publicação completa disponível em: `https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9085-matriz-de-insumo-produto.html?edicao=10787`

O Quadro 4B apresenta a mesma correspondência para as 67 atividades econômicas da matriz de insumo-produto de 2015.

Quadro 4B – Correspondência entre os setores agregados com as 67 atividades econômicas da matriz de insumo-produto do Brasil (2015) e o consumo final dos domicílios por atividade

Setores Agregados	**Código**	**Descrição da atividade**	**Consumo (R$ milhões)**
Agropecuário	0191	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	59.418,93
	0192	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	21.227,52
	0280	Produção florestal; pesca e aquicultura	15.527,44
Alimentos e Bebidas	1091	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	151.077,59
	1092	Fabricação e refino de açúcar	12.081,14
	1093	Outros produtos alimentares	129.213,55
	1100	Fabricação de bebidas	39.745,25
Comercial	4580	Comércio por atacado e varejo	588.542,30
	5500	Alojamento	4.181,28
	5600	Alimentação	183.686,91
	5800	Edição e edição integrada à impressão	10.166,77
	5980	Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem	1.728,22
	6100	Telecomunicações	89.098,72
	6280	Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	682,80
	6480	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	257.807,15
	6800	Atividades imobiliárias	468.790,11
	6980	Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas	13.319,86
	7180	Serviços de arquitetura, engenharia, testes/ análises técnicas e P & D	814,42
	7380	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	1.456,60
	7700	Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual	3.681,10
	7880	Outras atividades administrativas e serviços complementares	10.802,62
	8000	Atividades de vigilância, segurança e investigação	483,74
	8592	Educação privada	97.979,28
	8692	Saúde privada	159.042,51
	9080	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	17.454,82

(continua)

(continuação)

Setores Agregados	**Código**	**Descrição da atividade**	**Consumo (R$ milhões)**
	9480	Organizações associativas e outros serviços pessoais	79.377,42
	9700	Serviços domésticos	61.996,00
Energético	0680	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	309,57
	1991	Refino de petróleo e coquerias	83.049,26
	1992	Fabricação de biocombustíveis	17.568,94
	3500	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	77.190,41
Minerais não metálicos	0580	Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos	142,54
	2300	Fabricação de produtos de minerais não metálicos	2.181,60
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	0791	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	0,00
	0792	Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos	6,31
	2491	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	1.448,68
	2492	Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais	1.542,34
	2500	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	9.871,80
Outras Indústrias	1200	Fabricação de produtos do fumo	6.551,58
	1400	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	51.828,28
	1500	Fabricação de calçados e de artefatos de couro	23.430,52
	1600	Fabricação de produtos da madeira	1.981,42
	1800	Impressão e reprodução de gravações	935,49
	2600	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	31.291,31
	2700	Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos	14.739,19
	2800	Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos	5.245,76
	2991	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças	65.375,38
	2992	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	1.262,62
	3000	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	8.099,49

(continua)

(continuação)

Setores Agregados	**Código**	**Descrição da atividade**	**Consumo (R$ milhões)**
	3180	Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas	40.947,45
	3300	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	779,82
	4180	Construção	660,41
Papel e Celulose	1700	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	10.644,12
Público	3680	Água, esgoto e gestão de resíduos	24.119,33
	8400	Administração pública, defesa e seguridade social	10.113,26
	8591	Educação pública	964,63
	8691	Saúde pública	1.518,91
Químico	2091	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	2.934,52
	2092	Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos	2.149,11
	2093	Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/ perfumaria e higiene pessoal	24.843,70
	2100	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	35.093,94
	2200	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	11.181,85
Têxtil	1300	Fabricação de produtos têxteis	14.541,25
Transporte	5280	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	24.185,50
	4900	Transporte terrestre	88.629,47
	5000	Transporte aquaviário	1.366,93
	5100	Transporte aéreo	7.622,24

Fonte: Elaborada pela autora a partir da Matriz de Insumo-Produto de 2015 do Brasil (IBGE, 2018).

Nota: Para informações detalhadas sobre os produtos que compõem cada setor de atividade econômica, consulte a publicação completa disponível em: `https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9085-matriz-de-insumo-produto.html?edicao=22000`.

A Tabela 2B apresenta a participação relativa dos tipos de domicílio nas despesas de cada um dos 12 setores, com base na POF 2002/2003 (seção 4.3.2).

Tabela 2B – Participação relativa dos tipos de domicílio nas despesas setoriais no Brasil, agregadas em 12 setores — POF 2002/2003

Setor	Tipo de domicílio						Total
	1 morador	2 moradores	3 moradores	4 moradores	5 moradores	6 moradores ou mais	
Agropecuário	5,1%	14,3%	21,0%	25,4%	16,8%	17,4%	100%
Alimentos e Bebidas	6,9%	16,0%	23,9%	25,9%	14,6%	12,6%	100%
Comercial	10,0%	19,2%	23,9%	23,9%	12,8%	10,2%	100%
Energético	9,9%	19,4%	24,2%	23,8%	12,9%	9,9%	100%
Minerais não metálicos	6,1%	16,9%	22,5%	27,4%	14,6%	12,5%	100%
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	8,1%	18,2%	23,0%	23,9%	14,2%	12,6%	100%
Outras Indústrias	9,4%	18,6%	23,5%	23,8%	13,3%	11,3%	100%
Papel e Celulose	8,8%	17,8%	23,9%	23,8%	13,4%	12,3%	100%
Público	8,0%	21,6%	23,7%	23,9%	11,4%	11,4%	100%
Químico	9,1%	17,9%	23,3%	23,7%	13,5%	12,5%	100%
Têxtil	9,6%	18,0%	23,4%	24,4%	12,7%	11,8%	100%
Transporte	9,2%	17,7%	22,7%	23,5%	13,5%	13,4%	100%

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2002/2003 (IBGE, 2007b).

A Tabela 3B apresenta a perspectiva complementar, a estrutura setorial das despesas de cada tipo de domicílio, com base na mesma pesquisa.

Tabela 3B – Estrutura setorial das despesas domiciliares por tipo de domicílio no Brasil, agregada em 12 setores — POF 2002/2003

Setor	Tipo de domicílio					
	1 morador	2 moradores	3 moradores	4 moradores	5 moradores	6 moradores ou mais
Agropecuário	0,5%	0,7%	0,9%	1,0%	1,2%	1,5%
Alimentos e Bebidas	4,3%	5,0%	5,9%	6,3%	6,5%	6,6%
Comercial	41,9%	40,9%	40,1%	39,6%	38,4%	36,6%
Energético	9,9%	9,9%	9,7%	9,4%	9,2%	8,4%
Minerais não metálicos	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Outras Indústrias	30,8%	31,0%	30,8%	30,8%	31,2%	31,6%
Papel e Celulose	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,8%
Público	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Químico	3,6%	3,6%	3,7%	3,7%	3,9%	4,2%
Têxtil	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Transporte	7,9%	7,7%	7,8%	7,9%	8,3%	9,7%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2002/2003 (IBGE, 2007b).

A Tabela 4B reporta a participação relativa dos tipos de domicílio nas despesas setoriais com base na POF 2008/2009.

Tabela 4B – Participação relativa dos tipos de domicílio nas despesas setoriais no Brasil, agregadas em 12 setores — POF 2008/2009

Setor	Tipo de domicílio						
	1 morador	2 moradores	3 moradores	4 moradores	5 moradores	6 moradores ou mais	Total
Agropecuário	14,4%	29,4%	10,6%	25,4%	10,7%	9,6%	100%
Alimentos e Bebidas	10,3%	20,5%	19,5%	27,8%	16,1%	5,8%	100%
Comercial	12,5%	24,1%	20,8%	18,4%	15,5%	8,7%	100%
Energético	12,1%	25,7%	24,1%	21,3%	11,6%	5,3%	100%
Minerais não metálicos	14,4%	24,0%	22,7%	23,9%	8,9%	6,1%	100%
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	10,7%	25,1%	21,8%	21,8%	12,9%	7,7%	100%
Outras Indústrias	13,2%	24,8%	24,3%	21,3%	10,3%	6,2%	100%
Papel e Celulose	11,7%	24,3%	23,3%	21,2%	12,3%	7,2%	100%
Público	7,8%	22,6%	18,6%	23,6%	21,3%	6,1%	100%
Químico	12,0%	23,7%	23,2%	21,4%	12,7%	7,2%	100%
Têxtil	13,1%	25,7%	23,1%	19,8%	10,2%	8,1%	100%
Transporte	12,2%	23,6%	25,1%	19,8%	11,8%	7,5%	100%

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008/2009 (IBGE, 2011).

A Tabela 5B reporta a estrutura setorial das despesas de cada tipo de domicílio com base na POF 2008/2009.

Tabela 5B – Estrutura setorial das despesas domiciliares por tipo de domicílio no Brasil, agregada em 12 setores — POF 2008/2009

Setor	Tipo de domicílio					
	1 morador	2 moradores	3 moradores	4 moradores	5 moradores	6 moradores ou mais
Agropecuário	1,8%	1,9%	0,7%	2,0%	1,3%	2,1%
Alimentos e Bebidas	4,9%	5,1%	5,2%	8,1%	7,7%	4,9%
Comercial	33,9%	34,0%	31,6%	30,4%	41,9%	41,8%
Energético	5,2%	5,7%	5,8%	5,6%	5,0%	4,0%
Minerais não metálicos	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Outras Indústrias	46,2%	45,1%	47,7%	45,6%	36,0%	38,5%
Papel e Celulose	0,4%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Público	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Químico	3,2%	3,3%	3,5%	3,6%	3,4%	3,5%
Têxtil	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%
Transporte	4,0%	4,0%	4,6%	3,9%	3,8%	4,3%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008/2009 (IBGE, 2011).

A Tabela 6B apresenta a participação relativa dos tipos de domicílio nos rendimentos de cada setor, com base na PNAD 2001 (seção 4.3.2).

Tabela 6B – Participação relativa dos tipos de domicílio nos rendimentos setoriais no Brasil, agregados em 12 setores — PNAD 2001

Setor	Tipo de domicílio						Total
	1 morador	2 moradores	3 moradores	4 moradores	5 moradores	6 moradores ou mais	
Agropecuário	4,9%	11,7%	23,5%	29,1%	16,0%	14,7%	100%
Alimentos e Bebidas	0,0%	9,5%	24,4%	27,7%	15,0%	23,4%	100%
Comercial	6,5%	15,7%	21,8%	32,3%	14,9%	8,7%	100%
Energético	3,9%	12,0%	26,7%	27,9%	16,9%	12,6%	100%
Minerais não metálicos	5,6%	17,5%	22,2%	21,8%	15,3%	17,7%	100%
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	5,5%	16,5%	23,4%	27,4%	15,3%	11,9%	100%
Outras Indústrias	3,3%	11,1%	22,6%	29,1%	22,3%	11,7%	100%
Papel e Celulose	2,3%	11,7%	22,1%	31,5%	17,5%	14,9%	100%
Público	3,8%	12,1%	23,0%	29,5%	17,0%	14,6%	100%
Químico	10,7%	10,6%	20,4%	29,2%	15,4%	13,6%	100%
Têxtil	9,0%	21,4%	22,4%	23,0%	13,2%	11,1%	100%
Transporte	11,0%	11,6%	23,3%	29,6%	12,0%	12,5%	100%

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2001 (IBGE, 2001).

A Tabela 7B apresenta a estrutura setorial dos rendimentos de cada tipo de domicílio com base na PNAD 2001.

Tabela 7B – Estrutura setorial dos rendimentos domiciliares por tipo de domicílio no Brasil, agregada em 12 setores — PNAD 2001

Setor	Tipo de domicílio					
	1 morador	2 moradores	3 moradores	4 moradores	5 moradores	6 moradores ou mais
Agropecuário	5,0%	5,7%	5,6%	4,8%	5,9%	8,3%
Alimentos e Bebidas	1,2%	1,1%	1,7%	1,8%	1,7%	1,9%
Comercial	39,5%	43,9%	47,3%	48,9%	47,8%	45,0%
Energético	0,3%	0,4%	0,6%	0,7%	0,9%	0,6%
Minerais não metálicos	0,2%	0,5%	0,7%	0,9%	0,8%	0,9%
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Outras Indústrias	6,3%	7,3%	10,6%	12,0%	12,1%	12,5%
Papel e Celulose	0,4%	0,1%	0,2%	0,3%	0,2%	0,2%
Público	45,2%	39,6%	31,6%	28,6%	28,7%	29,1%
Químico	1,2%	1,1%	1,1%	1,5%	1,2%	0,8%
Têxtil	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%
Transporte	0,5%	0,2%	0,3%	0,3%	0,2%	0,3%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2001 (IBGE, 2001).

A Tabela 8B reporta a participação relativa dos tipos de domicílio nos rendimentos setoriais com base na PNAD 2015.

Tabela 8B – Participação relativa dos tipos de domicílio nos rendimentos setoriais no Brasil, agregados em 12 setores — PNAD 2015

Setor	Tipo de domicílio						Total
	1 morador	2 moradores	3 moradores	4 moradores	5 moradores	6 moradores ou mais	
Agropecuário	8,3%	26,9%	25,3%	22,0%	9,9%	7,6%	100%
Alimentos e Bebidas	5,6%	19,9%	27,8%	26,8%	12,9%	7,0%	100%
Comercial	7,5%	23,1%	29,5%	24,1%	10,1%	5,7%	100%
Energético	6,0%	21,2%	30,7%	29,6%	8,6%	3,9%	100%
Minerais não metálicos	4,6%	19,4%	27,8%	30,0%	10,7%	7,4%	100%
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	4,7%	15,3%	30,8%	30,9%	12,4%	5,9%	100%
Outras Indústrias	6,9%	19,6%	28,4%	25,8%	11,0%	8,3%	100%
Papel e Celulose	3,9%	19,8%	23,6%	33,6%	14,3%	4,8%	100%
Público	9,6%	23,2%	28,1%	25,2%	9,0%	4,9%	100%
Químico	5,8%	23,0%	31,9%	24,8%	9,8%	4,7%	100%
Têxtil	9,1%	24,8%	28,3%	23,4%	8,8%	5,6%	100%
Transporte	5,2%	19,3%	30,7%	27,2%	10,6%	7,0%	100%

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2015 (IBGE, 2016).

A Tabela 9B reporta a estrutura setorial dos rendimentos de cada tipo de domicílio com base na PNAD 2015.

Tabela 9B – Estrutura setorial dos rendimentos domiciliares por tipo de domicílio no Brasil, agregada em 12 setores — PNAD 2015

Setor	Tipo de domicílio					
	1 morador	2 moradores	3 moradores	4 moradores	5 moradores	6 moradores ou mais
Agropecuário	7,1%	7,9%	5,8%	5,8%	6,5%	8,2%
Alimentos e Bebidas	1,2%	1,4%	1,6%	1,8%	2,1%	1,9%
Comercial	47,2%	49,4%	49,4%	46,8%	48,3%	45,3%
Energético	0,8%	1,0%	1,1%	1,2%	0,9%	0,7%
Minerais não metálicos	0,4%	0,6%	0,7%	0,8%	0,7%	0,8%
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	0,8%	0,9%	1,5%	1,7%	1,7%	1,3%
Outras Indústrias	11,9%	11,5%	13,0%	13,8%	14,5%	18,1%
Papel e Celulose	0,1%	0,2%	0,2%	0,4%	0,4%	0,2%
Público	25,8%	21,2%	20,0%	20,9%	18,4%	16,7%
Químico	0,9%	1,3%	1,4%	1,2%	1,2%	1,0%
Têxtil	0,5%	0,5%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%
Transporte	3,1%	4,0%	5,0%	5,1%	4,9%	5,4%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2015 (IBGE, 2016).

A Tabela 10B apresenta a participação de cada tipo de domicílio no consumo de energia elétrica da POF, o consumo residencial do BEN atribuído a cada tipo e o coeficiente direto resultante (seção 4.3.1).

Tabela 10B – Participação dos tipos de domicílio no consumo de energia elétrica da POF, consumo residencial do BEN atribuído e coeficiente direto no Brasil em 2000 e 2015

Tipo de domicílio	Part. POF 2002/03 (%)	BEN 2000 (milhões de MWh)	Coeficiente direto 2000 (MWh por milhão de R$ de 2000)	Part. POF 2008/09 (%)	BEN 2015 (milhões de MWh)	Coeficiente direto 2015 (MWh por milhão de R$ de 2000)
1 morador	6,8	5,68	92,8	8,1	10,59	86,5
2 moradores	16,9	14,16	115,8	20,4	26,77	112,1
3 moradores	23,0	19,21	123,4	25,6	33,58	160,5
4 moradores	26,0	21,78	137,4	25,3	33,25	166,2
5 moradores	15,0	12,56	145,5	11,9	15,63	107,8
6 moradores ou mais	12,2	10,22	140,3	8,7	11,39	144,3
Total	100,0	83,61	127,3	100,0	131,20	131,9

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa, com base no Balanço Energético Nacional (BEN) e nas POF 2002/2003 e 2008/2009.

A Tabela 11B detalha o requerimento de energia elétrica em nível, total, direto e indireto, por setor de origem e tipo de domicílio, nos modelos aberto e fechado (seção 4.4.1).

Tabela 11B – Requerimento de energia elétrica em nível, total, direto e indireto, segundo o setor de origem e o tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 – modelos aberto e fechado (milhões de MWh)

Setor de origem	Tipo de domicílio						Total
	1	2	3	4	5	6+	
2000 – modelo aberto							
Agropecuário	0,58	1,37	1,96	2,18	1,30	1,20	8,59
Alimentos e Bebidas	0,92	2,05	2,96	3,18	1,78	1,54	12,44
Comercial	3,61	6,99	8,77	8,81	4,72	3,84	36,74
Energético	0,62	1,23	1,56	1,58	0,87	0,72	6,58
Minerais não metálicos	0,45	0,92	1,18	1,21	0,67	0,57	5,00
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	1,08	2,20	2,84	2,91	1,62	1,39	12,03
Outras Indústrias	0,92	1,82	2,30	2,34	1,29	1,10	9,76
Papel e Celulose	0,48	0,96	1,25	1,26	0,70	0,61	5,26
Público	0,38	0,90	1,06	1,07	0,54	0,50	4,46
Químico	0,81	1,65	2,17	2,24	1,27	1,13	9,28
Transporte	0,08	0,16	0,20	0,21	0,12	0,11	0,87
Têxtil	0,35	0,67	0,86	0,89	0,48	0,42	3,68
Indireto (total)	10,28	20,92	27,12	27,88	15,35	13,13	114,67
Direto	5,68	14,16	19,21	21,78	12,56	10,22	83,61
Total	15,96	35,08	46,33	49,65	27,92	23,35	198,29
2000 – modelo fechado							
Agropecuário	0,59	1,43	2,10	2,37	1,36	1,25	9,10
Alimentos e Bebidas	0,94	2,15	3,18	3,45	1,87	1,60	13,18
Comercial	3,67	7,34	9,40	9,57	4,94	3,99	38,91
Energético	0,63	1,29	1,68	1,72	0,91	0,75	6,97
Minerais não metálicos	0,46	0,96	1,26	1,32	0,70	0,59	5,29
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	1,10	2,31	3,04	3,16	1,69	1,44	12,74
Outras Indústrias	0,93	1,91	2,47	2,54	1,35	1,14	10,34
Papel e Celulose	0,49	1,00	1,34	1,37	0,73	0,63	5,57
Público	0,39	0,95	1,13	1,16	0,57	0,52	4,72
Químico	0,83	1,73	2,33	2,44	1,33	1,17	9,82
Transporte	0,08	0,16	0,22	0,23	0,12	0,11	0,92
Têxtil	0,36	0,70	0,93	0,97	0,50	0,44	3,89
Indireto (total)	10,46	21,95	29,08	30,28	16,06	13,64	121,46
Direto	5,78	14,86	20,60	23,65	13,14	10,62	88,65
Total	16,24	36,80	49,68	53,93	29,20	24,26	210,11
2015 – modelo aberto							
Agropecuário	1,82	3,66	2,46	3,77	2,03	1,13	14,87
Alimentos e Bebidas	2,00	3,98	3,71	5,00	2,99	1,16	18,85
Comercial	8,57	16,54	14,37	13,02	10,47	5,83	68,80
Energético	2,83	5,78	5,31	4,96	2,96	1,48	23,32

(continua)

(continuação)

Setor de origem	Tipo de domicílio						Total
	1	2	3	4	5	6+	
2000 – modelo aberto							
Minerais não metálicos	0,98	1,87	1,72	1,69	0,96	0,53	7,74
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	1,33	2,69	2,46	2,41	1,42	0,78	11,09
Outras Indústrias	1,58	2,99	2,86	2,55	1,39	0,81	12,17
Papel e Celulose	1,11	2,21	2,03	2,00	1,29	0,69	9,33
Público	0,23	0,53	0,45	0,51	0,42	0,16	2,30
Químico	1,45	2,86	2,55	2,67	1,60	0,87	12,01
Transporte	0,16	0,31	0,30	0,28	0,18	0,10	1,33
Têxtil	0,48	0,93	0,85	0,75	0,40	0,29	3,70
Indireto (total)	22,54	44,36	39,08	39,61	26,10	13,82	185,51
Direto	10,59	26,77	33,58	33,25	15,63	11,39	131,20
Total	33,13	71,13	72,66	72,86	41,73	25,21	316,71
2015 – modelo fechado							
Agropecuário	1,87	3,93	2,69	4,06	2,09	1,15	15,79
Alimentos e Bebidas	2,05	4,27	4,06	5,39	3,09	1,18	20,04
Comercial	8,78	17,74	15,72	14,03	10,81	5,94	73,02
Energético	2,90	6,20	5,81	5,34	3,05	1,51	24,81
Minerais não metálicos	1,00	2,01	1,88	1,82	0,99	0,54	8,24
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	1,36	2,88	2,69	2,60	1,47	0,79	11,80
Outras Indústrias	1,61	3,20	3,13	2,75	1,43	0,82	12,95
Papel e Celulose	1,14	2,38	2,22	2,15	1,33	0,70	9,92
Público	0,23	0,57	0,50	0,55	0,44	0,16	2,45
Químico	1,49	3,07	2,79	2,87	1,65	0,89	12,76
Transporte	0,16	0,34	0,33	0,30	0,18	0,10	1,41
Têxtil	0,49	1,00	0,93	0,81	0,42	0,29	3,94
Indireto (total)	23,09	47,59	42,74	42,66	26,95	14,10	197,12
Direto	10,85	28,71	36,72	35,80	16,14	11,62	139,84
Total	33,94	76,30	79,46	78,46	43,08	25,72	336,96

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.
Nota: 1 a 6+: de 1 morador a 6 moradores ou mais.

A Tabela 12B apresenta os multiplicadores setoriais de energia elétrica nos modelos aberto e fechado em 2000 e 2015 (seção 4.4.1).

Tabela 12B – Multiplicadores setoriais de energia elétrica nos modelos aberto e fechado no Brasil em 2000 e 2015 (MWh por milhão de R$ de 2000)

Setor	**2000**			**2015**		
	Aberto	**Própria (%)**	**Induz. máx. (%)**	**Aberto**	**Própria (%)**	**Induz. máx. (%)**
Papel e Celulose	817	69	3,1	1.102	81	2,8
Minerais não metálicos	994	79	3,3	953	75	3,9
Não ferrosos e Metalurgia	1.073	72	2,4	751	72	4,1
Têxtil	477	66	5,1	675	68	5,3
Alimentos e Bebidas	317	41	8,4	337	40	8,7
Químico	322	50	8,1	320	55	9,1
Energético	293	44	5,1	314	46	6,0
Agropecuário	227	59	10,7	291	63	6,5
Outras Indústrias	284	30	9,2	273	37	12,1
Público	155	64	24,9	154	73	34,7
Comercial	118	55	22,8	126	59	27,4
Transporte	89	15	33,5	104	13	28,8

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.
Nota: Própria: participação do coeficiente do próprio setor no multiplicador; Induz. máx.: maior acréscimo do modelo fechado sobre o aberto entre os tipos de domicílio.

A Tabela 13B apresenta os multiplicadores setoriais de energia elétrica nos modelos aberto e fechado por tipo de domicílio, discutidos na seção 4.4.1.

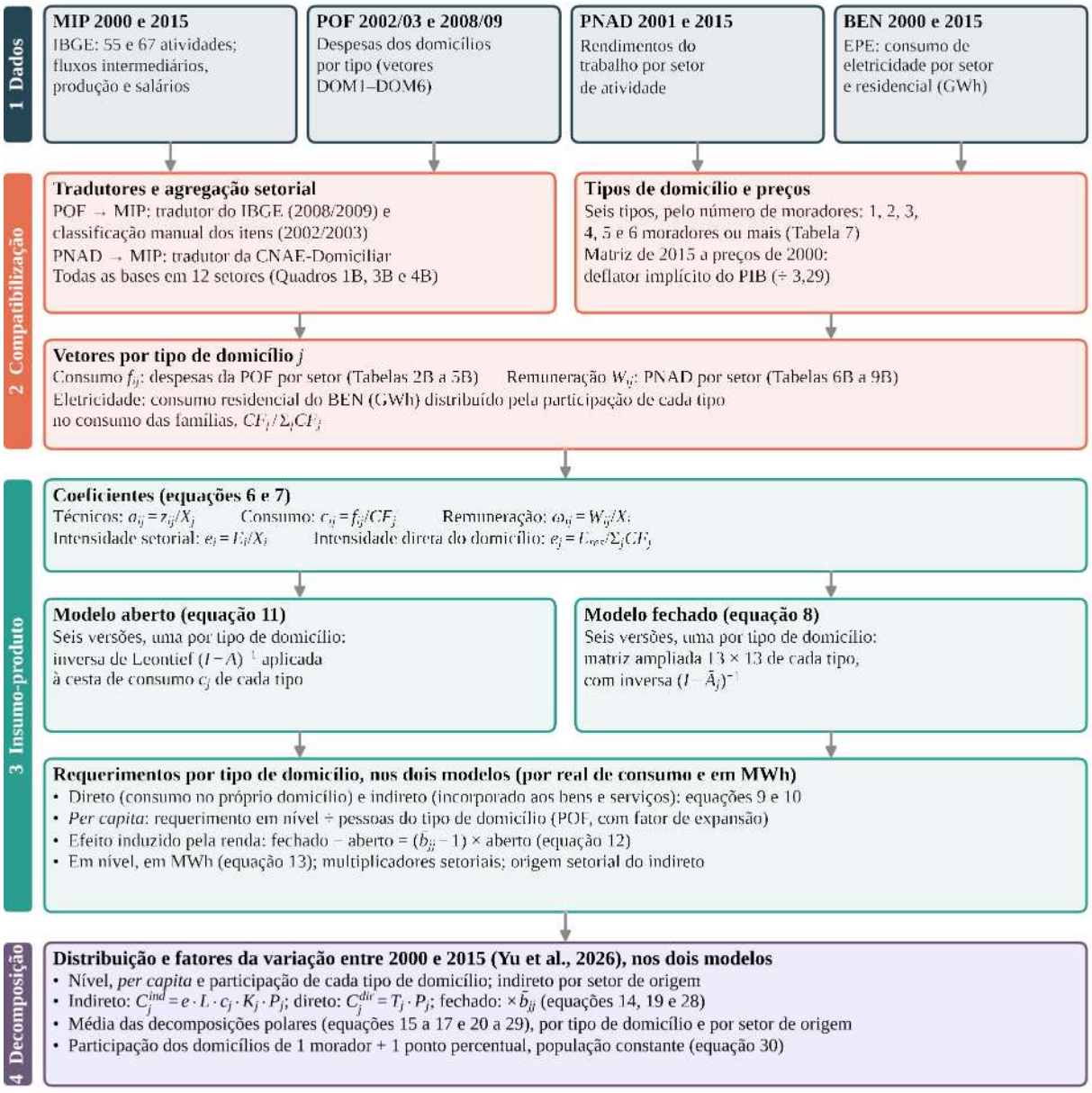
Tabela 13B – Multiplicadores setoriais de energia elétrica no modelo aberto e no modelo fechado por tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015 (MWh por milhão de R$ de 2000)

Setor	Ano	Aberto	Fechado, por tipo de domicílio					
			1	2	3	4	5	6+
Papel e Celulose	2000	817	823	827	835	842	830	828
	2015	1.102	1.107	1.120	1.129	1.133	1.112	1.107
Minerais não metálicos	2000	994	998	1.008	1.018	1.027	1.012	1.009
	2015	953	958	975	989	990	963	960
Não ferrosos e Outros da Metalurgia	2000	1.073	1.076	1.084	1.094	1.099	1.087	1.090
	2015	751	756	768	782	781	760	757
Têxtil	2000	477	481	488	498	502	491	488
	2015	675	683	700	711	706	684	681
Alimentos e Bebidas	2000	317	321	330	338	343	332	331
	2015	337	342	356	366	364	346	343
Químico	2000	322	326	334	340	348	335	331
	2015	320	324	338	349	344	327	324
Energético	2000	293	295	300	305	308	302	300
	2015	314	317	325	332	331	318	317
Agropecuário	2000	227	232	243	249	252	243	244
	2015	291	295	305	310	307	296	295
Outras Indústrias	2000	284	287	294	303	310	298	296
	2015	273	279	293	306	303	282	280
Público	2000	155	165	184	189	193	176	172
	2015	154	178	206	208	195	167	164
Comercial	2000	118	123	133	140	145	133	130
	2015	126	133	150	161	156	136	133
Transporte	2000	89	96	100	111	118	102	101
	2015	104	109	121	134	131	112	110

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa.
Nota: 1 a 6+: de 1 morador a 6 moradores ou mais.

A Figura 1B resume as etapas metodológicas da Análise 2 descritas na seção 4.3, da compatibilização das bases de dados ao cálculo dos requerimentos nos modelos aberto e fechado.

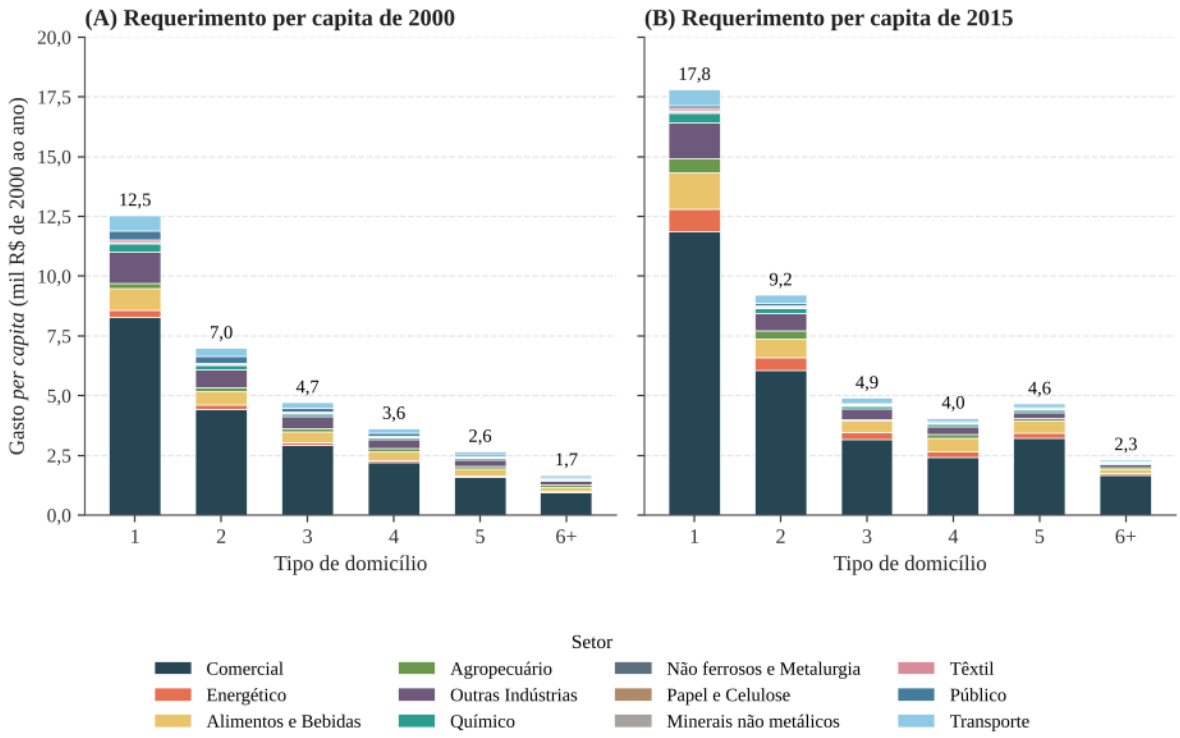
Figura 1B – Etapas da análise de insumo-produto: dos dados ao cálculo dos requerimentos



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 2B apresenta o gasto *per capita* em consumo final e sua composição setorial por tipo de domicílio em 2000 e 2015, determinante do requerimento total *per capita* discutido na seção 4.4.1.

Figura 2B – Gasto *per capita* em consumo final e sua composição setorial, por tipo de domicílio no Brasil em 2000 e 2015



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos resultados da pesquisa, com base nas POF 2002/2003 e 2008/2009 e nas Matrizes de Insumo-Produto de 2000 e 2015.
Nota: valores sobre as barras: gasto *per capita* total; 1 a 6+: de 1 morador a 6 moradores ou mais.