

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

ELIZÂNGELA APARECIDA DOS SANTOS

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESIGUALDADE DE RENDA: QUAL É O PAPEL
DAS DESPESAS FAMILIARES?**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

ELIZÂNGELA APARECIDA DOS SANTOS

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESIGUALDADE DE RENDA: QUAL É O PAPEL
DAS DESPESAS FAMILIARES?**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Dênis Antônio da Cunha

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Santos, Elizângela Aparecida dos, 1993-
S237m Mudanças climáticas e desigualdade de renda: qual é o
2023 papel das despesas familiares? / Elizângela Aparecida dos
Santos. – Viçosa, MG, 2023.
1 tese eletrônica (108 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Dênis Antônio da Cunha.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Economia Rural, 2023.

Referências bibliográficas: f. 81-94.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.094>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Famílias - Aspectos econômicos. 2. Consumo
(Economia). 3. Gases do efeito estufa. 4. Mudanças climáticas.
5. Renda - Distribuição. I. Cunha, Dênis Antônio da, 1983-
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Economia
Rural. Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada.
III. Título.

CDD 22. ed. 339.47

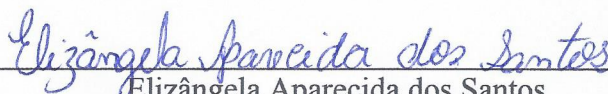
ELIZÂNGELA APARECIDA DOS SANTOS

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESIGUALDADE DE RENDA: QUAL É O PAPEL
DAS DESPESAS FAMILIARES?**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2023

Assentimento:



Elizângela Aparecida dos Santos

Autora



Documento assinado digitalmente
DENIS ANTONIO DA CUNHA
Data: 07/03/2023 14:54:10-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dênis Antônio da Cunha
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu guia de fé.

Aos meus pais, Sebastião e Maria Marta, por todo amor transmitido.

Aos meus irmãos, irmãs, sobrinhos e sobrinhas, por todo carinho. Que sorte a minha em tê-los!

Ao meu orientador de longa data, Dênis Cunha, por todo conhecimento compartilhado.

Aos demais professores, funcionários e amigos do Departamento de Economia Rural, que tanto contribuíram para a minha formação.

A todos os amigos que com sua companhia tornaram essa fase mais leve.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

DOS SANTOS, Elizângela Aparecida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2023. **Mudanças climáticas e desigualdade de renda: qual é o papel das despesas familiares?** Orientador: Dênis Antônio da Cunha

O desenvolvimento sustentável é um dos grandes desafios enfrentados pela comunidade global no século XXI, já que requer a conciliação entre crescimento econômico, melhoria das condições sociais e do bem-estar humano e conservação ambiental. Os padrões e os estilos de vida das famílias impulsionam as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) incorporadas na cadeia produtiva, de modo que, atingir a meta climática sem alterar o consumo doméstico é praticamente impossível. Assim, esta pesquisa teve como objetivo analisar a relação entre desigualdade de renda e emissões de GEEs pelas famílias brasileiras. Mais especificamente, foram estimadas e analisadas as intensidades das emissões de GEEs associadas aos gastos com bens de consumo das famílias brasileiras, assim como as emissões totais via Curva Ambiental de Engel (CAE). A existência do “dilema de equidade e poluição” foi verificada no Brasil em diferentes níveis de distribuição de renda e como estes poderiam afetar as emissões de GEEs via consumo familiar. Para alcançar estes objetivos, um amplo conjunto de dados envolvendo gastos de consumo, despesa e renda foram extraídos da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) 2008-2009 e 2017-2018, os quais foram vinculados à matriz insumo-produto do Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS/USP), em conjunto com os dados das contas ambientais da *World Input-Output Database* (WIOD) e do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Metodologicamente, as intensidades de emissão de cada setor econômico foram atribuídas aos específicos gastos das famílias. Assim, foram estimadas as CAEs para os anos 2009 e 2018. O “dilema de equidade e poluição” foi quantificado a partir das estimativas das CAEs quadráticas. Os principais resultados demonstram que as emissões médias das famílias brasileiras diminuíram 41% de 2009 para 2018. No entanto, se a tecnologia permanecesse inalterada essa queda seria de apenas 4%. As cestas das famílias brasileiras, em média, ficaram menos intensivas. Em todos os setores de consumo das famílias houve queda nas intensidades de emissão. Porém, devido ao elevado consumo, os setores de Alimentos e Serviços de Transportes foram responsáveis por quase a metade das emissões domésticas nos dois períodos analisados. Em direção oposta à tecnologia, o crescimento da renda em si proporciona aumento das emissões domésticas, principalmente nas classes mais baixas. As CAEs demonstram que rendas mais altas estão relacionadas com

maiores emissões domésticas de CO₂. No entanto, à medida que a renda cresce, as emissões aumentam menos que proporcionalmente. Em 2018, os 10% mais ricos emitiram mais do que a metade da população mais pobre em conjunto. Logo, há grande desigualdade de emissões, devido, principalmente, à má distribuição de renda. Os resultados referentes ao “dilema” indicam que redistribuição marginal da renda provoca pouco aumento nas emissões médias. Por outro lado, o combate à desigualdade de renda de forma ampla não impacta nas emissões. Assim, esta pesquisa demonstrou que os objetivos de melhorar a distribuição de renda e reduzir emissões de GEE não são antagônicos.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Consumo das famílias. Emissões domésticas. Desigualdade

ABSTRACT

DOS SANTOS, Elizângela Aparecida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2023. **Climate change and income inequality: what is the role of household expenses?** Adviser: Dênis Antônio da Cunha.

Sustainable development is one of the great challenges faced by the global community in the 21st century, as it requires reconciling economic growth, improving social conditions and human well-being, and environmental conservation. The standards and lifestyles of families drive Greenhouse Gas (GHG) emissions incorporated into the production chain, so that achieving the climate target without changing domestic consumption is practically impossible. Thus, this research aimed to analyze the relationship between income inequality and GHG emissions by Brazilian families. More specifically, the intensities of GHG emissions associated with spending on consumer goods by Brazilian families were estimated and analyzed, as well as total emissions via the Engel Environmental Curve (EEC). The existence of the “equity and pollution dilemma” was verified in Brazil at different levels of income distribution and how these could affect GHG emissions via household consumption. To achieve these objectives, a broad set of data involving consumption, expenditure and income was extracted from the 2008-2009 and 2017-2018 *Pesquisa de Orçamento Familiar* (POF), which were linked to the input-output matrix of the *Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo* (NEREUS/USP), together with data from environmental accounts from the World Input-Output Database (WIOD) and the *Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa* (SEEG). Methodologically, the emission intensities of each economic sector were attributed to specific household expenditures. Thus, the EECs were estimated for the years 2009 and 2018. The “equity and pollution dilemma” was quantified from the estimates of the quadratic EECs. The main results show that the average emissions of Brazilian households decreased by 41% from 2009 to 2018. However, if technology remained unchanged, this drop would be only 4%. The baskets of Brazilian families, on average, became less intensive. In all household consumption sectors there was a drop in emission intensities. However, due to high consumption, the Food and Transport Services sectors were responsible for almost half of domestic emissions in the two analyzed periods. In the opposite direction to technology, income growth in itself provides an increase in domestic emissions, mainly in the lower classes. EECs demonstrate that higher incomes are related to higher domestic CO₂ emissions. However, as income grows, emissions increase less than proportionately. In 2018, the richest 10% issued

more than half of the poorest population combined. Therefore, there is great inequality in emissions, mainly due to poor income distribution. The results referring to the “dilemma” indicate that marginal redistribution of income causes little increase in average emissions. On the other hand, the fight against income inequality in a broad way does not impact emissions. Thus, estimates suggest that it is possible to combat income inequality without intensifying emissions via consumption. Thus, this research demonstrated that the objectives of improving income distribution and reducing GHG emissions are not antagonistic.

Keywords: Climate change. Household consumption. Domestic emissions. Inequality

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Considerações iniciais	9
1.2 Hipótese	13
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo geral	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Poluição e renda	14
2.2 Curvas de Engel.....	17
3. METODOLOGIA.....	18
3.1 Emissão de GEE via consumo das famílias brasileiras	18
3.1.1 Estimativa de cálculo de emissões domésticas de CO ₂ (diretas + indiretas) ano 2009.....	19
3.1.2 Estimativa de cálculo de emissões domésticas de CO ₂ (diretas + indiretas) ano 2018.....	21
3.1.3 Consolidação das bases de dados para a estimativa de intensidade de emissão indireta.....	24
3.2 Curva Ambiental de Engel (CAE).....	30
3.2.1 Decomposição de Oaxaca-Blinder.....	32
3.2.2 Decomposição da desigualdade das emissões de CO ₂ doméstico.....	33
3.3 Dilema de “equidade e poluição” de Sager (2019)	34
4. RESULTADOS	36
4.1 Estimativa das emissões de CO ₂ das famílias brasileiras	36
4.2 Curva Ambiental de Engel (CAE)	46
4.2.1 Curva ambiental de Engel (CAE) não paramétrica	46
4.2.2 Deslocamento das CAEs.	48
4.2.3 Curvas Ambientais de Engel (CAEs) paramétricas	51
4.2.4 Movimento ao longo das CAEs.	53
4.2.5 Decomposição da desigualdade das emissões de CO ₂ doméstico.....	54
4.3 Dilema “equidade-poluição”	55
5. DISCUSSÃO	57
5.1 Os <i>drivers</i> das emissões domésticas brasileira.	57
5.2 A desigualdade de carbono das famílias brasileiras.	62
5.3 A queda nas intensidades de emissão dos setores da economia brasileira.....	65
5.4 O comportamento do consumidor como solução para as emissões domésticas.....	69
5.5 O combate à desigualdade de renda é essencial para as mudanças climáticas.	72
6. CONCLUSÃO	78
REFERÊNCIAS	81
APÊNDICE	95

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O desenvolvimento sustentável é um dos grandes desafios enfrentados pela comunidade global no século XXI, já que requer a conciliação entre crescimento econômico, melhoria das condições sociais e do bem-estar humano e conservação ambiental. Esse debate, atualmente centrado nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, está diretamente ligado à análise econômica, já que envolve, entre outras ações, redução de desigualdades de renda, erradicação da pobreza e da insegurança alimentar, produção e consumo sustentáveis e combate à mudança climática (ONU, 2015; 2019).

Há na literatura econômica um debate segundo o qual a diminuição da desigualdade de renda e o aumento da renda da população mais pobre podem gerar degradação ambiental, mediante o comportamento do consumo e preferências econômicas individuais (Boyce, 1994; Laurent, 2015; Sager, 2019; Liu et al., 2020a; Uzar, 2020; Churchill et al., 2021). A degradação ambiental pode ser definida como qualquer perturbação indesejável no meio ambiente que cause ou acelere o esgotamento de recursos do solo, ar e água, bem como destruição de ecossistemas, extinção de espécies e poluição atmosférica (Johnson et al., 1997). O grau de degradação pode ser medido por diferentes indicadores, como por exemplo, o uso de recursos hídricos (*water footprint*), capacidade regenerativa da terra (*ecological footprints*) e emissões de GEEs (*carbon footprint*).

Nesta pesquisa o foco são as emissões de GEEs, partindo-se do pressuposto de que o rápido aumento da produção e do consumo resultam em maior *carbon footprint* (Uzar, 2020). Há evidências de que as emissões de GEEs se intensificam à medida que a renda *per capita* aumenta (Gertler et al., 2016; Levinson e O'Brien, 2019; Sager, 2019; Baudino, 2020). Também vem sendo demonstrado que a desigualdade de renda afeta o consumo de bens e serviços com diferentes níveis de intensidade de emissão (Liu et al., 2020b).

Diante disso, a relação entre variações na renda e variação nas emissões de GEEs configura-se como importante questão de pesquisa. Dado que a pobreza e a concentração de renda, bem como a mudança climática, constituem-se como problemas globais de grande urgência, o interesse por essas questões se intensificou (Uzar, 2020). Alguns estudos indicaram que redução da desigualdade de renda influencia no combate às emissões de GEEs, gerando mais qualidade ambiental (Golley e Meng, 2012; Baek e Gweisah, 2013; Jorgenson, 2015; Uzar e Eyuboglu, 2019). Porém, outros demonstraram que a desigualdade de renda desempenha, em partes, papel substancial na prevenção da degradação ambiental (Ravallion et al., 2000; Heerink

et al., 2001; Golley e Meng, 2012; Wolde-Rufael e Idowu, 2017). Essa ambiguidade na relação entre desigualdade de renda e qualidade ambiental foi evidenciada também por Grunewald et al. (2017), porém, diferentemente das conclusões anteriores, esses autores identificaram que a associação entre desigualdade de renda e emissões depende dos níveis iniciais de renda. Assim, em países com níveis de renda mais baixos, a maior desigualdade reduz as emissões, enquanto que naqueles com níveis de renda mais elevados o efeito é contrário (Grunewald et al., 2017).

Logo, nos países pobres e em desenvolvimento, a concentração de renda pode estar associada a baixos níveis de emissão de GEEs, o que indica a existência de possível *trade-off* entre desigualdade de renda e degradação ambiental (Heerink et al., 2001; Grunewald et al., 2017). Essa discussão foi abordada inicialmente na literatura por Scruggs (1998) e, recentemente, por Sager (2019), que denominou o fenômeno de “dilema da equidade e poluição”¹.

As emissões de GEEs associadas ao consumo doméstico das famílias são originadas dos processos industriais e agrícolas necessários para produção de bens e serviços adquiridos pelas famílias e aos subprodutos de atividades domiciliares poluentes (Baiocchi et al., 2010; Buchs e Schnepf, 2013; Baudino, 2020). As famílias geram poluição tanto diretamente, por consequência de suas atividades, quanto indiretamente, por meio do consumo de produtos cuja produção é mais ou menos poluidora (Levinson e O’Brien, 2019).

A relação entre poluição doméstica e desigualdade de renda encontrada por Sager (2019) demonstra que a redistribuição progressiva da renda, ou seja, a redução marginal da desigualdade entre ricos e pobres poderia, em partes, intensificar as emissões domésticas de GEE (Sager, 2019). Isso porque o aumento das emissões resultante do consumo adicional da família pobre devido a um aumento marginal na renda é maior do que a redução do consumo da família rica. Outros estudos também demonstraram que as mudanças no padrão de consumo das famílias, causado pela desigualdade de renda, poderiam resultar em emissões mais intensivas em classes sociais mais baixas (Liu et al., 2020b).

Assim, não somente a desigualdade de renda influenciaria nas emissões domésticas de GEE, mas também o crescimento da renda das famílias. A renda e os gastos dos indivíduos são os preditores mais fortes de GEE das famílias (Weber e Matthews, 2008; Sager, 2019). As

¹ É importante destacar que o relacionamento entre degradação e equidade é complexo, devido a diversas interações existentes (Scruggs, 1998). Quando a degradação é analisada em níveis agregados de poluição, por exemplo, os resultados tendem a não ser conclusivos, logo, o relacionamento ideal entre degradação e desigualdade de renda poderia ser analisado com algum tipo específico de poluição, como aquela resultante do consumo doméstico (Sager, 2019). Muitos estudos relacionaram as emissões agregadas com a desigualdade de renda dos países por meio da Curva Ambiental de Kuznets. Diferentemente das curvas ambientais de Kuznets, a pesquisa neste estudo tem como foco uma análise micro familiar com um tipo específico de poluição.

despesas das famílias de baixa renda tendem a apresentar maior intensidade de emissões quando comparadas com as das famílias de renda elevada, o que implica que famílias de baixa renda poderia ser mais afetadas por políticas ambientais (Sager, 2019).

Essa relação entre variação da renda das famílias e emissões domésticas de GEEs pode ser evidenciada pela Curva Ambiental de Engel (CAE). As Curvas Ambientais de Engel (CAEs) mostram a relação entre os rendimentos das famílias e a quantidade de poluição incorporada nos bens e serviços que consomem e permitem avaliar mudanças nas preferências das famílias por bens de qualidade ambiental após variação na renda domiciliar, mantendo preços e tecnologias fixas (Levinson e O'Brien, 2019; Baudino, 2020). Nos últimos anos, algumas pesquisas se empenharam para investigar a relação entre emissões de origem das famílias e a renda domiciliar (Gertler et al., 2016; Bimonte e Stabile, 2017; Levinson e O'Brien, 2019, Sager, 2019; Baudino, 2020). A maioria desses estudos concluíram que até certo nível de renda, a relação evidenciada pela CAE demonstra que níveis crescentes de renda aumentam a demanda por bens intensivos em GEE. Entretanto, a partir desse nível de renda, as famílias mais ricas tendem a demandar produtos com mais qualidade ambiental. Porém, outros estudos identificaram que esse comportamento nem sempre ocorre, e que as famílias mais ricas não necessariamente estão associadas a maior demanda por qualidade ambiental (Bimonte e Stabile, 2017; Baudino, 2020).

Embora as emissões de GEEs estejam correlacionadas com a renda, o resultado dessa relação pode gerar efeitos muito distintos, a depender do nível inicial da renda das famílias (Sager, 2019) e também do país. Assim, aumentos de renda em classes sociais mais baixas podem ou não gerar carga de poluição proporcionalmente maior do que o mesmo aumento em classes sociais mais altas. Esse comportamento de consumo familiar pode ser afetado por características pessoais e sociodemográficas (Gatersleben et al, 2002; Borghans et al., 2008; Baudino, 2020).

As análises de emissões domésticas e sua relação com a renda do Brasil apresentaram resultados anteriores a 2009, período em que o país experimentou rápido crescimento econômico e melhoria nos indicadores de concentração de renda (Perobelli et al., 2015; Silva et al., 2021). Na primeira década dos anos 2000, o Brasil apresentou crescimento na renda média da população igual a 30%, e, ao mesmo tempo, declínio nas taxas de desigualdade de renda. Entre 2012 e 2014 o país continuou crescendo, ainda que a taxas menores. Porém, a partir de 2014, houve uma estagnação na economia nacional, com queda na renda domiciliar *per capita* e crescimento na desigualdade (Souza et al., 2019; IBGE, 2019). Em 2018 o Brasil

alcançou a maior desigualdade de renda, medida pelo Índice de Gini, igual a 0,545 (IBGE, 2019; Barbosa et al., 2020; IPEA, 2021).

Os resultados das pesquisas de Perobelli et al. (2015) e Silva et al. (2021) em relação ao Brasil, demonstraram que existe correlação entre renda, consumo e emissões domésticas de GEEs, sendo que o aumento de renda em classes mais altas diminui a intensidade de emissão via consumo, e que as classes de renda mais baixa emitem menos em relação às classes de níveis elevados (Perobelli et al., 2015). As cestas de consumo com bens intensivos em emissões de GEEs, como carnes, combustíveis e vestuário, podem intensificar ainda mais as emissões com aumentos crescentes da renda (Tilman et al., 2011; Perobelli et al., 2015; Travassos et al., 2020) e que a composição do arranjo familiar e a faixa etária dos indivíduos levam a comportamentos distintos de consumo (Carvalho et al., 2020).

Diante do exposto, a questão de pesquisa a qual o presente trabalho respondeu é se no Brasil, a redução da desigualdade de renda poderia aumentar as emissões domésticas das famílias. Em outras palavras, o “dilema de equidade e poluição” é válido para as famílias brasileiras? Evidências empíricas do Brasil indicam que a desigualdade de renda entre os anos 2008-2016 apresentou relacionamento negativo com as emissões agregadas de GEE². Ademais, diferentemente dos estudos anteriores, esta pesquisa investiga a relação entre renda e emissão no cenário econômico atual das famílias brasileiras, o qual demonstra comportamento de crescimento socioeconômico diferente dos anos anteriores. Além disso, os estudos anteriores não analisaram a possível existência do “dilema da equidade e poluição”, tampouco estimaram a Curva Ambiental de Engel. Logo, entender se essa relação de fato ocorreu para as emissões de GEEs originárias do consumo das famílias nos anos recentes poderá contribuir de maneira significativa com a literatura sobre desigualdade de renda e mudanças climáticas, uma vez que uma abordagem recente do possível dilema e da CAE em um país em desenvolvimento é desconhecida.

Em termos de políticas públicas, os resultados desta pesquisa podem subsidiar tanto políticas do lado da oferta, como subsídios para produções mais limpas, como também políticas do lado da demanda, a exemplo, a promoção de conscientização do consumo sustentável, por meio da propagação de rotulagens ambientais. A análise do “dilema” usando microdados brasileiros permitiu compreender ainda a magnitude da relação entre menor desigualdade e emissão de GEEs das famílias. A desigualdade de renda e suas consequências ambientais são

² Os dados para essa relação correspondem ao índice de Gini divulgado pelo Banco Mundial e as emissões totais de GEE em Dióxido de carbono equivalente (CO₂e) (GWP SAR), excluindo o setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF), divulgado pelo Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE).

temas relevantes que merecem mais atenção, principalmente com relação ao micro comportamento do consumo familiar. De modo geral, entender como a desigualdade de renda afeta os resultados ambientais é útil para subsidiar políticas de renda e bem-estar mais assertivas, associando objetivos econômicos, sociais e ambientais.

O Brasil é um país em desenvolvimento, com elevada desigualdade de renda³, além disso, apresenta grande heterogeneidade de aspectos climáticos entre as regiões e comportamentos culturais de consumo distintos. Essas características físicas, socioeconômicas e culturais refletem em diferentes níveis de intensidade de emissão via consumo doméstico e que merecem mais atenção. A sensibilidade das famílias perante as questões ambientais representa fator de relevância que deve ser considerado nas políticas voltadas à redução de emissões (*Organisation for Economic Cooperation and Development - OECD*, 2014, Dubois, 2019; Baudino, 2020).

1.2 Hipótese

A redistribuição progressiva da renda às famílias brasileiras aumenta as emissões domésticas de GEEs.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste estudo foi estabelecer e analisar a relação entre desigualdade de renda e emissões de GEEs pelas famílias brasileiras.

1.3.2 Objetivos Específicos

- i. Estimar a intensidade das emissões de GEEs associada aos gastos com bens de consumo das famílias brasileiras;
- ii. Analisar o comportamento das emissões totais de GEEs associado ao consumo das famílias brasileiras via Curva Ambiental de Engel;
- iii. Verificar a existência do “dilema de equidade e poluição” no Brasil.

³ O índice de Gini do Brasil em 2017 correspondeu a 0,53, classificando o Brasil como o sétimo país mais desigual do mundo (World Bank, 2018).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção apresenta os aspectos teóricos que norteiam a análise da relação de consumo das famílias e poluição, seguindo o modelo teórico proposto por Brännlund e Ghalwash (2008), e os aspectos teóricos referentes à tradicional Curva de Engel. Dessa forma, será possível determinar como as escolhas dos bens de consumo pelas famílias em diferentes níveis de renda implicam em níveis diferenciados de emissões de GEEs. Vale lembrar que o modelo de Brännlund e Ghalwash (2008) considera implicitamente a pressuposição teórica de que o comportamento do consumidor está associado às suas preferências e possibilidades. Além disso, a demanda das famílias é construída sobre o pressuposto de um orçamento linear, em condições de igualdade, justificada se estas atingirem o limite superior de seu conjunto de oportunidades, o que implica a não-saciedade dos indivíduos. Também é suposto que as decisões sobre o que adquirir e o dispêndio são determinadas separadamente. Assim, a restrição orçamentária é a limitação mais relevante percebida para a tomada da decisão de consumo, ou seja, as famílias irão escolher os bens e serviços disponíveis que lhes proporcionam o maior nível de utilidade, restrito à sua restrição orçamentária.

2.1 Poluição e renda

A relação entre poluição e renda familiar assume que o consumo doméstico contribuirá com as emissões de vários gases de efeito estufa. Logo, qualquer alteração nos preços dos bens e serviços, na renda e, ou, nas preferências dos consumidores, também afetará a poluição (Brännlund e Ghalwash, 2008). Assim, a emissão de uma família específica pode ser expressa como:

$$G_i = g(x_1(\mathbf{p}, y_i), x_2(\mathbf{p}, y_i), \dots, x_k(\mathbf{p}, y_i)) = f(\mathbf{p}, y_i), \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

em que G_i são as emissões de gases GEEs da família i , $x_j(\mathbf{p}, y_i)$ é o consumo do bem j em função dos preços \mathbf{p} , com $\mathbf{p} = [p_1, p_2, \dots, p_k]$ e da renda da família y_i e g é a intensidade de emissão de bens de consumo.

Logo, qualquer alteração na renda familiar resulta em variações nas emissões de gases, G_i , devido a alteração na composição da cesta de consumo doméstico. Assim, para n famílias a emissão média de gases poluentes seria:

$$\bar{G} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(\mathbf{p}, y_i) = f(\mathbf{p}, \bar{y}) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [f(\mathbf{p}, y_i) - f(\mathbf{p}, \bar{y})] \quad (2)$$

em que $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, corresponde a renda familiar média.

O grau de não linearidade da função f de forma reduzida do agregado familiar é indicado no termo $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [f(p, y_i) - f(p, \bar{y})]$. Se a relação emissão x renda domiciliar não for linear, a distribuição de renda, assim como o nível de renda, é importante para a poluição. Assim, suponha que f seja uma função estritamente convexa, tornando o segundo termo da equação (2) positivo, isso implica que uma redistribuição de renda reduziria o valor do segundo termo e, portanto, também as emissões médias familiar. Agora caso f seja estritamente côncavo, um aumento na igualdade aumentaria as emissões agregadas (Brännlund e Ghalwash, 2008).

A curvatura da relação poluição x renda domiciliar, a priori, não pode ser determinada, uma vez que a curvatura depende não apenas da relação entre consumo e poluição, mas também de como o consumo é afetado por uma alteração na renda. Logo, a inclinação da relação poluição-renda para uma família i pode ser escrita como:

$$\frac{\partial f(p, y_i)}{\partial y_i} = \sum_{j=1}^k \frac{\partial g}{\partial x_j} \frac{\partial x_j(p, y_i)}{\partial y_i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

Isso implica que a equação (3) pode ser reescrita em termos de elasticidades de renda e participações orçamentárias como:

$$\frac{\partial f(p, y_i)}{\partial y_i} = \sum_{j=1}^k \frac{\partial g}{\partial x_j} \frac{1}{p_j} \varepsilon_{ij} s_{ij}, \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$\text{em que } \varepsilon_{ij} = \frac{\partial x_{ij}(p, y_i)}{\partial y_i} \frac{y_i}{x_j}, \quad s_{ij} = \frac{p_j x_{ij}}{y_i}$$

De acordo com Brännlund e Ghalwash (2008), caso $\partial g / \partial x_{ij} \geq 0$ para todo j , segue-se que uma condição suficiente para que uma relação de renda e poluição seja positiva é que todos os bens sejam bens normais, ou seja, se todos os bens têm uma elasticidade de rendimento não negativa. Porém esta não é uma condição necessária. Logo, dado que $\partial g / \partial x_{ij} \geq 0$ para todo j , uma condição necessária para uma relação de inclinação descendente é que pelo menos um bem seja inferior. Assim, a curvatura da relação poluição renda pode então ser expressa como:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \sum_{j=1}^k \frac{1}{p_j} \left[\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x_j^2} \frac{\partial x_j}{\partial y} \right) s_j + \frac{\partial g}{\partial x_j} \frac{\partial s_j}{\partial y} \right] \varepsilon_j + \frac{\partial g}{\partial x_j} \frac{\partial \varepsilon_j}{\partial y} s_j \quad (5)$$

A equação (5) implica que a curvatura depende da forma da função poluição g , da elasticidade-renda de cada bem e das participações orçamentárias.

Ademais, caso $(\frac{\partial g}{\partial x_1})/(\frac{1}{p_1}) = \dots = (\frac{\partial g}{\partial x_k})/(\frac{1}{p_k}) = \Phi > 0$, e $\partial \varepsilon_j / \partial y = 0, j = 1, \dots, k$, então a relação poluição renda tem uma inclinação positiva e é linear, ou seja,

- i. $\frac{\partial f(p,y)}{\partial y} = \Phi \sum_{j=1}^k \varepsilon_j s_j > 0$
- ii. $\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \Phi \sum_{j=1}^k \frac{\partial s_j}{\partial y} \varepsilon_j = 0$

Logo, se $(\partial g / \partial x_i) / (1/p_i) \neq (\partial g / \partial x_j) / (1/p_j)$ para qualquer $i, j = 1, \dots, k$, e/ou $(\partial \varepsilon_j / \partial y) \neq 0$, para qualquer $j = 1, \dots, k$, a relação poluição x renda pode ter uma inclinação positiva ou negativa e ser côncava ou convexa, mesmo se a função de poluição, g , for linear ($\partial^2 g / \partial x_i^2 = 0, i = 1, \dots, k$). Isso implica, segundo Brännlund e Ghalwash (2008), que:

as condições suficientes para uma relação linear e positiva entre poluição e renda são muito restritivas e provavelmente nunca serão satisfeitas na prática. E que a curvatura da relação poluição renda pode assumir qualquer forma, dependendo não apenas das preferências, mas também da função g (Brännlund e Ghalwash, 2008, p. 373-374, tradução da autora⁴).

Dado que as famílias procuram maximizar sua utilidade, ou minimizar seus gastos com o consumo domiciliar, espera-se que a cada conjunto de escolhas de bens e serviços adquiridos, estes estejam relacionados à emissão de GEEs tanto nos processos produtivos diretos quanto indiretamente, por meio de toda a cadeia de valor. As escolhas de consumo das famílias e a diversificação de suas cestas irão variar de acordo com as preferências e características demográficas e socioeconômicas, contribuindo assim com as emissões de maneira direta e indireta.

As emissões domésticas diretas correspondem aos subprodutos diretos das atividades poluentes domiciliares, ou seja, como consequência de suas atividades, como por exemplo dirigir carros (Levinson e O'Brien, 2019; Churchill et al., 2021) ou utilização de energia doméstica. Já as emissões domésticas indiretas são de origem dos processos industriais necessários à produção de bens adquiridos pelas famílias, ou seja, como consequência do consumo de produtos cuja produção gera poluição, como a fabricação do aço usado para fazer automóveis e o refino da gasolina usada para alimentá-los (Levinson e O'Brien, 2019; Churchill

⁴ Texto original: "(...) the sufficient conditions for a linear and positive pollution-income relationship are very restrictive and are probably never fulfilled in practice. We can also conclude that the curvature of the pollution-income relationship can take any form, depending not only on preferences, but also on the g -function".

et al., 2021). Vale ainda destacar que as famílias diversificam suas cestas de bens com base nas suas escolhas racionais, condicionadas às suas respectivas rendas, garantindo o que lhes proporciona o melhor bem-estar.

2.2 Curvas de Engel

A curva tradicional de Engel é uma representação gráfica que mostra a relação entre renda e despesa de um bem ou serviço, considerando que os preços dos bens permanecem constantes (Deaton e Muellbauer, 1980). Essa curva foi desenvolvida pelo economista alemão Ernst Engel no século XIX e é uma ferramenta útil para analisar a demanda por um bem em relação ao nível de renda do consumidor. A curva de Engel se comporta de maneira diferente dependendo da classificação dos bens. Bens normais (ou necessários), por exemplo, são aqueles cuja demanda aumenta quando a renda do consumidor aumenta. Quando a renda do consumidor aumenta, os gastos com bens normais também aumentam, mas a uma taxa decrescente, indicando que a curva de Engel é côncava em direção à origem. Para os bens inferiores, cuja demanda diminui quando a renda do consumidor aumenta, a curva de Engel se comporta de maneira oposta; quando a renda do consumidor aumenta, os gastos com bens inferiores diminuem, ou seja, a curva de Engel é convexa em direção à origem. Já para os bens de luxo, cuja demanda aumenta a um ritmo mais rápido do que o aumento da renda do consumidor, a curva de Engel tem inclinação positiva íngreme (Pindyck e Rubinfeld, 2006). A curva de Engel também pode ser usada para analisar a elasticidade (e) por um bem (i): os bens de luxo apresentam elasticidade-renda $e_i > 1$; os normais (necessários) apresentam $e_i < 1$; já os bens inferiores possuem $e_i < 0$. Em resumo, a curva de Engel pode ajudar a entender como os gastos com um bem mudam conforme a renda do consumidor muda e como varia dependendo se o bem é classificado como normal, inferior ou de luxo.

Já as curvas ambientais de Engel (CAEs) apresentam a relação entre a renda das famílias e a quantidade de poluição (neste estudo, CO₂ eq.) incorporada nos bens e serviços consumidos por elas (Levinson e O'Brien, 2019). Assim, a fim de avaliar empiricamente a relação emissão-renda domiciliar, uma relação de forma reduzida foi estimada, denotada por f na equação (1), ou um modelo estrutural. Considerando que as famílias consomem bens e serviços intensivos em CO₂, o estudo aqui consiste em uma análise estrutural da relação entre renda familiar individual e emissão. Diferentemente das curvas tradicionais de Engel, as CAEs levam em consideração a poluição total gerada como resultado do consumo total de cada família, não o consumo específico de bens e serviços (Levinson e O'Brien, 2019).

3. METODOLOGIA

Nessa seção são descritas, inicialmente, as técnicas que foram utilizadas para calcular as emissões domésticas de origem do consumo das famílias brasileiras, bem como a estimação relacionada a Curva Ambiental de Engel. Em seguida é apresentado o modelo empírico para o “dilema de equidade e poluição”.

3.1 Emissão de GEE via consumo das famílias brasileiras

Considera-se que as emissões domésticas estão vinculadas às escolhas de consumo das famílias brasileiras. Dessa forma, o processo de maximização de suas utilidades irá contribuir indiretamente com a emissão. As emissões aqui consideradas foram as equivalentes ao Gás Carbônico (dióxido de carbono – CO₂) ligadas ao consumo das famílias brasileiras (CO₂ eq.), calculadas para os anos 2009 e 2018⁵ separadamente. Para isso, a despesa de consumo em diferentes bens consumidos (em reais) foi vinculada à respectiva intensidade de carbono desses bens (CO₂/R\$). As emissões totais das famílias foram computadas usando a contabilidade de emissão dos setores por meio da matriz de insumo-produto⁶ e Contas Ambientais da *World Input-Output Database* (WIOD).

A intensidade de emissão doméstica aqui considerada corresponde a quantidade de gás poluente emitida por unidade financeira, sendo específica de cada país e setor de consumo. Para obtenção das estimativas de intensidade de emissão direta e indireta dos bens e serviços consumidos pelas famílias, os modelos aplicados por Levinson e O’Brien (2019) e por Sager (2019) foram seguidos e adaptados para os dados brasileiros disponíveis. Três tipos de dados foram necessários para esse tipo de análise: renda e despesa monetária das famílias com cada tipo de bem e serviço de consumo, matriz de insumo-produto e emissões de GEE dos setores produtivos da economia. Para o Brasil, todos esses dados estão disponíveis para o ano de 2009. Foram utilizadas as três bases de dados listadas a seguir:

1) As informações sobre as emissões de CO₂ dos setores produtivos foram referentes às emissões da conta ambiental da WIOD (*Environmental Accounts - World Input-Output Database*) das emissões atmosféricas de CO₂. Essa matriz de emissões foi obtida por meio da

⁵ A escolha dos anos se deve aos anos de pesquisas domiciliares mais recentes ocorridas no Brasil.

⁶ A matriz insumo-produto representa toda a economia em termos de relação entre indústrias e a demanda final. Apresenta a combinação de um conjunto de insumos de toda a economia para produzir uma determinada quantidade de produto (Kasznar, 2013).

aplicação dos coeficientes de emissão de CO₂ ao uso de energia relevante para as emissões agregadas por setor produtivo (Genty et al., 2012). Assim, a matriz de emissão de CO₂ dos setores produtivos da economia se encontra desagregada em 35 setores.

2) A Matriz insumo-produto de 2009 do Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS/USP) fornece dados sobre a atividade econômica brasileira por setores (Guilhoto e Sesso-Filho, 2005; 2010). Assim, para fins desta pesquisa, a matriz referente a 56 x 56 setores da economia foi analisada.

3) A Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) tem como objetivo principal mensurar as estruturas de consumo, os gastos e a renda das famílias, bem como a percepção das condições de vida da população, de acordo com as características dos domicílios e das pessoas. Sendo uma pesquisa de caráter amostral, apresenta os dados socioeconômico das condições das famílias brasileiras a partir dos seus orçamentos domésticos (IBGE, 2009). O consumo de bens e serviços pelas famílias foram agrupados por diferentes níveis de renda. Assim, para as estimativas de emissão doméstica de 2009, os dados corresponderam a POF 2008/2009.

3.1.1 Estimativa de cálculo de emissões domésticas de CO₂ (diretas + indiretas) ano 2009

Seguindo Levinson e O'Brien (2019) e Sager (2019) com algumas adaptações, as emissões totais de CO₂ da família i , G_i , foram calculadas da seguinte forma:

$$G_i = \sum_l^L w_{i,l} * e_l \quad (6)$$

em que l se refere a cada bem/serviço consumido pela família i , w representa a despesa da família i gasta com o bem l e e_l representa a intensidade de emissão de CO₂ do bem l ⁷.

A despesa gasta pela família com cada bem e serviço ($w_{i,l}$) em reais foi proveniente dos dados da POF. Para o cálculo de intensidade de emissão de cada bem de consumo (e_l), este foi dividido em duas partes, ou seja, emissões diretas e indiretas. As famílias geram poluição tanto diretamente, por consequência de suas atividades, como uso de energia elétrica dentro de casa e combustível para veículo, quanto indiretamente, por meio do consumo de produtos cuja produção é mais ou menos poluidora, como o consumo de alimentos e bebidas industrializadas (Levinson e O'Brien, 2019; Sager, 2019). Assim, as intensidades de emissão de origem direta (e_l^D) foram obtidas de acordo com a seguinte fórmula:

⁷ Os l bens aqui considerados foram agrupados em 15 grandes setores, como especificado na tabela 4.

$$(e_i^D) = \frac{f_i^D * L}{w_i} \quad (7)$$

em que f_i^D corresponde ao fator de emissão de CO₂ para o tipo de bem l consumido diretamente e L a quantidade consumida do bem l e w_i a renda gasta com aquele bem. Por exemplo, o fator de emissão (f^D) da energia elétrica em 2009 foi de 24,6 (KgCO₂/MWh). Assim, uma família que consumiu em média 1,716 MWh de energia elétrica no ano e pagou em média, R\$1500,00, teve uma intensidade de emissão direta estimada em 2009 equivalente a 0,0281 KgCO₂/R\$. O bem de consumo considerado para análise de emissão direta neste estudo correspondeu ao consumo de energia elétrica dentro da residência. Os respectivos valores de fator de emissão de CO₂ para 2009 foram provenientes do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).

Já a intensidade de emissão indireta de CO₂ (e_i^I) foi obtida a partir da análise de insumo-produto por meio da seguinte fórmula:

$$e_i^I = d(I - A)^{-1} \quad (8)$$

em que d é o vetor de intensidade de emissão direta de CO₂ em cada setor produtivo da economia. A é a matriz de coeficientes técnicos, I uma matriz identidade e $(I - A)^{-1}$ a matriz inversa de Leontief.

Para encontrar d foram divididas as emissões totais de CO₂ de cada setor produtivo por sua respectiva produção na economia, ou seja:

$$d = \frac{Z_n}{X_n} \quad (9)$$

em que Z_n corresponde a emissão total do setor produtivo n disponível nas Contas Ambientais (WIOD) e X_n a produção total de cada setor produtivo n disponível na matriz insumo-produto do NEREUS.

O uso da matriz inversa de Leontief permitiu estimar todas as emissões incorporadas nos bens e serviços finais. A intensidade de emissão indireta resultante reflete o CO₂ emitido durante a produção de bens e serviços, bem como o CO₂ emitido durante a produção de insumos intermediários que foram utilizados na produção de bens e serviços, e o CO₂ emitido nos insumos intermediários dessas entradas intermediárias e assim por diante (Vera et al., 2021). Logo, o valor de intensidade de emissão indireta é dado em kg de CO₂ por R\$.

Assim, cada intensidade de emissão direta e indireta foi multiplicada pelo seu respectivo valor gasto da família com determinado bem de consumo, e então a emissão total de CO₂ em Kg anual (ou tonelada) de cada família i foi analisada.

3.1.2 Estimativa de cálculo de emissões domésticas de CO₂ (diretas + indiretas) ano 2018

Para o ano de 2018, todos os passos descritos em 3.1.1 foram seguidos utilizando a matriz insumo-produto do NEREUS para o ano 2018⁸ e os resultados da POF 2017-2018. A única exceção é que na tabela de contas ambientais da WIOD não estão disponíveis as emissões dos setores produtivos para o ano de 2018. Dessa forma, para as estimativas das emissões foram considerados os dados disponíveis pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) para o ano de 2018 e assim estimadas as emissões de acordo com a parcela das emissões por setor correspondente ao último ano (2009) dos dados da WIOD. Isto porque as emissões do SEEG estão agregadas em grandes setores. Por exemplo, em 2009 as emissões totais de CO₂ do uso de energia das contas ambientais do WIOD corresponderam a 322.725.557 de CO₂ e as emissões do SEEG do uso de energia foram de 316.443.489. As emissões do WIOD estão desagregadas para 35 setores produtivos. Assim, para 2018 as estimativas de emissão desses 35 setores foram feitas com base na parcela de emissão dos setores em 2009 em relação a emissão total do uso de energia de 2018 do SEEG (Tabela 1). A emissão total de CO₂ em toneladas considerando o uso de energia em 2018, com base nos dados do SEEG correspondeu a 379.912.669 de CO₂(t).

Seguindo Levinson e O'Brien (2019) e Sager (2019), a intensidade total de emissão resultante será considerada como a tecnologia, uma vez que leva em consideração todos os processos produtivos dos bens e serviços e as suas respectivas emissões associadas. Logo, para analisar a relação entre renda e poluição, sem mudança tecnológica, basta apenas considerar a mesma intensidade de emissão para todos os anos da amostra.

⁸ Para fins desta pesquisa, a matriz utilizada para 2018 é referente a 68 x 68 setores da economia.

Tabela 1 – Estimativa de emissão dos setores da WIOD para o ano 2018 com base na emissão total do SEEG 2018 (Emissão de CO₂ em toneladas)

Setores WIOD	Emissão de CO ₂ 2009 (WIOD)	Parcela de emissão %	Estimativa de Emissão de CO ₂ (2018) *	Parcela de emissão %
Agricultura, caça, silvicultura e pesca	25358030,08	10,09	29851484,18	10,09
Mineração e Pedreira	17119454,43	6,81	20153029,30	6,81
Alimentos, bebidas e tabaco	4928549,52	1,96	5801890,67	1,96
Têxteis e Produtos Têxteis	2228965,96	0,89	2623939,71	0,89
Couro e Calçado	442975,12	0,18	521470,51	0,18
Madeira e Produtos de Madeira e Cortiça	385810,50	0,15	454176,30	0,15
Celulose, Papel, Impressão e Publicação	4007761,55	1,59	4717938,66	1,59
Coque, Petróleo Refinado e Combustível Nuclear	17782130,82	7,08	20933132,24	7,08
Químicos e produtos químicos	15898687,42	6,33	18715941,84	6,33
Borracha e Plásticos	1146695,57	0,46	1349890,53	0,46
Outros minerais não metálicos	22916253,41	9,12	26977023,61	9,12
Metais básicos e metal fabricado	27963648,49	11,13	32918819,32	11,13
Máquinas, não classificadas em outra parte	1123276,82	0,45	1322321,97	0,45
Equipamentos elétricos e ópticos	1705174,96	0,68	2007332,72	0,68
Equipamento de transporte	1235458,66	0,49	1454382,48	0,49
Fabricação não classificada em outra parte; reciclagem	687004,66	0,27	808742,19	0,27
Abastecimento de eletricidade, gás e água	16817491,01	6,69	19797557,82	6,69
Construção	3765293,33	1,50	4432504,97	1,50
Venda, Manutenção e Reparação de Veículos automóveis e Motos; Venda a retalho de combustível	776690,78	0,31	914320,73	0,31
Comércio por atacado e comércio por comissão, exceto veículos motorizados e motocicletas	1342352,04	0,53	1580217,42	0,53
Comércio varejista, exceto veículos automotores e motocicletas; Conserto de utensílios domésticos	6028959,59	2,40	7097293,88	2,40
Hotéis e restaurantes	1855971,42	0,74	2184850,37	0,74
Transporte terrestre	34827067,60	13,86	40998439,32	13,86
Transporte de água	7212185,98	2,87	8490188,51	2,87
Transporte aéreo	3519524,74	1,40	4143186,07	1,40
Outras Atividades de Apoio e Auxiliares de Transporte; Atividades das agências de viagens	3813673,96	1,52	4489458,67	1,52
Correios e Telecomunicações	2365841,76	0,94	2785069,97	0,94

Mediação financeira	512791,52	0,20	603658,40	0,20
Atividades imobiliárias	346010,91	0,14	407324,20	0,14
Aluguel de Máquinas e Equipamentos e outras atividades comerciais	4765901,85	1,90	5610421,75	1,90
Administração Pública e Defesa; Previdência Social Obrigatória	7726918,51	3,07	9096131,87	3,07
Educação	2665539,49	1,06	3137874,26	1,06
Saúde e Serviço Social	1688507,31	0,67	1987711,55	0,67
Outros serviços comunitários, sociais e pessoais	6327847,57	2,52	7449144,94	2,52
Domicílios particulares com empregados	0,00	0,00	0,00	0,00
Consumo intermediário total	251288447,34	77,86	295816870,95	77,86
Despesa de consumo final das famílias	71437110,57	22,14	84095798,05	22,14
Total geral	322725557,91		379912669,00	

Fonte: Elaboração própria com base nos dados disponível da WIOD e SEEG. Nota: *Com base no total do SEEG 2018.

3.1.3 Consolidação das bases de dados para a estimativa de intensidade de emissão indireta

O primeiro passo para as estimativas de intensidade de emissão indireta foi consolidar os dados disponíveis de emissão dos setores da WIOD com os setores produtivos da matriz insumo-produto. Para isso, foram agregados e consolidados os setores da matriz insumo-produto do NEREUS e os setores da WIOD em 15 novos setores seguindo a agregação de Perobelli et al. (2019) e Carvalho et al. (2020) (Tabela 2 e Tabela 3). Assim, 15 novos setores, especificados na Tabela 4, foram a base para este estudo. A partir da agregação de 15 setores produtivos, os gastos das famílias com despesas de consumo foram compatibilizados de acordo com os produtos da matriz insumo-produto, levando-se em consideração o grau de homogeneidade das atividades de cada um (Carvalho et al., 2020). Foram organizados aproximadamente 13 mil produtos/serviços de consumo e distribuídos entre os 15 setores. Essa compatibilização foi necessária para que a base de dados do consumo das famílias fosse compatível com os 15 setores agregados. A agregação adotada foi elaborada de acordo com o tradutor do IBGE para associar cada produto da POF a um produto do Sistema de Contas Nacionais (SCN), que é o banco de dados da matriz insumo – produto. Assim, essa classificação tem como objetivo preservar, tanto quanto possível, as informações fornecidas pela matriz insumo – produto e pela POF (Carvalho et al., 2021).

Tabela 2 – Agregação dos setores WIOD de acordo com Perobelli et al. (2015)

Setores WIOD	Agregação Perobelli et al. (2015)
Agricultura, caça, silvicultura e pesca	Alimentação
Mineração e Pedreira	Energia
Alimentos, bebidas e tabaco	Alimentação
Têxteis e Produtos Têxteis	Roupas e Sapatos
Couro e Calçado	Roupas e Sapatos
Madeira e Produtos de Madeira e Cortiça	Artigos de uso doméstico
Celulose, Papel, Impressão e Publicação	Produtos diversos
Coque, Petróleo Refinado e Combustível Nuclear	Energia
Químicos e produtos químicos	Artigos de uso doméstico
Borracha e Plásticos	Artigos de uso doméstico
Outros minerais não metálicos	Bens Duráveis
Metais básicos e metal fabricado	Bens Duráveis
Máquinas, não classificadas em outra parte	Bens Duráveis
Equipamentos elétricos e ópticos	Bens Duráveis
Equipamento de transporte	Bens Duráveis
Fabricação não classificada em outra parte; reciclagem	Bens Duráveis
Abastecimento de eletricidade, gás e água	Abastecimento de eletricidade gás e água
Construção	Duráveis
Venda, Manutenção e Reparação de Veículos Autom. e Motos; Venda a retalho de combustível	Serviços de transporte
Comércio por atacado e comércio por comissão, exceto veículos motorizados e motocicletas	Operação doméstica
Comércio varejista, exceto veículos automotores e motocicletas; Conserto de utensílios domésticos	Operação doméstica
Hotéis e restaurantes	Lazer
Transporte terrestre	Serviços de transporte
Transporte de água	Serviços de transporte
Transporte aéreo	Serviços de transporte
Outras Atividades de Apoio e Auxiliares de Transporte; Atividades das agências de viagens	Lazer
Correios e Telecomunicações	Operação doméstica
Mediação financeira	Serviços prestados às empresas
Atividades imobiliárias	Aluguel de habitação
Aluguel de Máquinas e Equipamentos e outras atividades comerciais	Serviços prestados às empresas
Administração Pública e Defesa; Previdência Social Obrigatória	Educação e bem-estar
Educação	Educação e bem-estar
Saúde e Serviço Social	Serviços médicos
Outros serviços comunitários, sociais e pessoais	Serviços pessoais
Domicílios particulares com empregados	Serviços pessoais

Fonte: Perobelli et al. (2015).

Tabela 3 – Agregação dos setores da matriz insumo-produto de acordo com Carvalho et al. (2020)

1. Alimentos	Produtos de borracha e plástico
Agricultura	Produtos minerais não metálicos
Gado	Ferro-gusa e ferroligas
Produtos florestais	Metalurgia
Produtos de carne	Produtos de metal
Açúcar	Móveis e produtos de diversos setores
Outros produtos alimentícios	Manutenção, reparo e instalação de máquinas e equipamentos
Bebida	Construção
2. Têxteis e roupas	9. Energia
Têxtil	Eletricidade, gás e outras utilidades
Artigos de roupa e acessórios	10. Água
Calçados e artigos de couro	Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos
3. Combustível	11. Educação
Refinaria de óleo	Educação particular
4. Etanol	12. Serviços financeiros e seguros
Etanol e outros biocombustíveis	Intermediação financeira, seguros e previdência privada
5. Transporte	13. Serviços
Transporte terrestre	Serviços de impressão e reprodução
Transporte de água	Comércio por atacado e varejo
Transporte aéreo	Armazenamento e serviços auxiliares de transporte
6. Saúde	Editando
Produtos farmacêuticos	Serviços de cinema, música, rádio e televisão
Sistema de saúde privado	Telecomunicações
7. Bens Duráveis	Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação
Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	Atividades jurídicas, contábeis e de consultoria
Maquinaria e equipamento elétrico	Arquitetura, engenharia e outros
Máquinas e equipamentos mecânicos	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas
Carros, caminhões e ônibus	Outras atividades administrativas
Peças e acessórios para veículos automotores	Serviços de vigilância, segurança e investigação
Outro equipamento de transporte	Administração pública
8. Outra indústria (continua)	Educação pública
Carvão mineral	Saúde pública
Petróleo, gás natural e serviços de apoio	Serviços de arte, cultura, esporte e recreação
Minério de ferro	Organizações de empregadores e outros serviços de afiliação
Minerais de metais não ferrosos	Serviços domésticos
Produtos de tabaco	14. Serviços de hospedagem e alimentação

Produtos de madeira	Alojamento
Celulose e papel	Comida
Produtos químicos orgânicos e inorgânicos	15. Serviços imobiliários e de aluguel
Pesticidas e vários produtos químicos	Aluguel efetivo e serviços imobiliários
Produtos de limpeza / perfumaria	Aluguel de bens não imobiliários e gestão de ativos de prop. intelectual

Fonte: Carvalho et al. (2020).

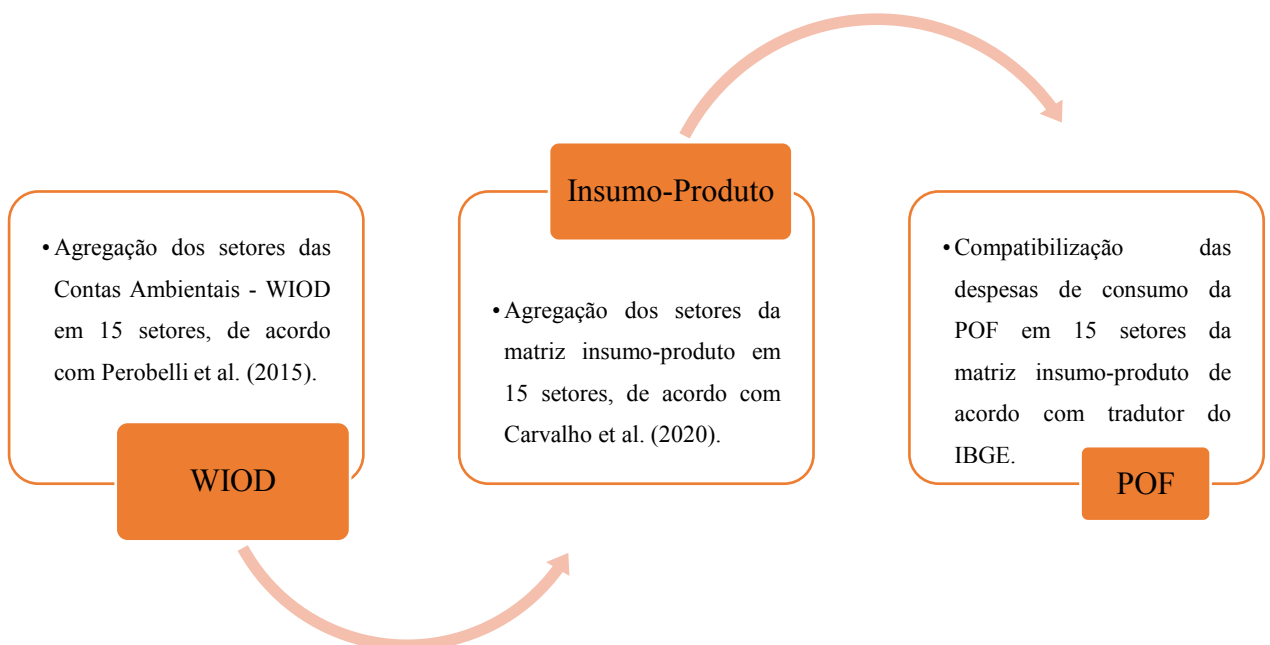
Tabela 4 – Agregação final dos setores deste estudo em 15 setores, com base em Perobelli et al. (2015) e Carvalho et al. (2020)

Alimentos	Energia
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	Minério de ferro
Pecuária e pesca	Outros produtos de minerais não-metálicos
Alimentos e Bebidas	Refino de petróleo e coque
Produtos do fumo	Petróleo e gás natural
Roupas e Sapatos	Produtos diversos
Têxteis	Celulose e produtos de papel
Artigos do vestuário e acessórios	Jornais, revistas, discos
Artefatos de couro e calçados	Fabricação de resina e elastômeros
Bens Duráveis	Outros da indústria extrativa
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	Abastecimento de eletricidade, gás e água
Eletrodomésticos	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana
Máquinas para escritório e equipamentos de informática	Serviços de transporte
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	Transporte, armazenagem e correio
Material eletrônico e equipamentos de comunicações	Álcool
Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	Serviços de manutenção e reparação
Automóveis, camionetas e utilitários	Lazer
Caminhões e ônibus	Serviços de alojamento e alimentação
Peças e acessórios para veículos automotores	Serviços prestados às empresas
Outros equipamentos de transporte	Serviços prestados às empresas
Fabricação de aço e derivados	Aluguel e habitação
Metalurgia de metais não-ferrosos	Serviços imobiliários e aluguel
Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	Educação e bem-estar
Móveis e produtos das indústrias diversas	Educação pública
Construção	Administração pública e seguridade social
Cimento	Saúde pública
Artigos de uso doméstico	Educação mercantil
Produtos de madeira - exclusive móveis	Serviços Médicos
Produtos químicos	Produtos farmacêuticos
Produtos e preparados químicos diversos	Saúde mercantil
Artigos de borracha e plástico	Serviços pessoais
Defensivos agrícolas	Serviços domésticos
Perfumaria, higiene e limpeza	Serviços de informação
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	Serviços prestados às famílias e associativas
Operação Doméstica	Intermediação financeira e seguros
Comércio	

Fonte: Elaboração própria, com base em Perobelli et al. (2015) e Carvalho et al. (2020).

De forma esquemática, a Figura 1 descreve o resumo da agregação e consolidação das bases de dados desenvolvidas para os anos 2009 e 2018. Dado que o principal objetivo foi de analisar a emissão total de CO₂ resultante do consumo de bens e serviços das famílias em diferentes classes de renda, em que as emissões indiretas consistem nas emissões de origem de todo o setor produtivo e das relações intersetoriais, esta análise foi feita usando as emissões totais oriundas dos processos produtivos e da relação de interdependência dos setores e os dados da POF, que é a pesquisa mais relevante que existe para entender os gastos das famílias no Brasil com base em diferentes níveis de renda.

Figura 1 – Visão geral da agregação e consolidação das bases de dados



Fonte: Elaboração própria, com base em Santiago (2014).

A fim de obter os dados completos das famílias, foram excluídos da amostra os domicílios nos quais não houve despesas de consumo no ano ou que obtiveram renda real após impostos negativa; também foram excluídos os domicílios com renda real líquida superior a R\$300 mil anual. Esse limite de renda foi estabelecido de acordo com as sugestões de Sager (2019), evitando a presença de *outliers*, muito comum em pesquisas domiciliares. Essas exclusões representaram 1,12% da amostra completa para o ano de 2009 e 1,60% para 2018. Todas as variáveis foram ajustadas para valores de janeiro de 2018 pelo Índice de Preço do Consumidor Amplo (IPCA).

Após obter as estimativas de CO₂ doméstico, foi analisada a curva ambiental de Engel, demonstrando a relação entre a renda familiar brasileira e o conteúdo total de CO₂eq. do consumo das famílias.

3.2 Curva Ambiental de Engel (CAE)

De acordo Levinson e O'Brien (2019), nenhuma teoria dita a forma funcional da relação renda-poluição, ou seja, das curvas ambientais de Engel (CAEs). Dessa forma, o primeiro passo natural é examinar a forma e a estrutura das CAEs com o mínimo de restrições possível. Logo, segundo Heerink et al. (2001), Brännlund e Ghalwash, 2008, Levinson e O'Brien (2019) e Sager (2019), assumiu-se que as emissões são uma função linear do consumo e podem ser definidas como:

$$G_i = R_i + \varepsilon_i \quad (10)$$

em que G_i corresponde às emissões totais de gases poluentes atribuídas à família i em função da renda familiar R e de uma constante específica da família, ε_i .

Com base na proposição metodológica de Levinson e O'Brien (2019), inicialmente foram estimadas, dentre as inúmeras especificações de funções (polinomiais cúbicas, logarítmicas etc.), duas versões quadráticas (2009 e 2018), para assim verificar se a ligação entre desigualdade de renda e emissão doméstica assume comportamento côncavo ou convexo, como relatados por Hübler (2017) para países pobres e em desenvolvimento. As famílias possuem diferentes comportamentos com relação ao consumo, o que leva a diferentes níveis de intensidades de emissão. De acordo com Brännlund e Ghalwash (2008), as características do agregado familiar, como exemplo, idade e região, podem modificar as cestas de bens, tornando-as mais intensivas em poluentes (Brännlund e Ghalwash, 2008; Carvalho et al., 2020). A localização do domicílio, por outro lado, pode exigir demanda por bens menos intensivos, como por exemplo, famílias rurais que demandam menos combustíveis e energia (Brännlund e Ghalwash 2008; Abreu et al., 2021). Famílias em regiões com maior exposição aos efeitos do aquecimento climático podem demandar mais bens intensivos em emissão e uso de mais energia elétrica (Abreu et al., 2021; Garcia et al., 2021). O nível educacional do responsável familiar pode estar relacionado com hábitos mais conscientes, tornando a relação entre renda e emissão negativa (Sager, 2019; Garcia et al., 2021). Então, essas e outras características relacionadas ao

consumo e às famílias, como educação, tamanho da família, idade do responsável, localização regional e urbana foram adicionadas, tornando essa relação condicional. Com isso, as CAEs passaram a ser representadas pelo seguinte modelo, conforme proposição de Levinson e O'Brien (2019):

$$G_i = \beta_1 R_i + \beta_2 R_i^2 + X'_i \delta + \varepsilon_i \quad (11)$$

em que G_i é a emissão total gerada pela família i , R a renda, e X_i o vetor representando as demais covariáveis.

Seguindo Levinson e O'Brien (2019), duas versões de CAEs foram estimadas para cada ano separadamente, uma baseada apenas na renda (não paramétrica e paramétrica) e outra controlando com as demais características relacionadas a cada família brasileira (paramétrica). A vantagem das estimações não paramétricas é que elas não impõem nenhuma forma funcional das CAEs (Sager, 2019). Na regressão não paramétrica assim como na regressão linear são estimados os resultados médios para um determinado conjunto de covariáveis. Ao contrário da regressão linear, a regressão não paramétrica desconhece a forma funcional entre o resultado e as variáveis e, portanto, não está sujeita a erros de especificação. A regressão não paramétrica possibilita uma maior flexibilidade nas estimações, uma vez que, “permite os dados falarem por si mesmos” (Figueiredo et al., 2011). A estimação das CAEs em anos distintos e com controles de variáveis é importante para a análise do comportamento das curvas. Assim, movimentos ao longo das CAEs representam mudanças nas preferências das famílias à medida que a renda aumenta, mantendo preços e tecnologias fixas. E mudanças na posição das CAEs correspondem a alterações em outras características, como comportamento de consumo, tecnologia e diversificação de cestas (Levinson e O'Brien, 2019). Outra questão de relevância é que CAEs não paramétricas podem ser importantes para análises de políticas estruturais de longo prazo, e as paramétricas para o curto prazo (Sager, 2019).

A análise das famílias brasileiras e as emissões que elas geram permitiu inferir como o consumo alterou-se com relação aos bens e serviços intensivos em GEE e como esse comportamento se concretizou em movimentos ao longo da CAE ou em deslocamento da CAE. Logo, o comportamento das CAEs permitiu analisar, por exemplo, se as famílias brasileiras com níveis de renda mais elevados são responsáveis por mais poluição e se as emissões aumentam com o nível de renda a taxas decrescentes.

De acordo com Brännlund e Ghalwash, (2008), para as estimativas paramétricas, o primeiro passo foi estimar cada equação separadamente por meio do método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Com relação às possíveis questões de identificação, muito comuns em estimativas tradicionais de curvas de Engel, as estimativas das CAEs não envolvem essas questões, visto que a renda é totalmente exógena das relações entre conteúdo de poluição do consumo doméstico. As famílias não escolhem suas rendas ou trabalho pensando nas emissões geradas indiretamente com os bens e serviços que desejam consumir (Levinson e O'Brien, 2019). Porém, é importante ressaltar que a abordagem empírica aqui realizada não pressupõe relações causais, e sim associações lineares parciais (Sager, 2019).

3.2.1 Decomposição de Oaxaca-Blinder

Dado que as emissões de origem do consumo das famílias são devidas à renda, características sociodemográficas, tecnologia e outras variáveis presentes em uma economia, estas podem influenciar tanto em movimentos ao longo da CAE quanto mudanças de sua posição. Nesse sentido, a fim de separar essas variáveis enquanto as demais são mantidas constantes, a decomposição de Oaxaca-Blinder, sugerida por Levinson e O'Brien (2019). e Sager (2019), fornece um importante mecanismo de análises para estes movimentos. A princípio, a decomposição de Oaxaca-Blinder foi introduzida na pesquisa para explicar o diferencial de salários entre dois grupos⁹ (Sager, 2019), no entanto, para o caso de emissões domésticas, define-se o nível médio da poluição em um determinado ano com base nos resultados das regressões da equação 11. Assim:

$$\bar{G}_t = \alpha_t \bar{R}_t + \beta_t \bar{R}_t^2 + \bar{X}_t \delta_t \quad (12)$$

em que \bar{G}_t é a poluição média das famílias no ano t , \bar{R}_t e \bar{R}_t^2 são a renda média e a renda média ao quadrado, \bar{X}_t é a média de outras covariáveis. Assim, a mudança média entre 2018 e 2009 pode então ser escrita como:

$$\bar{G}_{18} - \bar{G}_{09} = \alpha_{18} \bar{R}_{18} + \beta_{18} \bar{R}_{18}^2 + \bar{X}_{18} \delta_{18} - \alpha_{09} \bar{R}_{09} - \beta_{09} \bar{R}_{09}^2 - \bar{X}_{09} \delta_{09} \quad (13)$$

⁹ Ver Oaxaca (1973) e Blinder (1973).

Para resolver, adiciona-se e subtrai-se $\alpha_{09}\bar{R}_{18} + \beta_{09}\bar{R}_{18}^2 + \bar{X}_{18}\delta_{09}$. Agrupando os termos, tem-se:

$$\begin{aligned}\bar{G}_{18} - \bar{G}_{09} &= \alpha_{09}(\bar{R}_{18} - \bar{R}_{09}) + \beta_{09}(\bar{R}_{18}^2 - \bar{R}_{09}^2) \\ &+ (\alpha_{18} - \alpha_{09})\bar{R}_{18} + (\beta_{18} - \beta_{09})\bar{R}_{18}^2 \\ &+ \bar{X}_{18}(\delta_{18} - \delta_{09}) + (\bar{X}_{18} - \bar{X}_{09})\delta_{09}\end{aligned}\quad (14)$$

Os dois primeiros termos demonstram o efeito da mudança da renda na poluição doméstica, mantendo constante os coeficientes da regressão MQO de 2009. Isso captura um movimento ao longo da CAE de 2009. Os dois termos subsequentes capturam o efeito da mudança dos coeficientes sobre a renda e a renda ao quadrado, capturando uma mudança na posição da CAE (deslocamento). Já os dois últimos capturam as mudanças em todas as demais covariáveis e seus coeficientes.

3.2.2 Decomposição da desigualdade das emissões de CO₂ doméstico

Com o objetivo de avaliar a contribuição da renda e das demais variáveis na dispersão das emissões domésticas de CO₂, esta pesquisa realizou a decomposição da desigualdade de CO₂ por meio da abordagem de Fields (2003). Os métodos de decomposição da desigualdade permitem quantificar qual parte da desigualdade total é atribuível a diferentes componentes. Seguindo os passos descritos por Sager (2019), supôs-se que as emissões domésticas de CO₂ da família i no ano t , G_{it} , são lineares em k variáveis, assim:

$$G_i^t = \beta_0^t + \beta_1^t X_{1i}^t + \dots + \beta_k^t X_{ki}^t + \varepsilon_i^t \quad (15)$$

Excluindo os subscritos dos anos, a variância das emissões domésticas, $\sigma^2(G)$, é:

$$\sigma^2(G) = \sum_{j=1}^k cov[\beta_k X_k, G] \quad (16)$$

Em seguida, o peso relativo da desigualdade do fator da covariável k , $s_k(G)$, como:

$$s_k(G) = \frac{[\beta_k X_k, G]}{\sigma^2(G)} \quad (17)$$

Essa variável fornece a variação da contribuição da variância da covariável k , na variância das emissões domésticas. Nesse sentido, sob uma série de suposições demonstradas por Shorrocks (1982), essa decomposição pode ser válida para qualquer medida de desigualdade que esteja dentro das suposições específicas (Sager, 2019).

3.3 Dilema de “equidade e poluição” de Sager (2019)

Considerando que a renda das famílias é um importante propulsor de emissão de GEE (via consumo), a pesquisa buscou analisar quais as possíveis consequências da redistribuição de renda às famílias brasileiras para o comportamento de emissão de consumo. Com isso, partindo do modelo inicial da CAE proposto Levinson e O’Brien (2019), o dilema de equidade poluição proposto por Sager (2019) foi quantificado a partir das estimativas das CAEs quadráticas. Assim, uma transferência marginal da família j para a família i altera as emissões de CO₂ eq. com base no consumo (Sager, 2019). Logo, partindo da equação (11) tem-se:

$$G_i = \beta_1 R_i + \beta_2 R_i^2 + X'_i \delta + \varepsilon_i$$

$$\frac{\partial G_i}{\partial R_i} - \frac{\partial G_j}{\partial R_j} = (\beta_1 + 2\beta_2 R_i) - (\beta_1 + 2\beta_2 R_j)$$

$$\frac{\partial G_i}{\partial R_i} - \frac{\partial G_j}{\partial R_j} = -2\beta_2 (R_j - R_i)$$

$$E_{ij} \left(\frac{\partial G_i}{\partial R_i} - \frac{\partial G_j}{\partial R_j} \mid R_j > R_i \right) = -2\hat{\beta}_2 E_{ij} (R_j - R_i \mid R_j > R_i) = -2\hat{\beta}_2 \Psi \quad (18)$$

$$\text{em que } \Psi = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |R_i - R_j| \quad \forall i \neq j$$

Isso implica que, segundo Sager (2019), a mudança esperada nas emissões totais ao escolher aleatoriamente duas famílias da população e redistribuir uma pequena quantidade da renda dos mais ricos para os mais pobres, “é uma função da curvatura das CAE e da diferença média de Gini (Ψ)” (Sager, 2019), dada pela equação 18. Logo, quanto mais dispersa for a distribuição de renda e mais côncava as CAEs, maior será o dilema de equidade e poluição (Sager, 2019).

Para uma redistribuição completa, ou seja, caso todas as famílias tivessem a mesma renda média, o dilema de equidade e poluição proposto por Sager (2019) pode ser estimado como:

$$\hat{\beta}_2 \cdot \left[\bar{R}^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i)^2 \right] \quad (19)$$

O dilema foi quantificado como sendo a diferença entre “a média esperada de poluição doméstica sob “igualdade total” e o nível médio atual em uma determinada distribuição de renda” (Sager, 2019). Assim, a magnitude da relação entre menor desigualdade e emissão de GEEs foi compreendida para as famílias brasileiras.

4. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da pesquisa: inicialmente, as intensidades de emissão de CO₂ dos setores de consumo e as emissões totais oriundas do consumo familiar; em seguida, o comportamento das CAEs e o dilema de equidade e poluição. Os resultados se referem aos anos 2009 e 2018, ou seja, as duas últimas POFs realizadas no Brasil até o momento.

4.1 Estimativa das emissões de CO₂ das famílias brasileiras

A Tabela 5 apresenta os resultados médios das principais variáveis consideradas neste estudo para os dois anos da amostra, bem como a diferença entre os dois períodos¹⁰.

Tabela 5 – Valores médios para variáveis selecionadas

Variáveis	2009	2018	Diferença	Diferença %
Emissão média por família (kg) (tecnologia variável) ¹¹	2.883,43	1.701,79	-1.181,64	-40,98
Emissão média por família (kg) (tecnologia constante de 2009)	2.883,43	2.765,10	-118,33	-4,10
Renda bruta média (Mil R\$ de 2018)	32,63	39,21	6,58	20,17
Renda Líquida Média (Mil R\$ de 2018)	30,34	36,49	6,15	20,27
Renda Líquida Média ao quadrado	2.116,23	2.783,00	666,77	31,51
Despesa Média (Mil R\$ de 2018)	32,23	33,16	0,93	2,89
Tamanho da família	3,4	3,17	-0,23	-6,76
Tamanho da família ao quadrado	14,51	12,7	-1,81	-12,47
Idade média da pessoa de referência	47,21	49,62	2,41	5,10
Idade ao quadrado	2.479,16	2.708,79	229,63	9,26
Nível de educação da pessoa de referência (parcela da população)				
Sem instrução	0.121	0.089	-0.031	-26,45
Fundamental Incompleto	0.477	0.395	-0.081	-17,19
Fundamental Completo	0.079	0.083	0.004	5,06
Médio Incompleto	0.049	0.051	0.002	4,08
Médio Completo	0.177	0.231	0.054	30,51
Superior Incompleto	0.027	0.031	0.004	14,81
Superior Completo	0.070	0.118	0.048	68,57
Região (Parcela da população)				
Norte	0.136	0.146	0.010	7,35
Nordeste	0.345	0.334	-0.010	-3,19
Sul	0.120	0.146	0.026	21,67
Sudeste	0.251	0.253	0.002	0,80
Centro-Oeste	0.148	0.121	-0.028	-18,24
Urbano	0.768	0.778	0.010	1,30

Fonte: Elaboração própria, com base nas POFs (2009/2018)

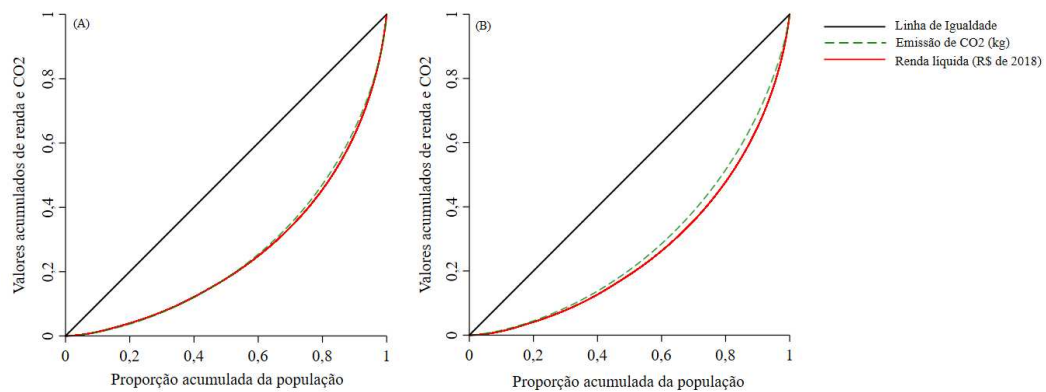
¹⁰ As estatísticas descritivas das principais variáveis estão no Apêndice, Tabela A1.

¹¹ Tecnologia variável refere-se às estimativas que combinam as despesas em um determinado ano com as intensidades de emissão calculadas para o mesmo ano. Tecnologia constante de 2009 refere-se à combinação das despesas de cada ano com as intensidades de emissão de 2009.

A amostra final para o ano 2009 foi composta por 55.343 domicílios, com renda real líquida média equivalente a R\$30.340,50 anuais¹². No ano de 2018 esses valores são equivalentes a 63.877 domicílios e R\$36.495,98 anuais. As despesas das famílias brasileiras para o ano 2009 representaram, em média, 98% da renda bruta média e em 2018 esse valor decresceu para 85%. O tamanho médio de uma família brasileira foi de três pessoas nos dois anos considerados. Observa-se também na Tabela 5 que as emissões de origem das despesas domésticas por família representaram, em média, 2,8 toneladas em 2009 e 1,7 em 2018, tendo uma queda de 41% quando se considera tecnologia variável. No entanto, para valores considerando tecnologia constante de 2009, essa queda foi de apenas 4%.

Em se tratando de desigualdades, a Figura 2 mostra a existência de desigualdade de renda e de emissão de CO₂ para as famílias brasileiras. Por meio das curvas de Lorenz para a renda e para as emissões de CO₂, nota-se que a renda é um pouco mais desigual do que as emissões domésticas, tanto para o ano de 2009 quanto para 2018, sendo estes valores maiores para as famílias no ano de 2009. Os valores do Índice de Gini da renda líquida e das emissões em 2009 foram, respectivamente, 0,49 e 0,48, e, em 2018, 0,47 e 0,43 (Figura 2).

Figura 2 – Curva de Lorenz – Renda e Emissão de CO₂, 2009 (A) e 2018 (B)



Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019).

Os resultados referentes às despesas anuais de consumo das famílias, às intensidades de emissão de CO₂ indireta e direta (energia elétrica) dos setores econômicos correspondente aos anos 2009 e 2018 e às emissões totais oriundas do consumo de cada setor podem ser observadas na Tabela 6.

¹² A renda líquida se refere aos rendimentos brutos familiares descontados os impostos e outras deduções.

Tabela 6 – Despesa Familiar Anual Total, Intensidade de Emissão de CO₂ indireta e direta, e Emissão de CO₂ oriunda do consumo familiar por setor – 2009 e 2018

Setores	2009			2018		
	Despesa Familiar Anual Total (Milhões de reais)	Intensidade de Emissão de CO ₂ Indireta (kg CO ₂ /R\$)	Emissões totais de CO ₂ (Mil ton. De CO ₂)	Despesa Familiar Anual Total (Milhões de reais)	Intensidade de Emissão de CO ₂ Indireta (kg CO ₂ /R\$)	Emissões totais de CO ₂ (Mil ton. de CO ₂)
Alimentos	368,00	0,112	41,30	387,00	0,062	24,00
Roupas e Sapatos	117,00	0,068	7,98	104,00	0,042	4,37
Bens duráveis	152,00	0,126	19,20	53,90	0,076	4,09
Artigos de uso doméstico	77,1	0,147	11,40	120,00	0,106	12,70
Operação doméstica	236,00	0,044	10,40	248,00	0,025	6,25
Energia	0,28	0,202	0,05	1,02	0,086	0,08
Produtos diversos	7,74	0,090	0,70	6,60	0,047	0,31
Abastecimento						
Eletricidade gás e água	104,00	0,152	15,80	147,00	0,082	12,00
Serviços de transporte	162,00	0,195	31,70	191,00	0,126	24,00
Lazer	69,00	0,090	6,18	57,60	0,038	2,17
Serviços prestados a empresas	8,25	0,046	0,37	0,32	0,035	0,01
Aluguel e habitação	134,00	0,008	1,04	168,00	0,004	0,74
Educação e bem-estar	50,60	0,035	1,75	98,50	0,016	1,59
Serviços Médicos	118,00	0,048	5,70	170,00	0,018	3,10
Serviços Pessoais	121,00	0,033	3,96	282,00	0,016	4,40
	Despesa Familiar Anual Total (Milhão de reais)	Intensidade Direta de Emissão Média (Kg CO ₂ /R\$)	Emissão direta total de CO ₂ (Mil ton. CO ₂)	Despesa Familiar Anual Total (Milhão de reais)	Intensidade Direta de Emissão Média (Kg CO ₂ /R\$)	Emissão direta total de CO ₂ (Mil ton. CO ₂)
Energia Elétrica	59,00	0,193	2,01	84,80	0,119	8,83

Fonte: As estimativas das intensidades de emissão de CO₂ foram com base na metodologia apresentada na seção 3. As demais variáveis são de origem das POFs 2009 e 2018.

Com relação às despesas familiares por grupos de consumo, tanto para o ano de 2009 quanto para o ano de 2018, observa-se que as famílias brasileiras possuem gastos maiores no setor de Alimentos. Os menores valores foram para Energia em 2009 e Serviços Prestados a empresas em 2018. No entanto, quando são analisados os valores de intensidades de emissão, nota-se que os maiores valores de intensidade de CO₂ indireta para o ano 2009 foram encontrados nos setores de Energia (0,202) e Serviços de transporte (0,195). Já para o ano de 2018, os maiores valores se referiram aos setores Serviços de transporte (0,126) e Artigos de uso doméstico (0,106). Os setores de menor intensidade indireta foram Aluguel e habitação, Serviços Pessoais e Educação e bem-estar, tanto para 2009 quanto para 2018. Em se tratando da intensidade de emissão direta, no setor de Energia Elétrica houve uma queda de 38% entre os dois períodos. Quando as emissões oriundas do consumo são analisadas, observa-se que os maiores valores para ambos os anos da amostra foram nos setores de Alimentos e de Serviços de transporte. Isso é devido ao elevado consumo no setor de Alimentos e à elevada intensidade de emissão no setor de Serviços de Transportes. Vale ainda destacar que quase todos os setores sofreram queda nas emissões totais, com exceção de Artigos de uso doméstico, Energia, Serviços Pessoais e Energia Elétrica (Tabela 6).

Na Tabela 7 são apresentados os resultados referentes às despesas totais anuais e emissões totais anuais por decil de renda para os anos 2009 e 2018¹³¹⁴, respectivamente. As despesas totais para os anos 2009 e 2018 somaram 1,7 bilhões e 2,1 bilhões de reais, respectivamente. Os valores de despesas em geral foram crescentes com a renda, com exceção dos 3º e 6º decis no ano de 2009 e 2º e 4º decis no ano de 2018. As emissões totais de CO₂ relacionadas ao consumo das famílias brasileiras totalizaram em 2009 e 2018, respectivamente, o equivalente a 159,58 e 108,71 mil toneladas. As emissões totais por decil de renda apresentam comportamento crescente com a renda, isto é, níveis mais altos de renda estão relacionados a emissões maiores. No entanto, nos 3º e 6º decis de 2009 e 2º e 4º decis de 2018 houve queda, devido, principalmente, à redução nas despesas de consumo.

¹³ Os valores médios de renda para cada decil podem ser consultados na Tabela A2 do Apêndice.

¹⁴ Uma análise complementar para o Grupo de Alimentos pode ser encontrada nas Tabelas A3 e A4 do Apêndice.

Tabela 7 – Despesas e Emissão total por decil de renda – 2009 e 2018

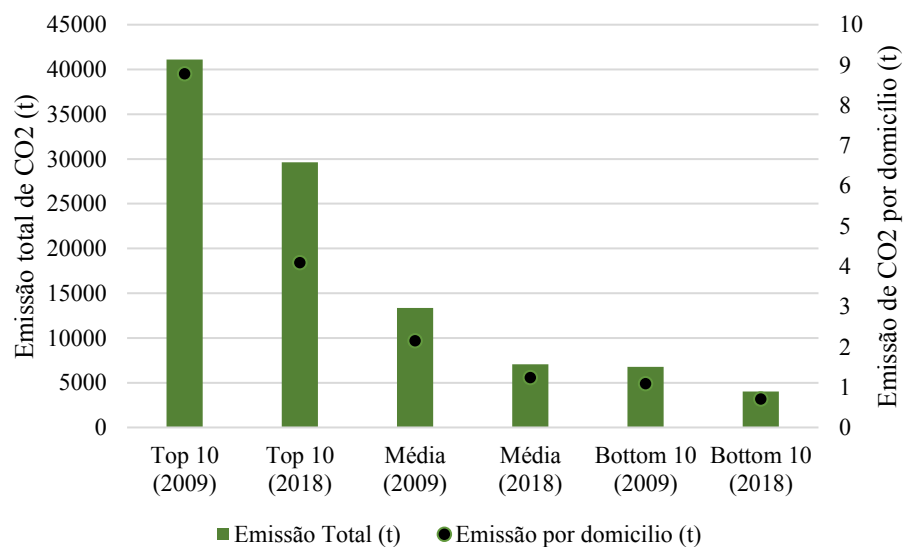
Decis de renda familiar	2009				2018			
	Despesa Total (Milhões de R\$)	Parcela da Despesa (%)	Emissão Total (Mil toneladas)	Parcela da Emissão (%)	Despesa Total (Milhões de R\$)	Parcela da Despesa (%)	Emissão Total (Mil toneladas)	Parcela da Emissão (%)
1º	65,6	3,7	6,8	4,2	64,57	3,05	4,02	3,69
2º	103,0	5,8	10,4	6,5	54,24	2,56	3,31	3,05
3º	75,2	4,2	7,6	4,8	100,58	4,75	6,03	5,55
4º	117,2	6,6	11,6	7,2	97,05	4,58	5,77	5,31
5º	138,8	7,8	13,4	8,4	124,08	5,86	7,07	6,50
6º	117,2	6,6	11,2	7,0	162,34	7,66	9,25	8,51
7º	168,8	9,5	15,6	9,8	202,27	9,55	11,16	10,27
8º	202,7	11,4	18,3	11,5	258,52	12,20	13,85	12,74
9º	274,3	15,4	23,6	14,8	372,95	17,60	18,62	17,13
10º	521,0	29,2	41,1	25,8	682,11	32,19	29,62	27,25
Total	1.783,9	100	159,6	100	2.118,70	100	108,71	100

Fonte: As estimativas das emissões de CO2 foram com base na metodologia apresentada na seção 3. As demais variáveis são de origem das POFs 2009 e 2018.

Ainda na Tabela 7, é possível observar que a primeira classe de renda (1º decil), emitiu cerca de 4,2% das emissões totais de CO₂ em 2009, enquanto que os 10% mais ricos (último decil) emitiram cerca de seis vezes mais. E para o ano de 2018 a classe de renda mais baixa emitiu cerca de sete vezes menos que os 10% mais ricos. Em 2018, metade da população de menor renda emitiu em conjunto 24,1% das emissões totais, valor inferior às emissões dos 10% mais ricos (27,25%). Além disso, a emissão total nos decis mais baixos reduziu muito mais do que nos decis mais altos entre 2008 e 2018 (Tabela 7).

As emissões totais domésticas para o ano de 2009 referentes aos domicílios pertencentes aos 10% mais ricos (*Top 10*) são iguais a um pouco mais de 40 mil toneladas. A emissão por domicílio para esse grupo corresponde a 8,78 toneladas. E para os domicílios extremos, 10% mais pobres (*Bottom 10*), as emissões totais foram de 6,7 mil toneladas, ou 1,08 toneladas por domicílio. Já as emissões totais para as famílias pertencentes ao decil médio (média) foram de 13,3 mil toneladas, equivalente a 2,15 toneladas por domicílio. Para 2018 houve queda tanto nas emissões totais quanto nas emissões por domicílio (Figura 3).

Figura 3 – Emissão total e por domicílio em diferentes grupos de renda – 2009 e 2018



Fonte: Elaboração própria, com base em Gore et al. (2020). Nota: *Top 10* são os domicílios pertencentes aos 10% mais ricos. Média, são os domicílios que pertencem ao quinto decil, e *Bottom 10* são os domicílios pertencentes ao primeiro decil.

Ao desagregar as despesas por setores, nota-se que as famílias mais pobres gastam grande parte da sua renda no setor de Alimentos enquanto que as mais ricas concentram parcela significativa de renda em Operação doméstica (Tabelas 8 e 9). É nítido nas Tabelas 8 e 9 que,

à medida que a renda aumenta, setores considerados essenciais, como alimentação, vão perdendo participação nos gastos domésticos. Porém, quando são analisadas as despesas com transporte, educação e lazer, o cenário é contrário, sendo essas categorias crescentes com a renda. Tais comportamentos são descritos pela Lei de Engel, o qual atribui que à medida que a renda aumenta, o percentual que é destinado aos itens considerados essenciais diminui, enquanto a proporção destinada a outros bens aumenta (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8 – Parcela das despesas familiares por setor e decil de renda 2009 (%)

Setores	Decis de Renda									
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
Alimentos	32,98	31,41	18,95	28,25	25,82	24,45	22,02	20,20	17,28	13,19
Roupas e Sapatos	6,87	6,48	6,50	6,81	7,15	7,42	7,14	7,14	6,45	5,62
Bens duráveis	9,29	10,04	8,29	9,14	9,42	9,68	8,71	8,47	8,02	7,43
Artigos de uso doméstico	5,82	5,48	4,13	5,31	5,23	5,01	4,76	4,58	3,88	3,12
Operação doméstica	7,09	5,97	14,29	8,50	9,77	10,75	12,78	14,06	15,69	17,43
Energia	0,09	0,06	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Produtos diversos	0,57	0,49	0,42	0,45	0,42	0,44	0,41	0,41	0,43	0,41
Abastecimento Eletricidade gás e água	8,98	9,27	5,37	8,32	7,61	7,18	6,48	5,74	4,81	3,51
Serviços de transporte	7,99	7,47	9,28	8,25	8,36	8,76	9,41	9,52	9,80	9,46
Lazer	2,45	2,47	4,06	2,99	3,19	3,38	3,49	3,72	4,11	4,99
Serviços prestados a empresas	0,22	0,35	0,49	0,38	0,46	0,47	0,48	0,46	0,53	0,51
Aluguel e habitação	4,05	5,14	7,94	5,03	5,62	5,16	6,39	6,74	7,94	10,82
Educação e bem-estar	0,74	0,85	3,14	1,08	1,41	1,75	2,05	2,53	3,60	4,74
Serviços Médicos	5,16	6,38	6,71	6,85	6,48	6,44	6,20	6,47	6,70	7,07
Serviços Pessoais	3,33	3,69	7,26	4,34	5,02	5,21	5,98	6,61	7,79	9,36
Energia Elétrica	4,36	4,46	3,15	4,26	4,00	3,88	3,69	3,37	2,98	2,32

Fonte: Elaboração própria com base na POF (2009). Nota: Valores reais de janeiro/2018.

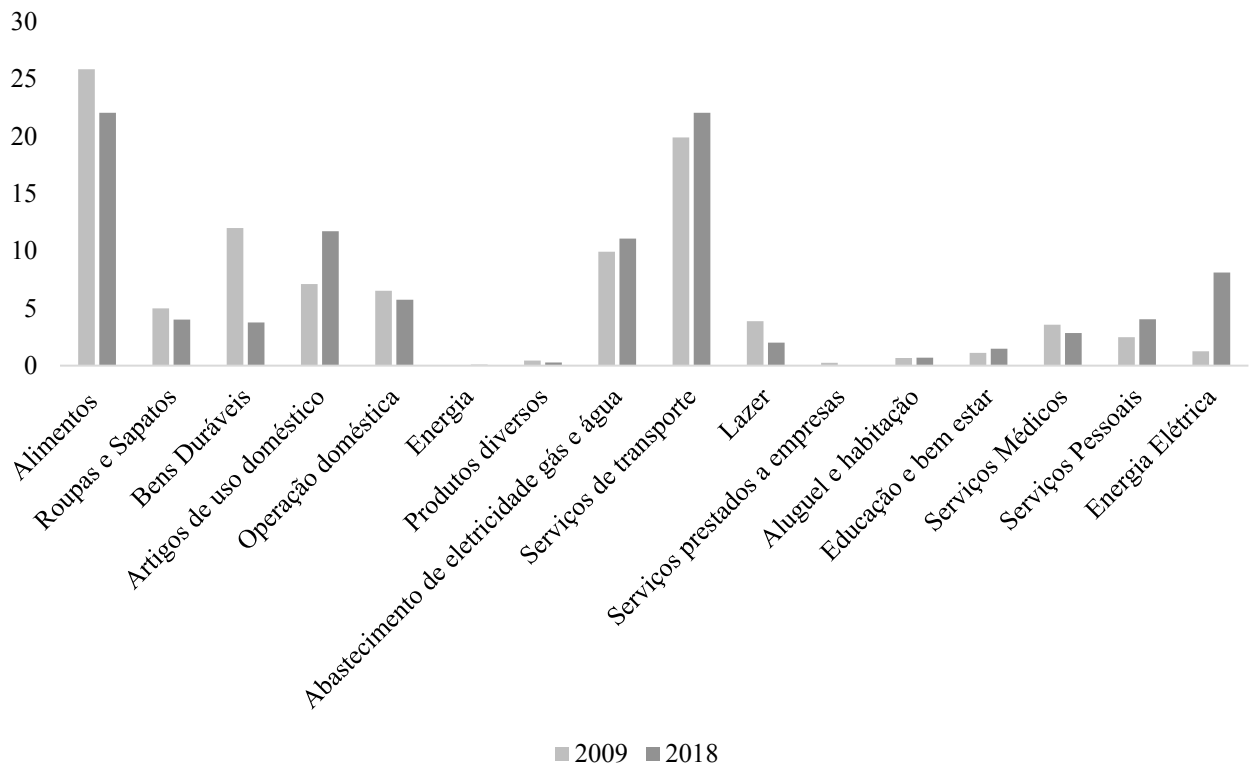
Tabela 9 – Parcela das despesas familiares por setor e decil de renda 2018 (%)

Setores	Decis de Renda									
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
Alimentos	27,33	26,18	24,51	24,10	21,70	21,99	20,23	19,20	16,51	13,56
Roupas e Sapatos	4,96	5,38	4,55	5,48	5,32	4,94	5,33	5,18	5,15	4,37
Bens duráveis	2,97	3,17	3,11	3,31	2,97	3,02	3,01	2,82	2,43	1,89
Artigos de uso doméstico	8,27	8,47	7,27	7,84	7,32	6,79	6,65	6,08	5,38	3,75
Operação doméstica	7,06	7,44	7,47	8,44	10,53	9,90	11,24	12,49	12,92	13,36
Energia	0,20	0,13	0,13	0,09	0,07	0,09	0,05	0,03	0,03	0,01
Produtos diversos	0,44	0,42	0,31	0,45	0,37	0,29	0,33	0,33	0,31	0,25
Abastecimento Eletricidade gás e água	11,56	10,59	11,66	9,83	9,19	9,36	8,01	7,25	6,10	4,21
Serviços de transporte	7,92	8,24	8,14	8,85	8,79	8,98	9,43	9,57	9,54	8,71
Lazer	1,51	1,63	1,54	1,84	2,09	1,97	2,12	2,47	2,85	3,71
Serviços prestados a empresas	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,02	0,02	0,01
Aluguel e habitação	4,90	4,99	5,15	5,00	5,78	5,42	5,86	5,93	8,66	11,28
Educação e bem-estar	2,16	2,68	2,36	2,50	2,89	2,65	3,41	3,94	4,83	7,01
Serviços Médicos	5,67	6,03	8,43	6,92	6,62	8,56	7,57	7,61	7,87	8,95
Serviços Pessoais	8,96	9,17	9,37	10,19	11,41	10,93	12,22	12,86	13,68	16,22
Energia Elétrica	6,08	5,46	6,01	5,14	4,96	5,08	4,50	4,22	3,72	2,72

Fonte: Elaboração própria com base na POF (2018). Nota: Valores reais de janeiro/2018.

Em relação ao total de emissões de CO₂ das famílias brasileiras, os principais direcionadores são os setores Alimentos e Serviços de transporte, que juntos representam quase metade das emissões totais nos dois anos considerados (Figura 4). Mesmo não tendo uma elevada intensidade de emissões, o setor de Alimentos se destaca devido a sua participação relativamente alta em todos os decis de renda. No entanto, para o setor de Serviços de Transporte a participação nas despesas não é tão significativa em todos os decis, apenas nos mais elevados. Sendo assim, sua elevada participação nas emissões totais é resultado dos altos valores de intensidade de emissão. Outros setores com elevada intensidade não foram tão representativos nas emissões totais devido a seu baixo valor participativo nas despesas de consumo das família, a exemplo, o setor de Energia.

Figura 4 – Parcela das emissões de CO₂ por setor em relação ao total de emissões 2009 e 2018 (%)



Fonte: Elaboração própria

Ao analisar a estrutura das emissões de CO₂ por decil de renda (Tabela 10), nota-se que em 2009 cerca de 35% das emissões totais da classe mais pobre era de origem do setor de Alimentos e 15% do setor de Serviços de transporte. Entretanto, para a população mais rica, a ordem se inverte, sendo que o setor de Serviços de transporte respondia por 23% das emissões, ocupando a primeira posição, e o setor de Alimentos em 18%. Esse comportamento é evidenciado também para o ano de 2018 (Tabela 11), tendo o setor de Alimentos responsável por 27% das emissões no primeiro decil de renda e 19% no último decil.

Tabela 10 – Parcela das emissões por setor e por decil de renda (%) 2009

Setores	Decis de Renda									
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
Alimentos	35,81	34,75	32,45	32,14	30,09	28,65	26,67	25,12	22,57	18,76
Roupas e Sapatos	4,54	4,37	5,03	4,72	5,07	5,29	5,26	5,40	5,13	4,87
Durável	11,35	12,51	12,45	11,70	12,36	12,77	11,88	11,85	11,78	11,90
Artigos de uso doméstico	8,30	7,96	7,89	7,94	7,99	7,71	7,57	7,48	6,65	5,83
Operação doméstica	3,03	2,60	3,26	3,80	4,48	4,95	6,08	6,87	8,06	9,74
Energia	0,18	0,11	0,07	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01
Produtos diversos	0,50	0,44	0,46	0,42	0,39	0,42	0,40	0,41	0,45	0,47
Abastecimento de eletricidade, gás e água	13,18	13,87	12,37	12,80	12,00	11,37	10,61	9,65	8,49	6,74
Serviços de transporte	15,12	14,39	16,92	16,35	16,97	17,88	19,86	20,62	22,28	23,44
Lazer	2,13	2,18	2,62	2,72	2,98	3,16	3,38	3,69	4,29	5,68
Serviços prestados a empresas	0,10	0,16	0,15	0,18	0,22	0,22	0,24	0,23	0,28	0,30
Aluguel e habitação	0,31	0,40	0,35	0,40	0,46	0,42	0,54	0,58	0,72	1,07
Educação e bem-estar	0,25	0,29	0,39	0,38	0,51	0,63	0,77	0,97	1,45	2,08
Serviços Médicos	2,42	3,05	2,71	3,37	3,26	3,26	3,25	3,48	3,78	4,34
Serviços Pessoais	1,06	1,19	1,34	1,44	1,71	1,78	2,12	2,40	2,97	3,89
Energia Elétrica	1,73	1,74	1,54	1,59	1,48	1,42	1,35	1,25	1,10	0,87

Fonte: As estimativas das emissões de CO2 foram com base na metodologia apresentada na seção 3. As demais variáveis são de origem da POF 2009.

Tabela 11 – Parcela das emissões por setor e por decil de renda (%) 2018

Setores	Decis de Renda									
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
Alimentos	27,20	26,53	25,28	25,07	23,56	23,89	22,69	22,19	20,47	19,32
Roupas e Sapatos	3,36	3,71	3,20	3,88	3,94	3,65	4,07	4,08	4,35	4,24
Durável	3,64	3,94	3,94	4,23	3,96	4,04	4,15	4,00	3,70	3,30
Artigos de uso doméstico	14,13	14,74	12,89	14,01	13,66	12,67	12,80	12,06	11,45	9,19
Operação doméstica	2,86	3,07	3,14	3,58	4,67	4,39	5,14	5,89	6,54	7,76
Energia	0,28	0,19	0,19	0,14	0,10	0,13	0,08	0,06	0,05	0,02
Produtos diversos	0,33	0,32	0,25	0,36	0,31	0,24	0,28	0,29	0,29	0,28
Abastecimento de eletricidade, gás e água	15,19	14,16	15,87	13,50	13,17	13,42	11,87	11,06	9,99	7,91
Serviços de transporte	16,00	16,95	17,05	18,71	19,38	19,81	21,49	22,46	24,02	25,22
Lazer	0,92	1,01	0,97	1,17	1,39	1,31	1,45	1,74	2,16	3,24
Serviços prestados a empresas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01
Aluguel e habitação	0,35	0,36	0,38	0,37	0,45	0,42	0,47	0,49	0,76	1,14
Educação e bem-estar	0,56	0,71	0,64	0,68	0,82	0,75	1,00	1,19	1,57	2,62
Serviços Médicos	1,67	1,81	2,57	2,13	2,13	2,75	2,51	2,60	2,88	3,77
Serviços Pessoais	2,25	2,35	2,44	2,68	3,13	3,00	3,47	3,76	4,29	5,84
Energia Elétrica	11,24	10,14	11,19	9,49	9,34	9,53	8,49	8,12	7,47	6,14

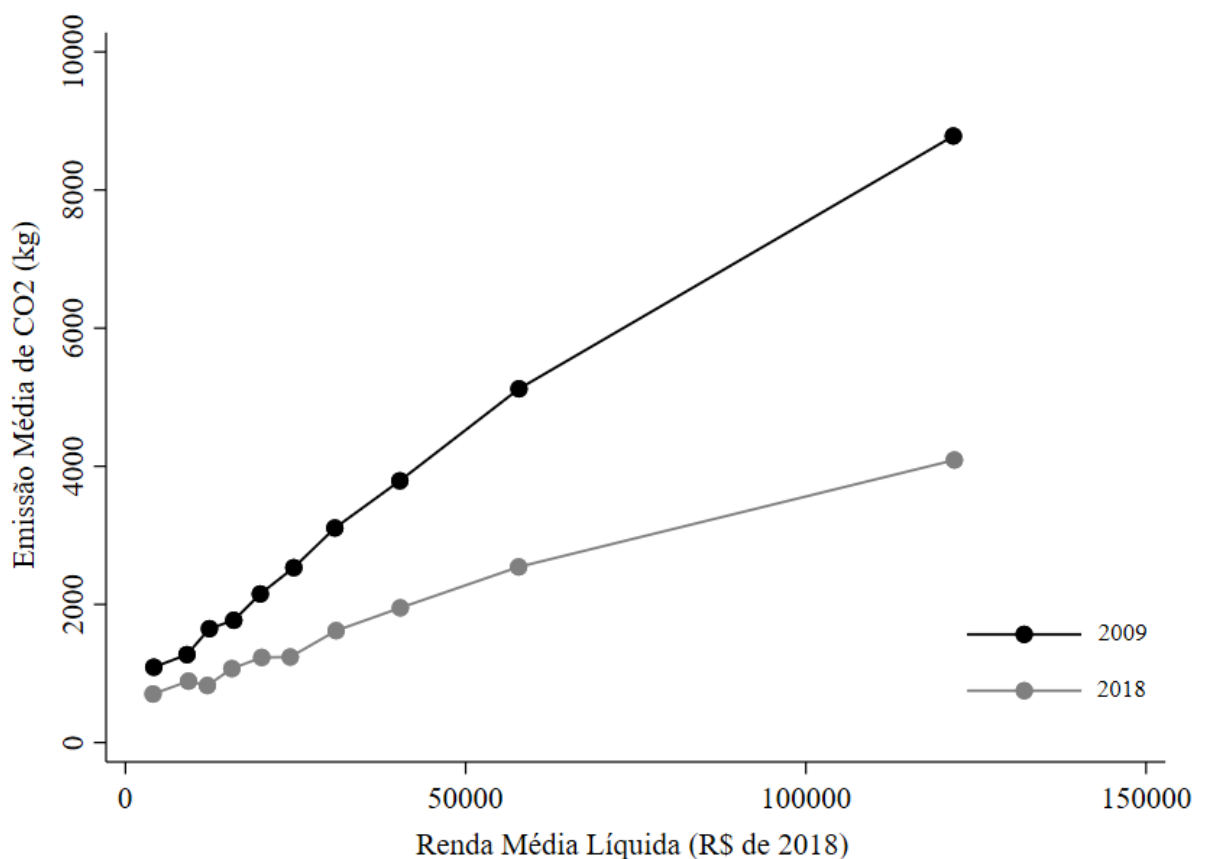
Fonte: As estimativas das emissões de CO2 foram com base na metodologia apresentada na seção 3. As demais variáveis são de origem da POF 2018.

4.2 Curva Ambiental de Engel (CAE)

4.2.1 Curva Ambiental de Engel (CAE) não paramétrica

A Figura 5 apresenta as estimativas não paramétricas das CAEs em 2009 e 2018. As CAEs representam a relação entre a renda média líquida e a emissão média de carbono doméstico em diferentes decis de renda.

Figura 5 – Curvas Ambientais de Engel Não Paramétricas – CO₂ doméstico



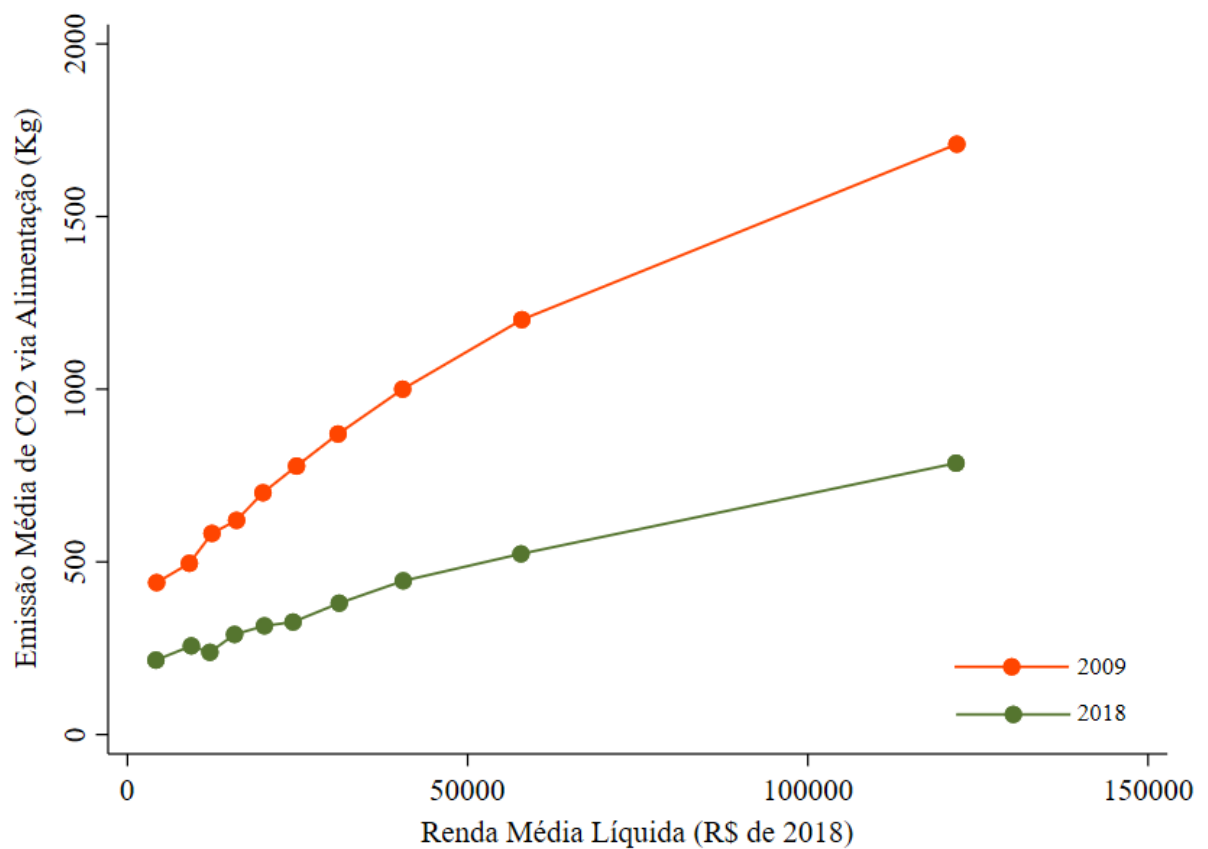
Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: Renda média líquida das famílias (em R\$ de janeiro/2018) e emissão média estimada de CO₂ do consumo, separadamente por ano e decis de renda.

Observa-se que as CAEs demonstram que rendas superiores estão relacionadas com maiores emissões domiciliares de CO₂. As emissões médias do decil superior em 2009 (8,7t) eram cerca de oito vezes maiores do que as do decil inferior (1,09t). Para o ano de 2018, as emissões médias das famílias com renda mais elevada foram quase seis vezes maiores do que as emissões do consumo das famílias de renda mais baixa. O resultado da regressão não

paramétrica revela também que as CAEs possuem comportamento côncavo para os dois anos da amostra, ou seja, a intensidade de emissão de CO₂ (CO₂/R\$) está diminuindo. A concavidade também revela que o CO₂ oriundo do consumo doméstico pode ser considerado como um bem normal, que se comporta como uma necessidade. Assim, à medida que a renda cresce, as emissões aumentam menos que proporcionalmente. Além disso, as emissões médias das famílias do decil superior em 2018 são 53% menores em relação ao mesmo grupo familiar do ano de 2009. Isso demonstra que a emissão média doméstica de CO₂ diminuiu entre 2009 e 2018.

Dado que o setor de Alimentos apresenta a maior participação nas emissões totais nos dois períodos considerados, a Figura 6 apresenta a Curva Ambiental de Engel específica do grupo de Alimentos.

Figura 6 – Curvas Ambientais de Engel Não Paramétricas – CO₂ doméstico do Consumo de Alimentos



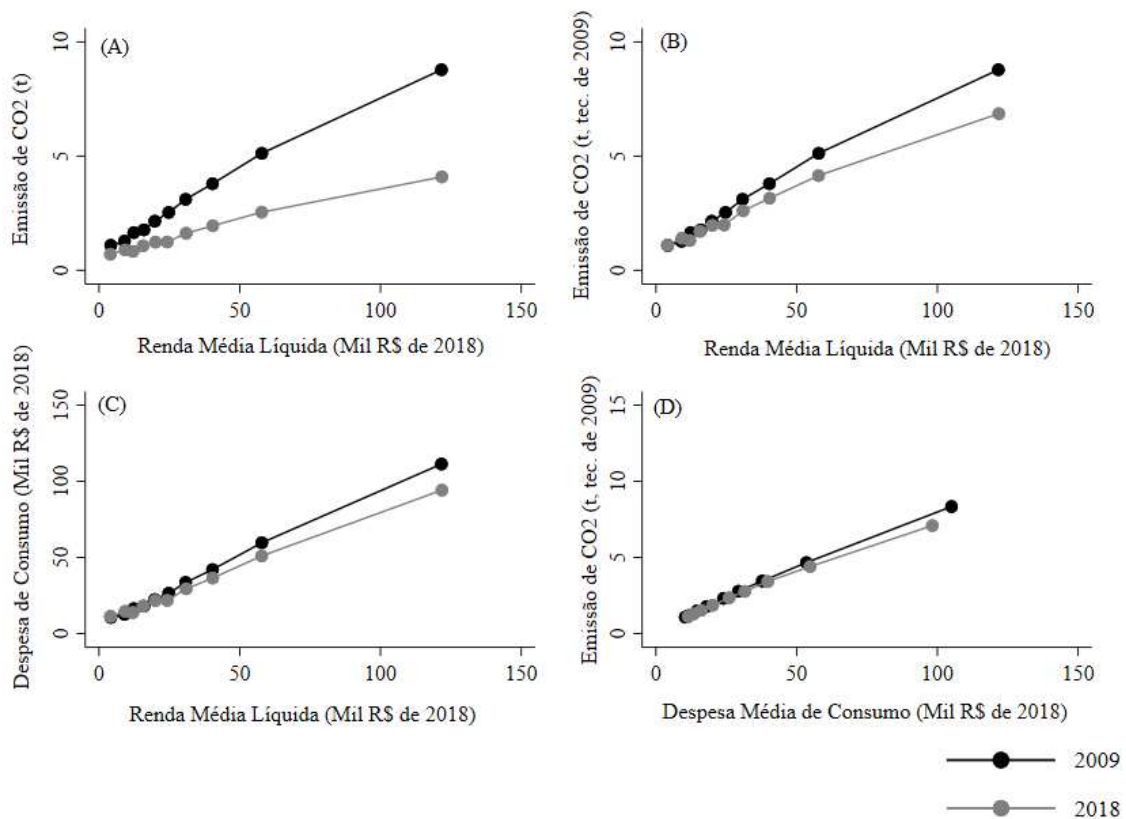
Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: Renda média líquida das famílias (em R\$ de janeiro/2018) e emissão média estimada de CO₂ do consumo de alimentos, separadamente por ano e decis de renda.

Observa-se que o comportamento relacionado às emissões de origem do setor de Alimentos se aproxima do comportamento das emissões do consumo total das famílias brasileiras. Famílias mais ricas estão relacionadas a mais emissões de origem alimentar, o último decil de 2009 emitiu cerca de 4 vezes mais em relação ao primeiro decil. No entanto, a relação entre a renda e emissão apresenta comportamento côncavo para os dois anos da amostra. O que é justificado pelo fato de os alimentos serem considerados bens normais (necessários). Vale também destacar que as emissões médias relacionadas ao consumo de alimentos caíram cerca de 51% entre 2009 e 2018 (0,80t para 0,39t). Por outro lado, essa dinâmica não se repete para alimentos específicos, como Arroz, Feijão, Café, Pães e Laticínios, apenas para consumo de carne bovina. Uma análise complementar referente aos 6 grupos de alimentos mais consumidos no Brasil, pode ser consultada nas Figuras A1 a A6 do Apêndice.

4.2.2 Deslocamento das CAEs

Entre os dois anos da amostra, possíveis efeitos podem contribuir com o deslocamento da CAE. Entre eles destacam-se o efeito da tecnologia, quando as intensidades de emissão ($\text{CO}_2/\text{R}\$$) oriundas da produção se alteram; o efeito economia, quando as famílias gastam menos/mais por cada R\$1 de renda; e o efeito de composição, quando as famílias diversificam suas cestas com bens menos/mais intensivos em carbono (Figura 7).

Figura 7 – Efeitos tecnologia, economia e composição



Fonte: Elaboração própria, com base em Sager (2019). Nota: A Figura 7 mostra o relacionamento da renda média líquida e as emissões médias por decil de renda considerando tecnologia variável (A); a relação entre renda média líquida e emissões média com tecnologia constante de 2009 (B); relação entre renda média líquida e despesas médias de consumo (C); e, a relação entre as despesas médias de consumo e as emissões médias a tecnologia constante de 2009 (D). Valores reais de janeiro de 2018.

Se a intensidade de emissão dos bens de consumo para o ano de 2018 fosse igual à do ano de 2009, as estimativas de emissões domésticas média por família seriam 62% maiores. Em outras palavras, em 2018 - com a tecnologia variável - foram emitidas cerca de 1,70t por família brasileira, porém, considerando a tecnologia constante nos valores de 2009, esse valor seria de 2,77t. No entanto, considerando as intensidades de emissão correspondentes a cada ano (tecnologia variável), as emissões domésticas médias diminuiriam cerca de 41% (de 2,88t em 2009 para 1,70t em 2018) (Figura 7A). Assim, se a tecnologia não tivesse mudado, ou seja, se as intensidades de emissão fossem constantes a 2009, a CAE de 2018 teria se deslocado para

cima (Figura 7B)¹⁵. Nesse sentido, esse deslocamento poderia ser explicado, em parte, pelos efeitos da economia do consumo e da composição das cestas, além da variação na renda.

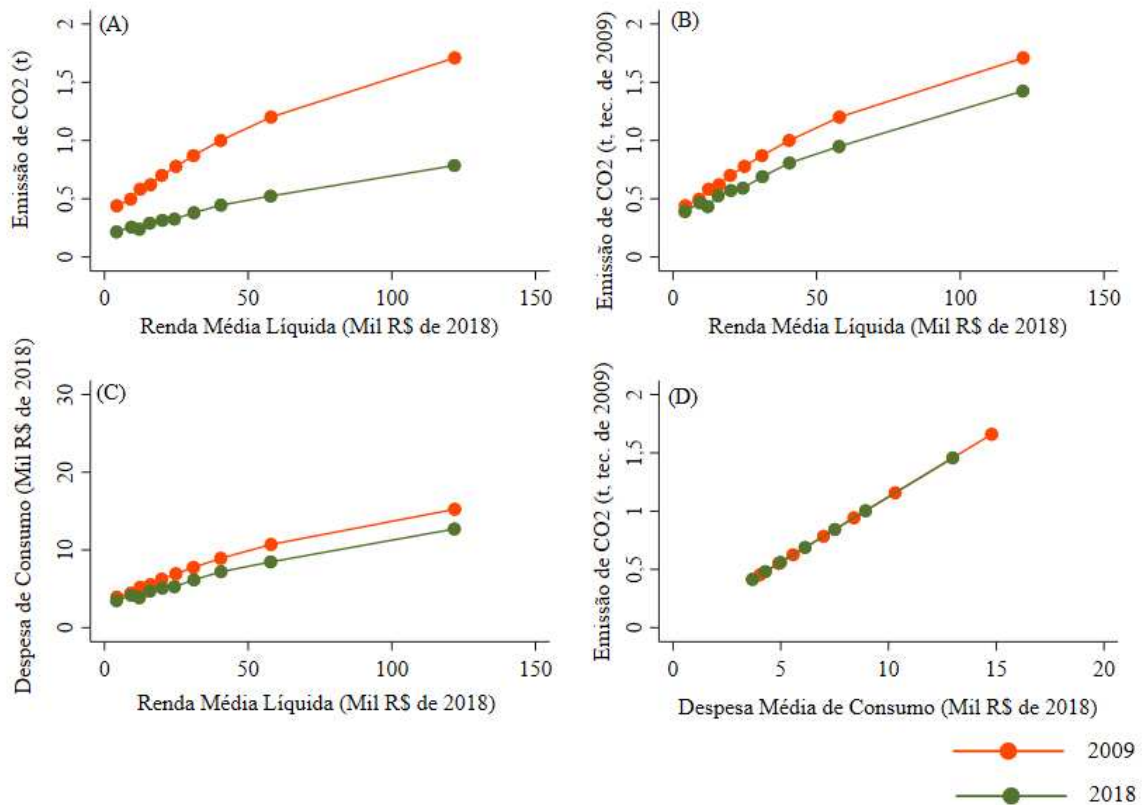
A Figura 7C mostra que as despesas de consumo das famílias por decil de renda entre os dois períodos aumentaram apenas no 1º e no 2º decil e diminuíram a partir do 3º. Em média, a parcela de gastos com despesas de consumo em relação a renda diminuiu cerca de 14% entre 2009 e 2018, ou seja, as famílias gastaram parcela menor de sua renda em 2018. No entanto, vale destacar que as famílias mais pobres tiveram mais gastos com consumo, devido a diversificação de cestas, em que houve diminuição na despesa com consumo dos setores de Alimentação, por exemplo, e aumento nas despesas de Abastecimento de Eletricidade, gás e água, Artigos de uso doméstico e Serviços Pessoais. Além disso, a Figura 7D mostra que as emissões por decil aumentaram para tecnologia constante até o segundo decil, demonstrando que a partir daí as cestas das famílias se tornaram menos intensivas em carbono. No entanto, em média, não houve um efeito de composição tão significativo quando se considera a tecnologia constante. A cada R\$1 gasto em 2009 com consumo há 0,089 kg de CO₂ adicional. E para tecnologia constante, em 2018, esse valor seria de 0,083kg/R\$. Isso quer dizer que, em média, a cesta de bens das famílias ficou menos intensiva quando se considera tecnologia constante de 2009, porém com baixas alterações. No entanto, considerando a tecnologia variável, a cada R\$1 gasto com consumo, há 0,05 kg de CO₂ adicional em 2018, indicando que as famílias brasileiras consumiram uma cesta de bens menos intensivos em carbono em 2018 do que em 2009. Assim, em geral, as CAEs se deslocaram para baixo pois houve melhorias nas intensidades de emissão (tecnologia) combinadas com efeitos de economia e composição. No entanto, a melhoria tecnológica sobressaiu-se em relação aos demais efeitos.

Para o grupo Alimentos (Figura 8), se a intensidade de emissão do setor de 2009 fosse a mesma para o ano de 2018, as emissões médias em 2018 seriam de 710,53 kg (Figura 8B). Contudo, devido, em parte, à queda nas intensidades de emissão do setor de alimentos, esse valor foi para 391,95 kg em 2018 (Figura 8A). A Figura 8C mostra que as famílias de todos os decis gastaram uma parcela menor da sua renda em 2018 com alimentos, no entanto para os decis superiores essa queda foi maior. Porém, quando se analisa a diversificação das despesas,

¹⁵ As emissões totais em 2009 foram de 159.578,12 toneladas e em 2018, com tecnologia constante de 2009, seriam de 176.626,04 t, ou seja, haveria aumento. No entanto, na média, os valores com a tecnologia constante de 2009, foram, respectivamente, para 2009 e 2018 de 2,88 t por família e 2,76 t por família, ou seja, houve uma queda.

observa-se que as cestas das famílias não sofreram variações significativas entre os dois períodos (Figura 8D)¹⁶.

Figura 8 – Efeitos tecnologia, economia e composição para o grupo de Alimentos



Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: A Figura 8 mostra o relacionamento da renda média líquida e as emissões médias de origem dos alimentos por decil de renda considerando tecnologia variável (A); a relação entre renda média líquida e emissões dos alimentos média com tecnologia constante de 2009 (B); relação entre renda média líquida e despesas médias de consumo com alimentos (C); e a relação entre as despesas médias de consumo alimentar e as emissões de origem do consumo alimentar médias com a tecnologia constante de 2009 (D). Valores reais de janeiro de 2018.

4.2.3 Curvas Ambientais de Engel (CAEs) paramétricas

Com objetivo de analisar os movimentos ao longo das CAEs devido à renda, a Tabela 12 apresenta os resultados da regressão paramétrica, referentes às estimações das equações 10 e 11 para os anos 2009 e 2018 separadamente. Vale ressaltar que as curvas padrão de Engel podem variar de acordo com as características do consumidor. Assim, no contexto da CAE, essas características podem influenciar nos movimentos das mesmas. As famílias possuem

¹⁶ Para alimentos específicos ver Apêndice Figuras A1 a A6.

diferentes tamanhos, membros com diferentes idades e residem em locais muito distintos. Nesse sentido, a análise de decomposição na Tabela 12 possui como objetivo separar a contribuição da renda nas emissões domésticas, mantendo demais características constantes, explicando apenas associações lineares parciais.

Tabela 12 – Estimação paramétrica da Curva Ambiental de Engel, 2009 e 2018

	2009		2018	
	(1) MQO	(2) MQO	(3) MQO	(4) MQO
Renda líquida (Mil R\$)	81,291*** (1,442)	67,423*** (1,615)	38,655*** (0,502)	31,242*** (0,544)
Renda ao quadrado	-0,097*** (0,010)	-0,058*** (0,010)	-0,062*** (0,003)	-0,041*** (0,003)
Tamanho da família		343,200*** (17,332)		212,703*** (8,894)
Tamanho ao quadrado		-23,691*** (1,796)		-10,222*** (1,063)
Idade		39,165*** (3,052)		17,626*** (1,453)
Idade ao quadrado		-0,408*** (0,029)		-0,182*** (0,013)
Sem instrução		-1.489,099*** (89,130)		-754,161*** (25,218)
Fundamental Incompleto		-1.332,087*** (87,812)		-637,731*** (23,041)
Fundamental Completo		-1.191,904*** (90,184)		-512,610*** (25,807)
Médio Incompleto		-974,845*** (91,913)		-515,293*** (27,442)
Médio Completo		-886,205*** (86,968)		-352,335*** (23,491)
Superior Incompleto		-333,154*** (124,459)		-162,383*** (37,559)
Superior Completo		-		-
Norte		219,361*** (36,650)		-164,423*** (18,573)
Nordeste		-17,715 (31,355)		-171,340*** (16,457)
Sul		584,872*** (48,664)		-39,559** (19,796)
Sudeste		210,360*** (36,639)		-168,708*** (17,514)
Centro – Oeste		-		-
Urbano		124,219*** (20,828)		117,736*** (10,573)
Constante	621,484*** (22,993)	180,274 (112,476)	462,721*** (9,645)	264,194*** (45,611)
Observações	55.343	55.343	63.877	63.877
R ²	0,46	0,48	0,46	0,50

Fonte: Elaboração própria com base em Levinson e O'Brien (2019) e Sager (2019). Notas: Erros padrão entre parênteses. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$.

Os valores estimados dos coeficientes $\widehat{\beta}_1 > 0$, da variável renda líquida, indicam que as CAEs são inclinadas para cima e $\widehat{\beta}_2 < 0$, da variável renda líquida ao quadrado, que são côncavas. Logo, a elasticidade renda para o CO₂ doméstico tende a ser menor que 1, indicando que a poluição familiar é um bem normal, que se comporta como uma necessidade. As estimativas para a variável “Renda” foram significativas em todos os modelos e nos dois anos da amostra. Todas as demais covariáveis foram significativas, com exceção de “Nordeste” em 2009. As estimativas das colunas 2 e 4 sugerem que embora as outras características pareçam estar associadas com as emissões de CO₂ doméstico, as CAEs continuam sendo côncavas após os controles¹⁷. No entanto, o uso dessas características reduz a magnitude dos coeficientes. Posterior à renda, as variáveis “tamanho da família”, “idade do responsável” e “localização urbana” relacionam-se positivamente com as emissões domésticas nos dois anos considerados. As demais variáveis possuem relação negativa. Além disso, o ponto máximo da renda, onde a partir da aí as emissões diminuem ocorre onde a renda é igual a 419,02 (Mil R\$) em 2009 e 311,73 (Mil R\$) para 2018.

4.2.4 Movimento ao longo das CAEs

Como visto na seção 4.2.2, o efeito tecnologia dominou a mudança de posição da CAE entre 2009 e 2018, deslocando-a para baixo. No entanto, não foi possível captar quanto desse movimento é atribuído à dinâmica da renda, ou seja, quanto das mudanças das emissões entre 2009 e 2018 são devidas, à variação nos níveis de renda média, bem como em outras características demográficas das famílias. Assim, por meio da decomposição de Oaxaca-Blinder foi possível separar a dinâmica dos movimentos da CAE mantendo outras mudanças demográficas constantes.

A Tabela 13 apresenta os resultados da decomposição de Oaxaca-Blinder. Cada entrada é calculada multiplicando a diferença média entre os valores das variáveis consideradas (coluna 3 da Tabela 5) pelos coeficientes da regressão 2 (Tabela 12, coluna 2) e representa a mudança na poluição prevista pela mudança na variável específica, mantendo todas as outras constantes, incluindo a tecnologia¹⁸. Na parte inferior da Tabela 13 foram agrupados os efeitos

¹⁷ Esse comportamento é similar para o grupo de Alimentos e para o consumo de carne bovina (Tabelas A5 e A6 do Apêndice).

¹⁸ A decomposição leva em consideração a tecnologia constante de 2009.

relativos à renda (mudança na CAE) e os relativos à mudança demográfica. A diferença inexplicável é atribuída à mudança da CAE (incluindo efeitos de economia e composição).

Tabela 13 – Movimento ao longo das CAEs paramétricas

Variável Dependente:	
Emissão de CO ₂ por família (kg)	CO ₂
Renda Líquida Média (Mil R\$ de 2018)	414,65
Renda Líquida ao quadrado	-38,56
Tamanho da Família	-78,94
Tamanho da Família ao quadrado	42,88
Idade	94,39
Idade ao quadrado	-93,71
Dummies Educação	98,23
Dummies Regionais	19,31
Mudança total devido a renda (movimento ao longo da CAE)	376,09
Mudança total devido a outras variáveis demográficas	82,18
Diferença inexplicável (mudança da CAE)	-576,60

Fonte: Elaboração própria com base em Levinson e O'Brien (2019) e Sager (2019). Nota: A mudança total é calculada pela soma das variações individuais. Os valores para educação e região são os efeitos combinados para cada categoria.

As emissões de CO₂ incorporadas no consumo médio das famílias (a tecnologia constante de 2009) diminuiram apenas 118,33 kg entre 2009 e 2018 (Tabela 5). Mudanças na renda média líquida e renda ao quadrado levaram a um aumento hipotético de 376,09 kg. Ao mesmo tempo, a mudança demográfica teria levado a um aumento adicional de 82,18 kg. A diferença restante, -576,60, é atribuível a deslocamento da CAE, o que engloba os efeitos economia e composição, visto que a tecnologia é constante. Logo, os efeitos de escala resultaram num aumento de emissões, bem como as variações demográficas. No entanto, os efeitos de economia e composição foram muito maiores negativamente.

4.2.5 Decomposição da desigualdade das emissões de CO₂ doméstico

Os resultados anteriores sugerem, considerando a tecnologia constante, que as mudanças do posicionamento da curva foram muito mais significativas do que as mudanças ao longo da curva. Isso quer dizer que os efeitos de economia do consumo e composição foram muito mais significativos para a queda das emissões domésticas do que a variação na renda. No entanto, a mudança da renda por si só seria responsável pelo aumento das emissões (Ver Tabela 13). Assim, mesmo que os demais efeitos tenham se sobressaído, diminuindo as emissões, a

renda das famílias brasileiras e suas características, ainda sim, são considerados importantes determinantes das emissões domésticas, visto que influenciam positivamente no consumo e, conseqüentemente, na geração de emissões.

Nesse sentido, dado que a renda é um importante mecanismo gerador de emissões, a decomposição abaixo (Tabela 14), permite identificar a contribuição da renda e das demais variáveis na desigualdade de emissões domésticas por meio da abordagem de Fields (1982). A Tabela 14 mostra os resultados das estimativas para os anos 2009 e 2018.

Tabela 14 – Decomposição da desigualdade de emissão doméstica

	2009		2018	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Renda líquida (Mil R\$)	0,6584	0,5463	0,5821	0,4705
Renda ao quadrado	-0,1261	-0,0755	-0,1533	-0,1027
Tamanho da família		0,0209		0,0406
Tamanho ao quadrado		-0,0082		-0,0135
Idade		0,0016		-0,0042
Idade ao quadrado		0,0036		0,0081
Educação (soma)		0,0561		0,0556
Região (soma)		0,0117		0,0089
Residual	0,6183	0,5943	0,4886	0,4542
Observações	55.343	55.343	63.877	63.877
Contribuição total da renda	46%	41%	47%	40%
Contribuição total das variáveis demográficas	-	7%	-	10%
Outras variáveis (residual)	54%	52%	53%	50%

Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: A decomposição da desigualdade foi baseada nas estimativas dos coeficientes de modelos de regressão linear (Tabela 12). Os cálculos foram feitos usando Stata INEQRBD por Fiorio e Jenkins (2007).

Os resultados mostram que a renda é a principal variável que contribui para a desigualdade de carbono das famílias brasileiras nos dois anos. A renda representou cerca de 41%-46% da dispersão das emissões de CO₂ (Colunas 2 e 1) em 2009 e 40%-47% em 2018. Considerando as demais covariáveis, posterior à renda, o nível educacional influenciou em 5% e 6% em 2009 e 2018, respectivamente. A parcela “Outras variáveis (residual)” sugere que existem outras variáveis que influenciam significativamente na dispersão de CO₂ que não são contabilizadas pela renda e demais covariáveis (52% em 2009 e 50% em 2018).

4.3 Dilema “Equidade-Poluição”

O resultado obtido na regressão paramétrica mostra que as CAEs são inclinadas para cima e côncavas, sendo que essa concavidade sugere a existência do dilema de equidade e poluição no Brasil. Assim, a redistribuição progressiva da renda pode aumentar as emissões agregadas do consumo. A Tabela 15 apresenta a quantificação do dilema para os anos 2009 e 2018.

Tabela 15 – Dilema Equidade-Poluição

	2009	2018
$\widehat{\beta}_2$	-0,058	-0,041
Ψ (Mil R\$)	29,82	34,63
$-2\widehat{\beta}_2\Psi$ (Dilema - kg)	3,46	2,84
Redistribuição Marginal	3,64%	6,11%
Redistribuição Completo	-0,0000026%	0,000000705%

Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019).

Quanto maior a diferença média de Gini (Ψ), maior a dispersão da renda; quanto menor o valor dos coeficientes $|\widehat{\beta}_2|$, menor a concavidade da CAE. Os resultados desta pesquisa mostraram que em 2009 os valores estimados de Ψ foram iguais a 29,82 e as estimativas da CAE apresentaram um $\widehat{\beta}_2$ equivalente a -0,058. Esses valores combinados estimam aumento de 3,46 kg de CO₂ doméstico para uma redistribuição marginal de R\$1000 de uma família de renda mais alta para uma de renda mais baixa. Já para 2018 esse aumento representa 2,84 kg de CO₂ a mais. No entanto, quando são estimados para uma redistribuição completa, ou seja, caso todas as famílias tivessem a mesma renda média, o dilema de equidade e poluição seria praticamente inexistente, visto que as estimativas sugerem variação nula tanto para 2009 quanto para 2018 (Tabela 15). Para o grupo de Alimentos os valores estimados para o dilema foram menores, já para o grupo de carne bovina foram quase o dobro (Tabelas A7 e A8 do Apêndice).

5. DISCUSSÃO

Os resultados apresentados demonstram que as emissões médias das famílias brasileiras diminuíram 41% entre 2009 e 2018. No entanto, se a tecnologia permanecesse inalterada, essa queda seria de apenas 4%. Assim, as inovações tecnológicas ocorridas nesse período foram extremamente importantes para conter o crescimento das emissões domésticas. As cestas das famílias brasileiras, em média, ficaram menos intensivas em carbono. A cada R\$1 gasto com despesa em 2009 emitia-se cerca de 0,089 kg de CO₂ e esse valor caiu para 0,05 em 2018. Em todos os setores de consumo das famílias houve queda nas intensidades de emissão. Os setores com maiores valores de intensidade de emissão foram Energia, Serviços de Transportes e Artigos de uso doméstico. Porém, devido ao elevado consumo, os setores de Alimentos e Serviços de Transportes foram responsáveis por quase a metade das emissões domésticas nos dois anos da amostra. Em direção oposta à tecnologia, o crescimento da renda em si proporciona aumento das emissões domésticas, principalmente nas classes mais baixas. As curvas ambientais de Engel demonstram que rendas mais altas estão relacionadas com maiores emissões domésticas de CO₂, no entanto, à medida que a renda cresce, as emissões aumentam menos que proporcionalmente. Logo, há uma grande desigualdade de emissão, devido principalmente à desigualdade de renda. As estimativas sugerem que é possível combater a desigualdade renda, de forma ampla, sem intensificar as emissões via consumo. Nesta seção são discutidos os principais resultados da pesquisa.

5.1 Os *drivers* das emissões domésticas brasileira

Os resultados desta pesquisa mostraram que, em média, as emissões das famílias brasileiras diminuíram entre os dois períodos analisados. Os valores de intensidade de emissão dos setores combinados com a alocação dos bens de consumo nas cestas familiares fizeram com que os setores de Alimentos e Transportes fossem classificados como os principais *drivers* das emissões domésticas brasileira. Estes resultados estão em consonância com os relatados anteriormente por Lenzen et al. (2006), Perobelli et al. (2015) e Carvalho et al. (2020), também para o Brasil, além disso, tal comportamento é evidenciado para outros países. Na China, por exemplo, as categorias de consumo voltados a alimentação, habitação, artigos para uso doméstico e transporte são os gastos com maior intensidade de emissão de GEE (Wei et al., 2007; Zhang et al., 2020). Na Bélgica, os setores de energia e habitação apresentaram

intensidade de emissão superior as demais categorias de bens de consumo (Lévy et al., 2021). Já para os Estados Unidos (EUA), as intensidades de emissão do setor de transporte também apresentaram o maior valor, seguido do setor de habitação (Jones e Kammen, 2011; Sager, 2019). De maneira geral, as categorias de transporte, habitação e energia tendem a apresentar maiores níveis de intensidade de emissão (Druckman e Jackson, 2016; Yuan et al., 2022).

As estimativas de CO₂ doméstico encontrados por Moz-Christofoletti e Pereda (2021a) mostram que os setores de “Alimentos e bebidas” e “Deslocamento e Transporte” apresentaram os maiores valores de emissão das famílias brasileiras. Os destaques para o setor de Deslocamento se referem ao fato de a frota rodoviária ser movida a diesel e o setor de Transporte, tanto individual quanto coletivo, com prevalência de carros movidos sobretudo a gasolina (em menor intensidade também o etanol). Além disso, os elevados valores de emissão no setor de Alimentos e bebidas se devem não somente ao maior consumo nesse setor, mas também à dependência do setor de Deslocamento de cargas no país. Já os níveis relativamente baixos encontrados nos setores de energia elétrica se devem ao fato de grande parte da população ser abastecida por fontes hidrelétricas (Moz-Christofoletti e Pereda, 2021a). Outros estudos, no entanto, mostraram que o setor de Habitação representa uma parcela relativamente alta nas emissões domésticas em países como Austrália, Holanda e Reino Unido (Nijdam et al., 2005; Dey et al., 2007; Druckman e Jackson, 2009; Moz-Christofoletti e Pereda, 2021a).

Além dos valores de intensidade de emissão dos setores de Energia e Transportes, a forma como as famílias distribuem os seus gastos com consumo de bens e serviços impacta na quantidade de emissão doméstica (Sager, 2019). Nesse sentido, variações de consumo entre países e dentro dos países são determinantes para as emissões de GEE. No geral, existe diferença no padrão de consumo entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento (Yuan et al., 2022). Em média, nos países desenvolvidos a maior parte da renda das famílias é destinada ao consumo de bens relacionados a habitação, água, eletricidade, gás e outros combustíveis, seguido de transporte e alimentação. Já em relação aos países em desenvolvimento, nota-se uma parcela relativamente alta destinada a alimentação, seguida de habitação, água, eletricidade, gás e outros combustíveis. Assim, nos países desenvolvidos grande parte das emissões domésticas são de origem do consumo de transporte, visto que esse bem representa uma parcela substancial nos gastos das famílias e elevada intensidade de emissão. Enquanto isso, nas regiões em desenvolvimento ou emergentes, as emissões são impulsionadas pelo aumento do consumo em alimentos.

O crescimento econômico, em parte, pode elevar as emissões agregadas de poluentes nos países, principalmente devido à alteração nos padrões de consumo das famílias. Como discutido por Sager (2019), quando o crescimento econômico não é aproveitado em termos de melhorias tecnológicas, como diminuição das intensidades de emissão dos bens, pode gerar maiores níveis de poluição. Tal fato foi evidenciado nos países em desenvolvimento entre 2005-2015, nos quais a alteração nos padrões de consumo do setor de alimentos para o setor de habitação e transporte elevou as emissões domésticas (Yuan et al., 2022).

No Brasil, os resultados desta pesquisa mostraram que a queda na intensidade de emissão entre 2009 e 2018, em parte, evitou que as emissões fossem ainda maiores. Considerando a média dos setores, houve queda de 45% nas intensidades de emissão. Anteriormente, Perobelli et al. (2015) também haviam demonstrado que as intensidades de emissão de todos os setores produtivos diminuíram entre 2003 e 2009, em particular para os setores de transporte, energia e eletricidade, gás e água. Contudo, as emissões totais das famílias nesse período aumentaram 23%, devido ao crescimento da renda e do consumo (Perobelli et al., 2015). As emissões poderiam ter sido ainda maiores caso as intensidades de emissão permanecessem constantes. Tal comportamento também foi encontrado para os EUA, onde as emissões domésticas em 2009 seriam 53% maiores caso as intensidades de emissão dos setores econômicos fossem as mesmas de 1996. A melhoria nos valores fez com que as emissões fossem 10% menores (Sager, 2019).

Isso mostra que as inovações tecnológicas nos processos produtivos são de grande importância para reduzir a intensificação das mudanças climáticas. Mundialmente, as intensidades de emissão dos setores reduziram 15% entre 2005 e 2015 (Yuan et al., 2022). Essa queda está associada, entre outros fatores, à maior produção e uso de energias sustentáveis. Diversos estudos afirmam que os fatores tecnológicos são cruciais para determinar a geração de emissões domésticas, uma vez que permitem menor geração de intensidade de emissão em bens de consumo (Chitnis et al., 2013; Asumadu-Sarkodie e Yadav, 2019). Asumadu-Sarkodie e Yadav (2019) destacam que as tecnologias de baixo carbono, consumo e produção por meio de energia mais limpa podem aliviar a poluição ambiental. Porém, Chitnis et al. (2013) argumentam que essa mudança não necessariamente levaria a emissões menores, devido ao potencial efeito rebote. Em outras palavras, mesmo que a intensidade de emissão de um determinado bem de consumo seja menor como consequência de inovações tecnológicas, as

famílias tendem a aumentar o consumo em outros bens, que podem ser mais intensivos em emissões de GEE.

Na Noruega, por exemplo, os valores de intensidade de emissão foram inferiores aos do Reino Unido e da Suécia para os setores de Eletricidade, Transporte e Educação, devido a produção por de meio energias limpas (Kerkhof et al., 2009). Em média, as famílias da Holanda e do Reino Unido geram mais emissões do que as da Suécia e da Noruega, e esse resultado é devido, em partes, aos valores elevados de intensidade de emissão dos setores de Habitação, no qual há grande utilização de gás natural para aquecimento. Já na Suécia e Noruega, a maioria das residências é abastecida por energia elétrica. Além disso, na Noruega, grande parte da eletricidade direta é gerada por meio de hidrelétricas, o que explica os valores baixos de intensidade quando comparados com os demais países. Os valores elevados de intensidade de emissão do setor de Transporte nesses países se devem às emissões de origem da gasolina (Kerkhof et al., 2009). Nos EUA, entre os anos 1996 e 2009, as intensidades de emissão de todos os setores se reduziram, devido a novas fontes de tecnologia de produção sustentáveis e mudanças nas estruturas de insumos (Sager, 2019). A intensidade de emissão do setor de transporte no Japão e na União Europeia foi menor que na Rússia e na Turquia, isso porque houve substituição dos veículos antigos por veículos modernos de baixo consumo de combustível (Yuan et al., 2022). Por outro lado, em várias regiões emergentes, como no México e África do Sul, o aumento da intensidade de emissão impulsionou as emissões domésticas em cerca de 5% (Yuan et al., 2022).

A explicação para diferentes níveis de intensidades dos bens varia tanto quando se considera a origem da matéria-prima e energia utilizada para a produção até se há geração de resíduo final. Os bens de consumo de origem de energia, como combustível e gás natural, são mais poluentes devido ao seu processo de origem direta. Já no grupo de alimentos, a diferença na intensidade de emissão pode variar dentro do próprio setor, a depender da origem do produto e forma de fabricação (Carvalho e Perobelli, 2009). Alimentos de origem animal, por exemplo, podem carregar intensidade de emissão mais alta, uma vez que levam em consideração a liberação de poluentes mais potentes no processo agropecuário (metano, por exemplo). Por outro lado, alimentos industriais, além de demandar energia nos processos produtivos, podem gerar mais resíduos no meio ambiente, ou seja, podem ser mais intensivos em poluentes e, por conseguinte, gerar mais emissões de GEE (Koroneos et al., 2005; Roy et al., 2009).

Não somente nos bens alimentares, mas também em bens de consumo duráveis, a intensidade de poluição pode diferir dentro do setor. Os bens duráveis requerem quantidades substanciais de energia durante seu processo produtivo, além de muitos exigirem o uso de energia direta na forma de consumo. Assim, os veículos de transportes, por exemplo, apresentam cargas energéticas mais elevadas em relação a outros bens, como os eletrodomésticos, em consequência do processo produtivo e da necessidade de uso de combustíveis para a utilização dos mesmos (Vita et al., 2021). Isso faz com que a intensidade de emissão desses bens, mesmo pertencendo ao mesmo grupo (duráveis) tenha valores muito distintos. De maneira geral, o grau de intensidade de emissão de bens e serviços de consumo varia de acordo (i) com o processo produtivo entre diferentes setores e dentro dos setores, que podem exigir menos ou mais fontes de energia; (ii) com a forma de consumo, ou seja, se necessitam de combustíveis para funcionamento, por exemplo; e também variam se estes bens produzem resíduos poluidores.

Nesse sentido, no contexto de emissões domésticas, se faz necessário a implementação de políticas tanto do lado da oferta quanto da demanda (Zhang e Wang, 2017). Do lado da oferta, a diversificação de fontes de energia empregada em direção a fontes mais renováveis pode ser uma ferramenta valiosa para diminuir as emissões domésticas de CO₂. O Brasil tem potencial para produzir energia de fontes renováveis devido às suas características, como biodiversidade, tamanho, insolação e localização (Lima et al., 2020; Polloni-Silva et al., 2021). No país existem muitas regiões com potencial para energia solar e eólica, principalmente nas áreas litorâneas (Jong et al., 2017; Macedo et al., 2017; Polloni-Silva et al., 2021). Há também alternativas de fontes de combustíveis em crescimento, como os biocombustíveis, que tendem a beneficiar o controle das emissões (Polloni-Silva et al., 2021). Do lado da demanda, políticas voltadas para a conscientização do consumo e descarte eficiente podem minimizar as emissões domésticas. Em países desenvolvidos como a Finlândia, Estados Unidos e Noruega, por exemplo, foram implantadas políticas tributárias com o intuito de minimizar as emissões domésticas. Impostos de carbono foram aplicados de modo que as externalidades negativas geradas fossem pagas pelos consumidores (Zhang e Wang, 2017). Além disso, o imposto sobre o carbono estimula a melhoria e inovação em tecnologias mais limpas (Eide et al., 2014). Para o Brasil, estudos indicam que impostos sob o carbono são efetivos para a redução das emissões no curto prazo, no entanto, há perdas de bem-estar principalmente para os mais pobres, o que

dificulta sua implantação, principalmente considerando a complexidade do sistema tributário do país (Moz-Christofoletti e Pereda, 2021a).

5.2 A desigualdade de carbono das famílias brasileiras

Globalmente, o setor doméstico representa mais de 60% das emissões de GEEs, variando entre 80% para países desenvolvidos e 40% para os em desenvolvimento (Yuan et al., 2015; Ivanova et al., 2016; Liu et al., 2020a). Os padrões e os estilos de vida impulsionam as emissões de GEE incorporadas na cadeia produtiva (Ivanova et al., 2017; Wiebe et al., 2018; Joyce et al., 2019; Duarte et al., 2021). Nesse sentido, atingir a meta climática para controlar o aquecimento global sem analisar o comportamento do consumo doméstico é praticamente impossível (Liu et al., 2020a). Os resultados deste estudo demonstraram que as emissões médias das famílias brasileiras em 2009 e 2018 foram, respectivamente, de 2,8 e 1,7 toneladas. Outros estudos estimaram as emissões *per capita* brasileira em 2,30t em 2009, 2,39t em 2018¹⁹ e 3,08t de CO₂e em 2019²⁰ (Moz-Christofoletti e Pereda, 2021b; Our World in Data, 2022). Esses valores são inferiores aos de outros países em desenvolvimento, como o México que possui estimativa de 6,3t por família em 2012, e a China, com 5,2t. em 2011 (Li et al., 2019; Vera et al., 2021).

Em relação à distribuição das emissões entre os níveis de renda, é nítida a presença da desigualdade de carbono nas famílias brasileiras. Os resultados desta pesquisa retratam que, em 2018, uma pequena parcela da população, classificada como os 10% mais ricos (7.242 famílias), poluíram mais do que os 50% mais pobres conjuntamente (27.863 famílias). De fato, muitos estudos mostraram que existe uma desigualdade alta nas emissões domésticas brasileiras (Perobelli et al., 2015; Carvalho et al., 2020; Ivanova e Wood, 2020; Moz-Christofoletti e Pereda, 2021a). No México, outra grande economia latino-americana, as famílias mais pobres emitem 2,7% das emissões de CO₂e, enquanto as mais ricas emitem cerca de 26,8% (Vera et al., 2021). Tal comportamento é evidenciado também para outros países em desenvolvimento,

¹⁹ As emissões de dióxido de carbono (CO₂) baseadas no consumo são emissões nacionais ou regionais que foram ajustados para o comércio (ou seja, emissões territoriais/de produção menos emissões incorporadas em exportações, mais emissões embutidas nas importações). No entanto, esse valor inclui as emissões da produção de energia (de carvão, petróleo, gás e queima) mais as emissões industriais diretas da produção de cimento (Our World in Data, 2022). Além disso, as estimativas não levam em consideração as despesas das famílias efetivamente realizadas, as quais são abordadas neste estudo por meio das pesquisas domiciliares.

²⁰ Neste estudo foram contabilizadas as emissões de CO₂e englobando os gases Dióxido de Carbono (CO₂), Hidróxido de Amônio (NH₄) e Óxido Nitroso (N₂O).

como a China (Golley e Meng, 2012; Li et al., 2019; Wang e Yuan, 2022); e desenvolvidos, como países da Europa (Duarte et al., 2021) e os EUA (Sager, 2019).

Além disso, numa análise global, estudos indicam que as regiões mais ricas e urbanas do mundo emitiram cerca de três vezes mais do que as mais pobres (Yuan et al., 2022). E que a desigualdade de carbono global se estabilizará em um coeficiente de Gini de 0,5 (Semieniuk e Yakovenko, 2020). O coeficiente de Gini das emissões para esta pesquisa foi de 0,48 em 2009 e 0,43 em 2018. Esses valores estão próximos aos de outras economias da América Latina e Caribe, nas quais o coeficiente de desigualdade de carbono variou entre 0,33 (no México) e 0,52 (em Honduras) (Zhong et al., 2020). Remuzgo e Sarabia (2015) constataram que a desigualdade de carbono global diminuiu 22% entre 1990 e 2010, tendo o crescimento econômico como principal fator determinante para essa queda. No entanto, estudos relatam que se o crescimento econômico não for inclusivo, o crescimento da renda pode não reduzir a desigualdade de carbono (Wang e Yuan, 2022). Portanto, as políticas voltadas ao crescimento econômico devem ser inclusivas para assim reduzir a desigualdade de gastos e, conseqüentemente, a desigualdade de carbono (Wang e Yuan, 2022).

Como os resultados desta pesquisa demonstraram, essa alta desigualdade de carbono é devida, principalmente, à renda das famílias, com as de maior renda demandando mais bens e serviços de consumo. Esse resultado corrobora com a literatura brasileira e internacional (Perobelli et al., 2015; Carvalho et al., 2020; Sager, 2019; Wang e Yuan, 2022). Em média, a renda das famílias aumentou entre 2009 e 2018 e as famílias mais pobres (1º decil) diversificaram suas cestas e tiveram despesas maiores nos bens dos setores Abastecimento de Eletricidade gás e água e Artigos de uso doméstico e as mais ricas (10º decil) aumentaram o consumo em Educação e bem-estar e Serviços Médicos. Ou seja, as famílias mais pobres diversificaram suas cestas para bens mais intensivos em emissão, enquanto que as mais ricas para bens de consumo menos intensivos. Esse cenário condiz com o cenário mundial. Nos países pobres, geralmente uma grande parte da população vive essencialmente fora da “economia de carbono” e produz poucas emissões, enquanto os ricos já têm propensões marginais mais baixas a emitir do que os grupos de renda média (Grunewald et al., 2017). As famílias mais ricas já estarão consumindo o que precisam, sem necessidade de mudanças nos padrões de consumo mais intensivos. Logo, aumentos em renda levariam a aumentos crescentes de emissão nas classes mais baixas e decrescente nas mais altas, *ceteris paribus*.

Outros estudos demonstraram que no Brasil, entre 2003 e 2009, o crescimento da renda teve a maior taxa nas classes mais pobres, e isso tornou o consumo dessas famílias mais diversificado. Além disso, nas classes mais altas, o crescimento da renda tornou as cestas menos intensivas (Perobelli et al., 2015). No entanto, devido às estruturas de consumo das famílias, o aumento da renda leva ao aumento do consumo de bens duráveis, energia e transporte, o que implica em um *trade-off* entre maior satisfação, principalmente nas classes mais pobres, e os retrocessos crescentes das emissões domésticas devido à modificação de cestas (Perobelli et al., 2015).

Tal comportamento foi evidenciado também em alguns estudos para as famílias do México, sugerindo que para as famílias mais pobres o aumento da renda está associado a níveis mais altos de um ou mais dos consumos relacionados à energia direta e emissões indiretas de carbono, os quais possuem elevada intensidade de emissão. Vera et al. (2021) identificaram que no México, quando as famílias pertencentes às classes mais baixas de renda obtêm ganhos mais elevados, devido a uma redistribuição de renda, por exemplo, as emissões de origem do consumo são impulsionadas; mesmo que as famílias de baixa renda emitam menos com relação às mais ricas, o efeito adicional do aumento da renda é maior do que o efeito da queda nas classes mais ricas.

Segundo Brännlund e Ghalwash (2008), a razão para essa relação de emissão e renda, nas classes mais altas é devido também, em partes, às intensidades de emissão e elasticidades de renda para os vários bens de consumo doméstico. Assim, os bens com elasticidades de renda relativamente altas tendem a ter intensidades de emissão relativamente baixas e vice-versa. Logo, o aumento na renda tende a dar origem a uma mudança de bens de alta intensidade de emissão para bens de baixa intensidade, como por exemplo, o consumo de gasolina e o consumo de lazer. Segundo os autores, a gasolina possui uma elasticidade-renda relativamente baixa, mas uma intensidade de emissão muito alta, enquanto o lazer apresenta uma elasticidade-renda relativamente alta, mas uma intensidade de emissão relativamente baixa. Assim, o consumo de gasolina crescerá a uma taxa menor do que a renda e o consumo de lazer a uma taxa mais elevada, o que dá origem a uma desaceleração nas emissões (Brännlund e Ghalwash, 2008).

Assim, os resultados mostram que a desigualdade de emissão deve ser considerada na formulação de políticas de mitigação. A desigualdade de carbono pode ser reduzida via alteração de renda dos mais pobres e, ou, mudando os estilos de vida dos mais ricos. Para evitar a expansão da desigualdade de emissão e a busca por uma justiça social, uma intervenção

apropriada do lado da demanda deve ser implementada (Wang e Yuan, 2022). As famílias mais ricas devem assumir responsabilidade social e minimizar os gastos com bens, principalmente os de alta intensidade, para assim, dar às famílias mais pobres a oportunidade de consumo e maior qualidade de vida. Juntamente com a melhoria das intensidades de emissão do lado da oferta, o crescimento da renda em si, poderá, em partes, minimizar as emissões domésticas.

5.3 A queda nas intensidades de emissão dos setores da economia brasileira

A mudança tecnológica ocorrida na economia brasileira foi um dos fatores responsáveis pela queda nas emissões de origem doméstica. O fator tecnológico está vinculado aos ganhos de produtividade, mas também à substituição de insumos nos processos produtivos, ou ambos em conjunto (Freitas, 2014). As mudanças tecnológicas aumentam a eficiência da produção, ao mesmo tempo que reduzem o impacto ambiental por unidade produzida (Springmann et al., 2018). No ano de 2009, no Brasil, como resultado da crise financeira de 2008, houve uma queda na produção dos setores da economia, no entanto, a partir daí a produção brasileira voltou a crescer fortemente até 2014 (Souza e Cunha, 2020). As atividades ligadas à agropecuária, indústria e serviços aumentaram sua participação no valor adicionado do país, com ganhos de produtividade média em todos os setores (FGV, 2022). A produtividade total dos fatores foi crescente entre 2009 a 2013, com queda entre 2014 a 2016 (FGV, 2022)²¹. No entanto, o destaque para ganhos de produtividade no período vai para o setor da agropecuária, com crescimento vigoroso e ininterrupto.

A queda nas intensidades de emissão ligadas aos setores da agropecuária, em parte, se deve à medida de intensificação produtiva que, concomitantemente, reduz as emissões de CO₂, via captura do solo, e aumentam a eficiência produtiva. Assim, as técnicas produtivas no setor ficaram mais sustentáveis (Silva e Viera Filho, 2019). A inserção de técnicas de manejo e eficiência dos insumos agrícolas foram primordiais para a queda nas intensidades de emissão. Diversas práticas e técnicas de manejo podem contribuir para a eficiência dos insumos, entre elas, a agricultura de precisão, o cultivo de cobertura, particularmente com culturas fixadoras de nitrogênio, pois reduzem a perda de nutrientes dos sistemas agrícolas, o plantio direto, a irrigação, entre outras. Aumentar a eficiência dos insumos agrícolas traz benefícios ambientais

²¹ Com base no indicador de Produtividade Total dos Fatores (PTF) disponível em: <https://ibre.fgv.br/observatorio-produtividade>.

tanto para os sistemas agrícolas quanto para os pecuários (Clark e Tilman, 2017). O aumento da produtividade agropecuária nas terras agrícolas evita a expansão para novas terras, incentivando a restauração (Jones et al., 2023). Assim, emissões de GEE podem ser mitigadas por meio de reflorestamento e conservação. Além disso, o reequilíbrio de aplicação de fertilizantes, aumento da eficiência do uso de nitrogênio, reciclagem do fósforo e aproveitamento da água são medidas que influenciam significativamente para a queda das intensidades de emissão (Springmann et al., 2018).

As melhores práticas de manejo de nutrientes, por exemplo, devem ser aquelas que recorrem ao uso correto de nutrientes, na quantidade ideal, e na ordem certa de utilização. Melhor desempenho agrônômico é necessário para alimentar a população sem exigir maiores contaminações ambientais (Billen et al., 2015). Além disso, a irrigação e rotação de leguminosas nas culturas agrícolas apresentam excelentes ganhos de produtividade e eficiência, ao mesmo tempo que reduzem as emissões de GEEs (Gu et al., 2023). A agricultura irrigada possui ganho de produtividade de 2 a 3 vezes mais do que as áreas não irrigadas, e no Brasil, entre 2012 a 2019 houve uma intensificação na agricultura irrigada, devido às políticas de crédito e financiamento (Brasil, 2021a). A área irrigada no Brasil cresceu de 4,5 milhões de hectares em 2005 para 6,7 milhões em 2017 (Atlas Irrigação, 2021).

O comportamento agrário e a estrutura agrícola mais eficientes são os que mais preservam os solos, seja pela manutenção de pastagens não degradadas, como pela integração produtiva, principalmente pela integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (Silva e Viera Filho, 2019). O crescimento da ILPF ocorrido no Brasil é outro fator que contribuiu para a queda nas intensidades de emissão, na medida em que a técnica promove a recuperação de pastagens degradadas e concilia na mesma área diferentes sistemas de produção, de modo a aumentar a fertilidade do solo, reduzir o uso de agroquímicos, liberar novas áreas e elevar a produtividade dos sistemas envolvidos (Brasil, 2022a). A área adotada com ILPF no Brasil aumentou de 4,78 milhões de hectares em 2009 para 15,0 milhões em 2019 (EMBRAPA, 2021).

Mesmo apresentando aumento das emissões totais de GEE pela agricultura, há uma redução das emissões pelo balanço de emissões e capturas pelo uso do solo. Esses avanços são resultantes das políticas públicas adotadas pelo país, principalmente com o objetivo de reduzir as emissões de metano (Silva e Viera Filho, 2019). Assim, medidas de intensificação produtiva, bem como medidas que aumentem a capacidade de captura de GEE pelo solo, aumentam a eficiência produtiva e isso se traduz em menores intensidades de emissão do setor. No Brasil,

os diversos programas relacionados à produção da agropecuária tornaram a agricultura brasileira cada vez mais competitiva em termos de eficiência produtiva e parâmetros sustentáveis, o que podem ter contribuído para a queda nas intensidades de emissão do setor de alimentos, por exemplo. O Plano Agricultura de Baixo Carbono (ABC) foi um grande expoente da adoção de tecnologias para a produção sustentável. Executado de 2010 a 2020, o plano tornou-se referência mundial de política pública para o setor (Brasil, 2022a). Dentre os resultados alcançados pelo plano, estimam-se que foram mitigados cerca de 144,56 milhões de toneladas de CO₂e. (2013-2018), alcançando a meta inicial proposta (Manzatto et al., 2020).

Além do aumento de eficiência técnica, outra possível explicação para a queda nas intensidades de emissão dos setores pode estar relacionada à substituição das fontes de energia nos setores da economia. No Brasil, a fim de diminuir a dependência dos combustíveis à base de petróleo, vem ocorrendo a diversificação da matriz energética. A matriz energética brasileira, considerada como uma das mais sustentáveis do mundo (Balanço Energético Nacional - BEN, 2022), pode ser entendida como toda energia produzida para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos (Vieira et al., 2019). Quanto mais diversificada se torna uma matriz energética, mais resistente se torna o processo de desenvolvimento (Tolmasquim, et al., 2007).

Além disso, a maioria da energia elétrica produzida no país tem origem dos grandes empreendimentos hidrelétricos, o que se traduz também numa matriz elétrica mais sustentável. No entanto, devido a sua total dependência do regime de chuvas, a segurança e previsibilidade dos volumes produzidos nas hidrelétricas apresentam maiores riscos em decorrência das mudanças climáticas (Neto et al., 2017; Galbiatti-Silveira, 2018). Mesmo sendo considerado fonte de energia renovável, a expansão das usinas hidrelétricas ainda causa impactos socioambientais (Galbiatti-Silveira, 2018). Entre os impactos ambientais decorrentes dos grandes empreendimentos de hidrelétricas destacam-se o desmatamento, a perda da qualidade da água, perda de espécies da fauna e flora, intensificação das emissões de GEE de origem dos reservatórios e a formação de processos erosivos.

Assim, a geração de energia elétrica baseada em fontes alternativas renováveis passa a ser uma opção tecnológica nos setores econômicos. As fontes alternativas apresentam baixos índices de degradação ambiental ou emitem menos poluentes. A diversificação na matriz elétrica do Brasil se iniciou fortemente a partir de 2009, quando novas fontes de energia começaram a se destacar, entre elas a eólica, biomassa e solar (Scmidt et al., 2016; Neto et al.,

2019; Vieira et al., 2019). A matriz elétrica brasileira é constituída principalmente por 56,8% de energia hidráulica, 12,8% de gás natural e 10,6% de eólica (BEN, 2022).

A partir de 2006, a energia eólica ingressou na matriz produtiva brasileira, principalmente nas regiões Nordeste e Sul do país. A participação na produção passou de quase nenhuma produção em 2006 para 1,2% da demanda anual em 2014. A oferta de energia eólica no Brasil cresceu 83% entre 2008 e 2019, atingindo 72.286 Gigawatt-hora (Gwh) em 2021, o equivalente a 20% da energia hidráulica ofertada no mesmo ano (362.818 Gwh) (BEN, 2022). A energia eólica é uma das fontes que apresenta o maior potencial de crescimento (Schmidt et al., 2016; Neto et al., 2019). Entre os grandes setores que apresentaram maior inserção de fontes alternativas entre 2008 e 2017, destaca-se o setor energético, industrial, residencial e agropecuário (BEN, 2018; Vieira et al., 2019).

A energia eólica é a fonte que mais cresceu no país em termos de participação a partir de 2009. Seu crescimento foi resultado da combinação de diversos fatores como o desenvolvimento das cadeias produtivas e o tecnológico, questões de aspectos regulatórios, tributários e financeiros (Brasil, 2014; Neto et al., 2017). Diversas iniciativas contribuíram para a inserção de novas fontes de energia renováveis nos setores. A exemplo, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, tem como objetivo principal promover ações e incentivos que contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços e o consumo e desenvolvimento eficiente da energia (Brasil, 2022b). O Procel resultou numa economia de 195,2 bilhões de kWh entre 1986 e 2020, evitando cerca de 1,36 milhão de tCO₂e somente em 2020 (Portal das Indústrias, 2021; Brasil, 2022b).

Outros programas também poderiam ter influenciado a queda das emissões dos setores, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), no qual o objetivo é aumentar a participação de fontes renováveis, como energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas na produção de energia elétrica, visando também reduzir a emissão de gases de efeito estufa (Wenceslau, 2013; CCEE, 2023). Além disso, a partir de 2012²², os brasileiros foram autorizados a investirem na produção própria de energia, de modo a suprir suas necessidades e obter créditos de energia em troca do excedente injetado nas redes de distribuição. Essa resolução favoreceu a diversificação de energia em todas as instâncias, contribuindo para o crescimento de energias renováveis alternativas e economia dos processos industriais (Vieira et al., 2019).

²² Por meio da Resolução 482, de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Os resultados desta pesquisa mostraram que a queda nas intensidades de emissão de todos os setores mitigou de forma significativa as emissões domésticas. No entanto, mesmo com a contribuição dos processos produtivos, é necessário que haja mudanças significativas no consumo, visto que o crescimento populacional tende a ser muito mais rápido do que as inovações tecnológicas. O sistema alimentar, por exemplo, é um dos principais impulsionadores das emissões de GEE, sendo também o responsável por alimentar bilhões de pessoas ao redor do mundo. As mudanças esperadas nos níveis da população e da renda quando não acompanhadas de mudanças tecnológicas e de mitigação de GEE, podem aumentar os impactos no sistema ambiental, atingindo níveis além dos limites planetários²³ (Springmann et al., 2018). Assim, é necessário que haja uma combinação de medidas para que os impactos ambientais de origem doméstica sejam mínimos. Essas medidas devem ir além da eficiência técnica produtiva dos setores, englobando também mudanças no comportamento dos consumidores (Clark e Tilmann, 2017; Springmann et al., 2018; Billen et al., 2015; Jones et al., 2023).

5.4 O comportamento do consumidor como solução para as emissões domésticas

Embora as inovações tecnológicas como solução para mitigarem as emissões domésticas tenham obtido resultados positivos no Brasil, a mudança no comportamento do consumo permite maior flexibilidade para reduzir as emissões nos setores (Ivanova et al., 2020). As opções de mitigação que dependem mais da redução ou mudança pelo lado da demanda estão associadas aos menores desafios de adaptação e mitigação climática (Anderson e Peters, 2016). Mudanças relacionadas aos padrões de consumo domiciliar, como alternativas sustentáveis de transportes, alteração na dieta alimentar e redução do consumo de energia doméstica, apresentam elevado potencial no combate às emissões de GEE (Ivanova et al., 2020). Estima-se que 20% de toda emissão direta do consumo doméstico poderia ser economizada com alteração no uso de equipamentos domiciliares, manutenção de equipamentos domésticos e uso de veículos mais eficientes (Dietz et al., 2009). Além disso, viver sem carros, ou utilizar veículos a bateria e, ou, realizar menos voos de longa duração pode reduzir as emissões *per capita* em cerca de 2,04 tCO₂eq, 1,95 tCO₂eq e 1,68 tCO₂eq, respectivamente (Ivanova et al., 2020).

²³ Limites planetários podem ser definidos como os limites ambientais dentro dos quais a humanidade pode operar de forma segura (Springmann et al., 2018).

O setor de transporte apresenta o maior potencial de mitigação de GEE nas famílias. Estima-se que os usos de veículos pessoais respondem por cerca de 26% das emissões de GEE domiciliares (Wynes et al., 2018). Assim, as ações voltadas ao gerenciamento de uso ou recompensas na compra ou uso de meios menos nocivos, por exemplo, podem contribuir para diminuir a pegada de carbono. Reduzir viagens de carro e de avião contribuem significativamente para a redução das emissões domésticas. Optar por fontes de combustíveis menos nocivos ou por meio de transportes menos intensivos em carbono são opções muitas vezes viáveis aos consumidores. A prática de transporte público ou carona compartilhada pode resultar numa diferença substancial em termos de mitigação. Além disso, a mudança do transporte particular para o transporte particular compartilhado (Lekve Bjelle et al., 2018; Ivanova et al., 2020) gera ganhos de mitigação em termos *per capita* (Ivanova et al., 2020)

No âmbito alimentar, as pesquisas descrevem que as dietas à base de vegetais podem se tornar uma grande oportunidade no combate às emissões domésticas e de adaptação às mudanças climáticas (Kause et al., 2019; Schiermeier, 2019). Estima-se que uma dieta livre de alimentos de origem animal poderia evitar cerca de 8 GgCO₂eq. ao ano (Wynes et al., 2018; Schiermeier, 2019). Por outro lado, o consumo de alimentos à base de animal possui efeitos contrários. Estima-se que em 2017, o consumo de carnes tenha contribuído com 86% da pegada de carbono da dieta brasileira, e esse consumo pode estar relacionado, principalmente, às questões de acesso, poder aquisitivo e desigualdade de renda (Hase Ueta et al., 2023).

Nesta pesquisa, os resultados mostraram que houve queda no padrão de consumo de carne bovina pelas famílias entre 2009 e 2018, principalmente para os decis mais baixos. De acordo com os dados da POF (2008 e 2018), o consumo de carne bovina no decil de renda mais baixo (10% das famílias com menor renda) caiu de 6,05 kg per capita/ano em 2008 para 4,15 kg per capita/ano em 2018 (redução de cerca de 31%); já no decil de renda mais alto (10% das famílias com maior renda), o consumo de carne bovina foi de 21,96 kg per capita/ano em 2008 para 17,99 kg per capita/ano em 2018 (redução de cerca de 18%). Além disso, a concavidade da CAE para os grupos de alimentos de origem animal pode indicar que o consumo desse bem ainda é muito baixo nas classes mais pobres, quando comparado aos demais produtos. Essa redução no consumo de carne bovina pode estar relacionada a vários fatores, como mudanças nos hábitos alimentares, aumento dos preços da carne bovina e aumento da conscientização sobre os impactos ambientais e de saúde associados ao consumo excessivo de carne.

Nesse sentido, ainda no âmbito alimentar, uma sugestão complementar, seria incluir rótulos de carbono nas refeições dos restaurantes como forma de incentivar as pessoas a escolhas saudáveis e sustentáveis. Estima-se que haja diminuição de 3,6% nas emissões com essa prática (Wynes et al., 2018). O uso de informativos nos refeitórios referentes ao consumo de carne vermelha também influencia na queda do consumo por este bem (Carfora et al., 2017; Wynes et al., 2018). Divulgar informações a respeito da pegada de carbono dos alimentos e como diminuí-la são de suma importância para mitigar as emissões de origem doméstica. Estudos relatam que os consumidores possuem pouco conhecimento a respeito de como reduzir as pegadas de carbono da alimentação e que para isso seriam necessários comunicações amplas para ajudar aqueles que realmente desejam optar por escolhas mais sustentáveis (Kause et al., 2019).

Outra questão também relacionada ao consumo de alimentos, corresponde ao desperdício. Estima-se que mais de 30% da produção de alimentos mundial seja desperdiçada por ano (FAO, 2016). Além da própria insegurança alimentar causada, o desperdício e a perda de alimentos provocam impactos ambientais substanciais em todo o sistema alimentar (Birney et al., 2017). Isso acontece, pois, a produção alimentar exige quantidade substancial de água e uso de insumos, como agrotóxicos e fertilizantes, os quais quando não utilizados adequadamente, prejudicam o meio ambiente. Além disso, a expansão da produção agrícola pode gerar desmatamento, exigência de meios de transporte para a demanda e consumo de energia não renováveis. A cada fase da logística na cadeia produtiva há um custo incremental ambiental da produção. Assim, quanto maior o volume de alimentos perdidos ao longo da cadeia produtiva, maiores serão os impactos ambientais.

Existe também a perda atribuída ao comportamento dos indivíduos, toneladas de alimentos são descartadas devido às condições de uso, embalagens e à perecibilidade. No Brasil há altos índices de desperdício na fase de consumo, cerca de 41.000 toneladas de alimentos por ano (Pontes et al., 2022). O país está entre os 10 que mais desperdiçam alimentos no mundo (Pontes et al., 2022). Por exemplo, em estudo relativo a uma rede de restaurantes industriais, Pontes et al. (2022) identificaram que há desperdício diário equivalente a 1.297 kg, distribuídos entre 938 kg de sobras (alimentos preparados, mas não servidos) e 359 kg de restos no prato (distribuídos, mas não consumidos). Além disso, estima-se que o desperdício de alimentos seja responsável por mais de 25% do consumo de água potável no mundo e que 95% dos alimentos descartados acabam se instalando em aterros sanitários, gerando emissões *per capita*

equivalentes a 132 kg de CO_{2eq}. (Birney et al., 2017) e demais impactos ambientais significativos (Principato et al., 2018; Pontes et al., 2022). Dessa forma, alterar o comportamento humano relacionado ao consumo consciente alimentar é primordial no combate às emissões domésticas.

Existem diversas outras opções de consumo que podem ser alterados pelo comportamento do consumidor visando diminuir as emissões no âmbito doméstico, entre elas, pode-se citar, o compartilhamento e consumo de serviços em vez de bens, uso de eletricidade renovável e aquecimento mais sustentável e consumir/adquirir equipamentos que gerem menos emissão (Ivanova et al., 2020). Além disso, para que o consumidor seja incentivado a alterar o seu comportamento, as mudanças comportamentais podem ser apoiadas por várias medidas, como os incentivos financeiros, visando incentivar as reduções de combustível ou energia elétrica, por exemplo; infraestrutura física, como criação de faixas de ciclismo, incentivando o transporte por bicicletas; ações de marketing empresarial, visando ofertar produtos sustentáveis e simultaneamente atrair consumidores de forma estratégica, entre outras (White et al., 2019; Félix et al., 2020; Best et al., 2020).

Por fim, as emissões de origem do consumo doméstico devem ser analisadas além do foco das intensidades de emissão dos setores produtivos. Globalmente, as ações mais comuns dos consumidores em prol das mudanças climáticas e combate às emissões de GEE foram referentes ao uso consciente de água domiciliar, reciclagem de embalagens, economia no uso de energia elétrica domiciliar e compra de eletrodomésticos menos poluentes (IPSOS, 2019). A consideração do comportamento do consumidor, assim como as suas escolhas de consumo de bens e de serviços são questões chaves para mitigar as emissões de GEE em tempos de emergência climática. Assim, é possível atenuar as pegadas de carbono das famílias por meio de opções já disponíveis (Ivanova et al., 2020). Mudanças de comportamento de baixo impacto, porém com tendência de persistir ao longo do tempo, tendem a se tornar mais eficazes do que alterações bruscas (Wynes et al., 2018). Assim, as ações de políticas ambientais devem também incluir o comportamento de consumo dos indivíduos, sejam por meio de incentivos ou por meio da criação de ambientes que facilitem as mudanças comportamentais (Wynes et al., 2018; Van Den Broek et al., 2019).

5.5 O combate à desigualdade de renda é essencial para as mudanças climáticas

As análises envolvendo as questões inerentes às mudanças climáticas devem estar associadas a outras metas, como demonstrado pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas. Assim, erradicar a pobreza e reduzir a desigualdade para alcançar o desenvolvimento sustentável são metas valiosas que merecem ser planejadas simultaneamente (Organização das Nações Unidas - ONU, 2019). O consumo das famílias, seja por meio direto e, ou, indireto, tem papel fundamental para as mudanças climáticas, pois o consumo familiar é responsável por mais da metade das emissões globais de GEE (Duarte et al., 2021). Além disso, o consumo das famílias é dependente da renda domiciliar. Logo, entender como a desigualdade de renda afeta os resultados ambientais, por meio do consumo doméstico, é útil para subsidiar políticas de renda e bem-estar mais assertivas, as quais tendem a ter resultados distintos entre os países e entre os níveis de renda de um país (Dubois, 2019; Baudino, 2020).

As mudanças climáticas e a desigualdade de renda são questões desafiadoras que os países enfrentam ao longo dos últimos anos e merecem ser discutidas simultaneamente (Rojas-Vallejos e Lastuka, 2020). Nesse sentido, os resultados dessa pesquisa mostraram que o combate à desigualdade de renda de forma ampla pode diminuir as emissões médias de CO₂ do consumo das famílias. No entanto, a transferência marginal pode aumentar um pouco as emissões, tornando o dilema de equidade presente. Particularmente, utilizando um resultado específico desta pesquisa, a redistribuição marginal de R\$1.000,00 de uma família brasileira mais rica para uma mais pobre aumentaria as emissões médias, nacionalmente, em 6,11% em 2018.

O dilema de equidade e poluição ou o *trade off* existente entre desigualdade de renda e emissão doméstica foi discutido na literatura e resultados distintos foram encontrados. Os impactos da desigualdade de renda nas emissões domésticas podem variar em muitos aspectos, principalmente aqueles relativos ao nível de desenvolvimento econômico inicial do país e o nível de desigualdade existente (Grunewald et al., 2017; Rojas-Vallejos e Lastuka, 2020). Globalmente, estudos relatam que a redução da desigualdade de renda por meio da redistribuição da renda levou a redução das emissões associadas ao consumo em 1,17%, em média, para 27 países. Sendo que a maior queda na emissão foi para a Grécia (3,57%), para a Dinamarca (2,61%), Holanda (2,57%), Áustria (2,30%) e Polônia (2,28%). Além disso, essa redistribuição de renda possibilitou a queda de emissão de setores específicos, como alimentação, eletricidade e transportes, devido a realocação do consumo de bens e serviços (Duarte et al., 2021).

Há ainda estudos que relatam que erradicar a pobreza extrema não compromete em nada a meta climática (Hubacek et al., 2017), ou levaria a aumentos abaixo de 2,1% nas emissões globais (Bruckner et al., 2022). E isso se repete para alguns países específicos, onde haveria pequenos aumentos nas emissões em decorrência da redistribuição de renda, de modo que a menor desigualdade possa ter elevado o consumo de bens mais poluentes. Assim, a redistribuição de 60% da renda da família mais rica para a família mais pobre para Espanha, Chipre e Letônia, provocaria aumento de apenas 0,67%, 0,72% e 0,48% nas emissões domésticas de carbono (Duarte et al., 2021). No caso da China, os resultados encontrados mostraram que o aumento na desigualdade de renda, aumentará as emissões de carbono das famílias em 6% (Liu et al., 2020b). Isso foi evidenciado anteriormente por Golley e Meng (2009), em que a redistribuição de renda de 1 yuan (moeda chinesa) das famílias mais ricas para as famílias mais pobres diminuiria as emissões agregadas em 0,082 kg de CO₂. Segundo os autores, esse resultado é evidente para concluir que a redistribuição de renda para a redução da desigualdade de renda nas famílias urbanas chinesas caminha em conjunto com as metas de redução de emissão de carbono (Golley e Meng, 2012).

Entre 1985-2012 foi identificado para um grupo de 149 países que a maior desigualdade reduz as emissões de CO₂ das famílias, e que a magnitude do efeito do aumento de 1% na desigualdade de renda diminui em média 0,67% as emissões de CO₂. Essa correlação negativa entre desigualdade e emissões é devido ao fato que os países mais ricos têm, em média, menor desigualdade e emissões mais altas do que os países mais pobres. Porém, devido aos efeitos de tecnologia e composição das cestas de consumo, no nível microeconômico, em países com baixa renda, baixas emissões e baixos níveis de tecnologia, a redistribuição de renda pode elevar em média as emissões agregadas (Hübler, 2017). Esses resultados estão de acordo com as conclusões de Sager (2019). Nos EUA, as análises demonstraram que a renda é um importante impulsionador de poluição doméstica. E que uma redistribuição de US\$1000 da família mais rica para a família mais pobre aumenta as emissões domésticas de CO₂ em 28,5 kg. Isso equivale a um aumento de 5,1% das emissões médias do país. Para outros poluentes também foram identificados aumentos em função da redistribuição de renda, equivalentes a 4,2% e 2,8% para o CH₄ e N₂O, respectivamente. Além disso, o autor estima as emissões caso a desigualdade de renda dos americanos fosse equivalente a desigualdade de renda da Suécia, ou seja, menos desiguais, assim as emissões de carbono doméstico médias teriam sido 1,5%

maiores. Isso porque o aumento marginal das emissões das famílias de baixa renda supera a diminuição das emissões das famílias de maior renda.

Para Suécia, estudos indicaram que caso a desigualdade de renda, medida pelo índice de Gini, aumente de 0,33 para 0,39, as emissões de CO₂ (1000kg/*per capita*) diminuirão cerca de 7,8%. E caso a desigualdade de renda diminua de 0,33 para 0,23 as emissões de CO₂ *per capita* aumentarão em 6,3%. Além disso, o mesmo efeito do aumento na desigualdade de renda também geraria diminuição nas emissões de outros poluentes como o SO₂ (kg/*per capita*) e NO_x (kg/*per capita*) em cerca de 4,7% e 4,4%, respectivamente. E para a diminuição da desigualdade de renda de 0,33 para 0,23 haveria aumento de 4,5% e 4,0% nas emissões de SO₂ e NO_x, respectivamente (Brännlund e Ghalwash, 2008).

No caso da presente pesquisa, se houvesse perfeita igualdade de renda entre os brasileiros, os resultados mostraram que as emissões domésticas, em média, não sofreriam aumentos, tanto para o ano de 2009 quanto para 2018. Logo, demonstra-se que no Brasil é possível combater os avanços das emissões domésticas, desde que o combate à desigualdade de renda seja de forma ampla. Além disso, como mencionado por Sager (2019), pode ser que o benefício da redução de desigualdade de renda compense a emissão adicional. Logo, mesmo que haja um *trade-off* entre a redistribuição de renda e as emissões de carbono, as políticas redistributivas são importantes para os países (Sager, 2019).

Vale ainda destacar que mais da metade da população brasileira vive com renda abaixo de 3 mil reais por mês e 55% dos domicílios sofrem com insegurança alimentar (Feldmann, 2022). Assim, para que os esforços de mitigação na economia brasileira sejam alcançados com êxito, é necessário que o foco das políticas seja também nas pessoas mais ricas do país, visto que estas estão fora da insegurança alimentar, são responsáveis pela maior parte das emissões e tendem a ser menos afetadas diretamente por políticas de mitigação (Otto et al., 2019; Gore et al., 2020).

Além disso, é necessário que se reflita sobre justiça climática entre os países e dentro dos países, visando garantir que as pessoas mais vulneráveis e marginalizadas não sejam prejudicadas pelos efeitos das mudanças climáticas. Isso inclui, por exemplo, garantir que comunidades pobres e minoritárias não sejam deixadas para trás nas medidas de adaptação e mitigação das mudanças climáticas, e que sejam protegidas de desastres ambientais que são causados ou agravados pelas emissões de GEE e atividades humanas. A justiça climática visa defender também que as nações e empresas que mais contribuem para as mudanças climáticas

sejam responsabilizadas por suas ações e, conseqüentemente, arquem com os custos das conseqüências ambientais, sociais e econômicas que resultam delas (Arcaya e Gribkoff, 2022). É necessário promover uma transição justa para um futuro mais sustentável, garantindo que a mudança ou políticas para uma economia de baixo carbono não prejudique as comunidades mais vulneráveis e que haja oportunidades para que todos se beneficiem das novas oportunidades econômicas que surgem da luta contra as mudanças climáticas.

O grau ótimo de uma política redistributiva, por exemplo, deverá levar em consideração ampla análise econômica, vinculada às estruturas de mercado, bem-estar das famílias e os possíveis resultados sociais que almejam (Sager, 2019). Assim, mesmo que a magnitude do impacto da redução da desigualdade não seja tão expressiva nas emissões domésticas em comparação com a problemática envolvendo a desigualdade de renda, políticas bem planejadas que visem a redução da desigualdade de renda e mitigação das mudanças climáticas podem resolver esse possível *trade-off*.

Segundo Rojas-Vallejos e Lastuka (2020), uma política que poderia resolver esse problema seria o imposto redistributivo de carbono neutro em taxas que busquem incentivar a redução de emissão de carbono, com a receita obtida sendo alocada em serviços públicos utilizados pelas famílias mais pobres. Assim, por exemplo, as famílias mais ricas poderiam pagar mais impostos e as mais pobres receber descontos no consumo (Rojas-Vallejos e Lastuka, 2020). No Brasil, estudo indica que a aplicação de uma taxa de carbono equivalente a 36 US\$/tCO₂eq. sobre os combustíveis fósseis produz resultados positivos para a economia, indicando aumentos no Produto Interno Bruto (PIB), geração de emprego e mitigação das emissões em cerca de 4,2 milhões de toneladas de CO₂eq. (Instituto Escolhas, 2015).

Quando o combate à desigualdade de renda caminha em sentido contrário ao combate às emissões, análises mais abrangentes devem ser levadas em consideração, visto que a redistribuição de renda não deve ser considerada como algo indesejável. Esse *trade-off* representa um desafio para os formuladores de políticas. E mesmo que o impacto da desigualdade de renda nas emissões domésticas seja irrelevante quando comparado ao real problema das desigualdades de renda, ainda assim é necessário levá-lo em consideração, visto que as emissões domésticas representam parcela significativa nas mudanças climáticas (Duarte et al., 2021). E como destacado pelas metas dos ODS, erradicar a pobreza e a desigualdade de renda devem estar em consonância com o combate as emissões de poluentes, sendo de grande

relevância para futuras discussões de políticas públicas e ações de enfrentamento das mudanças climáticas.

6. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi apresentada uma abordagem para analisar as emissões domésticas de CO₂ por diferentes faixas de renda das famílias brasileiras nos anos 2009 e 2018. Os principais resultados encontrados revelam que os setores de Energia, Serviços de transportes e Artigos de uso domésticos apresentaram os maiores valores de intensidade de emissão. No entanto, devido as inovações tecnológicas, as intensidades de emissão de todos os setores de consumo considerados se reduziram no período. As emissões médias domésticas reduziram 41% devido às inovações tecnológicas, mudanças na renda e no comportamento de consumo e diversificação de cestas. As curvas ambientais de Engel demonstraram que rendas mais altas estão relacionadas a mais emissão de CO₂. No entanto, devido ao comportamento côncavo, rendas mais altas estão associadas a menos que proporcionalmente mais emissões e que as emissões médias por decil se reduziram entre os dois períodos. No Brasil, a redistribuição progressiva da renda pode aumentar as emissões médias; porém, quando as famílias estão no mesmo nível de renda média, não há aumentos marginais crescentes nas emissões, ou seja, o dilema de equidade e poluição deixa de existir.

Devido a urgência de mitigar o crescimento das emissões de GEE, as políticas climáticas, em sua maioria, têm se concentrado principalmente na redução de emissões do lado da produção, com estratégias sendo feitas para indústrias e empresas de elevada emissão. Porém, negligenciar os fatores de consumo pode enfraquecer a eficácia da redução das emissões, dado que o consumo das famílias desempenha papel de relevância nas economias dos países. Além disso, análises de consumo doméstico oferecem maiores possibilidades de identificar as influências não econômicas no uso direto e indireto de energia que estão relacionadas com as emissões domésticas, como estilo de vida e padrão de gastos das famílias. Na literatura recente, referente ao Brasil, não há precedentes de avaliação detalhada de emissões de CO₂ relacionado ao consumo das famílias com a quantificação do *trade-off* existente entre desigualdade de renda e emissões doméstica e esta pesquisa pode contribuir para projetar políticas delineadoras e estratégias que visem o combate à pobreza, desigualdade de renda e, paralelamente, mitigação das mudanças climáticas. Os padrões de consumo das famílias brasileiras e suas consequências em termos de emissões de CO₂ demonstram que o Brasil está longe de obter uma justiça social em termos de direito de poluir. No entanto, o país tem condições de melhorar a vida das famílias mais pobres, reduzindo a desigualdade de forma

ampla e mitigando as mudanças climáticas. A busca pelo desenvolvimento sustentável só é possível quando o crescimento econômico inclusivo é conciliado à conservação ambiental.

Uma opção possível para conciliar estes aspectos é considerar com maior atenção as emissões domésticas das famílias mais ricas, visto que essa pequena parcela da população (último decil) polui mais do que a metade da população mais pobre. As emissões de CO₂ das famílias mais pobres são oriundas, em sua maior parte, do consumo de setores básicos e essenciais para sobrevivência. Já as emissões das famílias mais ricas são de origem do consumo excessivo de outros bens e de outros setores não tão essenciais. Nesse sentido, é necessária uma estratégia de política focada em determinados grupos socioeconômicos. Assim, mesmo que as estimativas do dilema indiquem que a redistribuição da renda aumente as emissões, as políticas redistributivas são essenciais para o país.

As estimativas deste trabalho estão sujeitas a diversas limitações. Para fins de comparação dos resultados com outros estudos, é preciso ter cautela, visto que a agregação de consumo domésticos em categorias ou subcategorias são subjetivas. Além disso, as intensidades de emissão podem ser construídas por diferentes abordagens metodológicas, gerando resultados que não podem ser comparáveis diretamente. Vale destacar também, que as análises de emissão de GEE associadas ao consumo doméstico quando agregadas em grandes categorias podem subestimar ou superestimar os efeitos do consumo doméstico nas emissões de GEE, visto que dentro de diferentes categorias de consumo podem haver bens diferentes, com qualidade diferentes e intensidades de emissão variáveis.

Com relação às estimativas do “dilema”, as limitações inerentes se referem a restrição de que os mesmos bens de consumo possuem a mesma intensidade de emissão para todas as classes de renda, ou seja, um automóvel por exemplo, pertencente à família de classe de renda mais alta emitirá a mesma intensidade de emissão de um automóvel pertencente à família mais pobre. Assim, pode ser que na prática as intensidades dos bens de um determinado setor possam variar com a renda. Além disso, ao estimar a redistribuição de renda, supõe-se que toda a renda “extra” atribuída à família mais pobre seja destinada exclusivamente ao consumo de bens.

Assim, para uma melhor compreensão, avanços são necessários nas pesquisas relacionadas às estimativas de emissão do consumo doméstico, visando tornar as estimativas comparáveis e mais realistas. Além disso, atribuir o comércio internacional nas estimativas pode ser útil, visto que grande parte do consumo das famílias brasileiras é dependente das relações internacionais. Análises mais abrangentes envolvendo grupos específicos de alimentos

em diferentes níveis de renda podem ser úteis para a implementação de estratégias de mitigação e políticas públicas. Entender o comportamento do consumidor e suas escolhas constituem tópicos de pesquisas que devem ser exploradas para países em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- Abreu, M. W.; Ferreira, D. V.; Jr, A. O. P.; Cabral, J.; Cohen, C.; Household energy consumption behaviors in developing countries: A structural decomposition analysis for Brazil. **Energy for Sustainable Development**, v. 62, p.1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.03.001>
- Anderson, K.; Peters, G. The trouble with negative emissions. **Science**, v.354, p.182–183, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aah4567>
- Arcaya, M.; Gribkoff, E. Climate Justice. Climate Portal. MIT – 2022. Disponível em: <https://climate.mit.edu/explainers/climate-justice> Acesso em: 27 fev. 2023
- Asumadu-Sarkodie, S.; Yadav, P. Achieving a cleaner environment via the environmental Kuznets curve hypothesis: determinants of electricity access and pollution in India. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.21, p.1883-1889, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01756-3>
- Atlas Irrigação – 2021. Agência Nacional de Águas (ANA). Uso da Água na Agricultura Irrigada. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrrigada.pdf> >Acesso em: 06 dez. 2022.
- Baek, J.; Gweisah, G. Does income inequality harm the environment?: Empirical evidence from the United States. **Energy Policy**, v.62, p.1434-1437, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.097>
- Baiocchi, G.; Minx, J.; Hubacek, K. The Impact of Social Factors and Consumer Behavior on Carbon Dioxide Emissions in the United Kingdom. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, p.50-72, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00216.x>
- Balanço Energético Nacional – BEN 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> Acesso em 01 fev. 2023.
- Barbosa, R.; Ferreira de Souza, P.; Soares, S. Desigualdade de renda no Brasil de 2012 a 2019. **Revista de Ciências Sociais**, 2020.
- Baudino, M. Environmental Engel curves in Italy: A spatial econometric investigation. **Regional Science**, v. 99, p. 999-1018, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/pirs.12521>
- Best, R.; Burke, P. J.; Jotzo, F.; Carbon Pricing Efficacy: Cross-Country Evidence. **Environmental and Resource Economics**, v.77, p.69–94, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00436-x>
- Billen, G.; Lassaleta, L.; Garnier, J. A vast range of opportunities for feeding the world in 2050: trade-off between diet, N contamination and international trade. **Environmental Research Letters**, v.10, n.025001, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/025001>

Blinder, A. Wage discrimination: Reduced form and structural estimates. **Journal of Human Resources**, v.8(4), p.436–455, 1973.

Bimonte, S.; Stabile, A. Land consumption and income in Italy: a case of inverted EKC. **Ecological Economics**, v.131, p.36-43, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.08.016>

Birney, C. I.; Franklin, K. F.; Davidson, F. T.; Webber, M. E. An assessment of individual foodprints attributed to diets and food waste in the United States. **Environmental Research Letters**, v.12, n.105008, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8494>

Borghans, L.; Duckworth, A. L.; Heckman, J. J.; ter Weel, B. The economics and psychology of personality traits. **Journal of Human Resources**, v.43, n.4, p.972-1059, 2008.

Boyce, J. Inequality as a cause of environmental degradation. **Ecological Economics**, v.11, p.169-178, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(94\)90198-8](https://doi.org/10.1016/0921-8009(94)90198-8)

Brasil, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética – 2014. Plano Decenal de Expansão de Energia 2023 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2014. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia/pde-2029-a-2021/pde-2023/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde-2023-1.pdf>> Acesso em: 02 fev. 2023

Brasil - Ministério do Meio Ambiente – 2021. Atlas Irrigação atualiza área irrigada total no Brasil em 8,2 milhões de hectares. Disponível em: < <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/atlas-irrigacao-atualiza-area-irrigada-total-no-brasil-em-8-2-milhoes-de-hectares>> Acesso em: 22 Dez. 2022.

Brasil - Ministério da Agricultura e Pecuária – 2022a. Agropecuária brasileira é reconhecida por sua sustentabilidade na Convenção-Quadro das Nações Unidas. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/agropecuaria-brasileira-e-reconhecida-por-sua-sustentabilidade-na-convencao-quadro-das-nacoes-unidas#:~:text=Agropecu%C3%A1ria%20brasileira%20%C3%A9%20reconhecida%20por%20sua%20sustentabilidade%20na,Publicado%20em%2010%2F05%2F2021%2016h37%20Atualizado%20em%2001%2F11%2F2022%2010h26>> Acesso em: 22 Dez. 2022.

Brasil - Ministério de Minas e Energia – 2022b. Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/procel-programa-nacional-de-conservacao-de-energia-eletrica-1> Acesso em: 10 Fev. 2023

Brännlund, R.; Ghalwash, T. The income–pollution relationship and the role of income distribution: An analysis of Swedish household data. **Resource and Energy Economics**, v. 30, n.3, p.369-387, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.11.002>

Bruckner, B.; Hubacek, K.; Shan, Y.; Zhong, H.; Feng, K. Impacts of poverty alleviation on national and global carbon emissions. **Nature Sustainability**, v.5, p.311-320, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00842-z>

Buchs, M.; Schnepf, S. V. Who emits most? Associations between socio-economic factors and UK households' home energy, transport, indirect and total CO₂ emissions. **Ecological Economics**, v.90, p.114–123, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.03.007>

Carfora, V.; Caso, D.; Conner, M. Correlational study and randomised controlled trial for understanding and changing red meat consumption: the role of eating identities. **Social Science & Medicine**, v.175, p.244–252, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.01.005>

Carvalho, T. S.; Perobelli, F. S. Avaliação da intensidade de emissões de CO₂ setoriais e na estrutura de exportações: um modelo interregional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil. **Economia Aplicada**, v.13, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-80502009000100005>

Carvalho, T. S.; Santiago, F. S.; Perobelli, F. S. Demographic change in Brazil and its impacts on CO₂ emissions. **Economic Systems Research**, v. 33, p.197-213, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/09535314.2020.1783210>

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – 2023. PROINFA. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/en/mercado/proinfa#&gid=1&pid=1>> Acesso em: Fev. 2023

Chitnis, M.; Sorrell, S.; Druckman, A.; Firth, S.K.; Jackson, T. Turning lights into flights: Estimating direct and indirect rebound effects for UK households. **Energy Policy**, v.55, p.234-250, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.008>

Churchill, S. A.; Ivanovski, K.; Munyanyi, M. E. Income inequality and renewable energy consumption: Time-varying non-parametric evidence. **Journal of Cleaner Production**, v.296, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126306>

Clark, M.; Tilman, D. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. **Environmental Research Letters**, v.12, n. 064016, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>

De Jong, P.; Dargaville, R.; Silver, J.; Utembe, S.; Kiperstok, A.; Torres, E.A. Forecasting high proportions of wind energy supplying the Brazilian Northeast electricity grid. **Applied Energy**, v.195(1), p.538–555, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.058>

Deaton, A.; Muellbauer, J. Economics and consumer behavior. New York: Cambridge, 1980, 450p.

Dey, C.; Berger, C.; Foran, B.; Foran, M.; Joske, R.; Lenzen, M.; Wood, R. Household environmental pressure from consumption: an Australian environmental atlas. Sydney University Press. 2007.

Dietz, T.; Gardner, G. T.; Gilligan, J.; Stern, P. C.; Vandenberg, M. P. Household actions can provide a behavioral wedge to rapidly reduce US carbon emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106(44), p.18452-18456, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.090873810>

Duarte, R.; Miranda-Buetas, S.; Sarasa, C. Household consumption patterns and income inequality in EU countries: Scenario analysis for a fair transition towards low-carbon economies. **Energy Economics**, v.104, 105614, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105614>

Dubois, G.; Sovacool, B.; Aall, C.; Nilsson, M.; Barbier, C.; Herrmann, A.; Bruyère, S.; Andersson, C.; Skold, B.; Nadaud, F.; Dorner, F.; Moberg, K. R.; Ceron, J. P.; Fischer, H.; Amelung, D.; Baltruszewicz, M.; Fischer, J.; Benevise, F.; Louis, V. R.; Sauerborne, R. It starts at home? Climate policies targeting household consumption and behavioral decisions are key to low-carbon futures. **Energy Research & Social Science**, v.52, p.144-158, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.02.001>

Druckman, A.; Jackson, T. The carbon footprint of UK households 1990–2004: A socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input–output model. **Ecological Economics**, v.68 (7), p. 2066-2077, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.01.013>

Druckman A.; Jackson T. 2016. Understanding Households as Drivers of Carbon Emissions. In: Clift R., Druckman A. (eds) Taking Stock of Industrial Ecology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7_9

Eide, J.; Sisternes, F. J.; Herzog, H. J.; Webster, M. D. CO2 emission standards and investment in carbon capture. **Energy Economics**, v.45, p.53-65, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.06.005>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA – 2021. ILPF em números. Rede ILPF. Disponível em: < https://redeilpf.org.br/images/ILPF_em_Numeros-Safra.pdf> Acesso em: 02 dez. 2022.

FAO – Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Pérdidas y Desperdicios de alimentos en la América Latina y Caribe. 2016.

Feldmann, P. Melhorar a distribuição de renda é o que fará o Brasil crescer. 2022. Disponível em: < <https://jornal.usp.br/articulistas/paulo-feldmann/melhorar-a-distribuicao-de-renda-e-o-que-fara-o-brasil-crescer/>> Acesso em: 02 fev.2023

Félix, R.; Cambra, P.; Moura, F. Build it and give ‘em bikes, and they will come: The effects of cycling infrastructure and bike-sharing system in Lisbon. **Case Studies on Transport Policy**, v.8, n.2, p.672-682, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.03.002>

Fields, G. Accounting for income inequality and its change: A new method, with application to the distribution of earnings in the United States. **Research in labor economics**, v.22(3), p.1–38, 2003.

Figueiredo, E. A.; Junior, J. C. A. S.; Jacinto, P. A. A Hipótese de Kuznets para os Municípios Brasileiros: Testes para as Formas Funcionais e Estimações Não-Paramétricas. **Revista EconomiA**, v.12, n.1, p.149-165, 2011.

Freitas, L. F. da S. Padrão de consumo e pressão ambiental no Brasil. **Revista de Economia Contemporânea**, v.18(1), p.100-124, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/141598481815>

Fundação Getúlio Vargas – FGV. Macroeconomia. 120 anos: auge e declínio da economia brasileira. Disponível em: < <https://blogdoibre.fgv.br/posts/120-anos-auge-e-declinio-da-economia-brasileira>> Acesso em: 15 dez. 2022

Galbiatti Silveira, P. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opinion Juridica**, v.17(33), p.123-147, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22395/ojum.v17n33a5>

Garcia, A. C.; Ambrose, A.; Hawkins, A.; Parkes, S. High consumption, an unsustainable habit that needs more attention. **Energy Research & Social Science**, v. 80, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102241>

Garzillo, J. M. F.; Machado, P. P.; Louzada, M. L. C.; Levy, R. B.; Monteiro, C. A. Pegadas dos alimentos e das preparações culinárias consumidos no Brasil. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP, 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/9788588848368>

Gatersleben, B.; Steg, L.; Vlek, C. Measurement and determinants of environmentally significant consumer behavior. **Environment and Behavior**, v.34, p.335 –362, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1177/0013916502034003004>

Genty, A.; Arto, I.; Neuwahl, F. FINAL DATABASE OF ENVIRONMENTAL SATELLITE ACCOUNTS: TECHNICAL REPORT ON THEIR COMPILATION. WIOD. Disponível em< http://www.wiod.org/publications/source_docs/Environmental_Sources.pdf> Acesso em: 12 nov. 2021.

Gertler, P. J.; Shelef, O.; Wolfram, C. D.; Fuchs, A. “The Demand for Energy-Using Assets among the World’s Rising Middle Classes”. **American Economic Review**, v.106, n.6, p.1366–1401, 2016.

Golley, J.; Meng, X. Income inequality and carbon dioxide emissions: the case of Chinese urban households. **Energy Economics**, v. 34, n.6, p.1864-1872, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.07.025>

Gore, T; Alesting, M.; Ratcliff, A. Confronting carbon inequality. Putting climate justice at the heart of the COVID-19 recovery. 2020. Disponível em: < <https://oxfamlibrary.openrepository.com/bitstream/handle/10546/621052/mb-confronting-carbon-inequality-210920-en.pdf>> Acesso em: Fev. 2023

Gu, B.; Zhang, X.; Lam, S. K.; Yu, Y.; van Grinsven, H. J. M.; Zhang, S.; Wang, X.; Bodirsky, B. L.; Wang, S.; Duan, J.; Ren, C.; Bouwman, L.; de Vries, W.; Xu, J.; Sutton, M. A.; Chen,

D. Cost-effective mitigation of nitrogen pollution from global croplands. **Nature Articles**, v.613, p.77-84, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05481-8>

Guilhoto, J. J. M.; Sesso Filho, U. A. Estimação da Matriz Insumo-Produto a Partir de Dados Preliminares das Contas Nacionais. **Economia Aplicada**, v.9. n.2, p.277-299, 2005.

Guilhoto, J. J. M.; Sesso Filho, U. A. Estimação da Matriz Insumo-Produto Utilizando Dados Preliminares das Contas Nacionais: Aplicação e Análise de Indicadores Econômicos para o Brasil em 2005. **Economia & Tecnologia**. UFPR/TECPAR. Ano 6, v.23, Out./Dez. ISSN 1809-080X, 2010.

Grunewald, N.; Klasen, S.; Martínez-Zarzoso, I.; Muris, C. The trade-off between income inequality and carbon dioxide emissions. **Ecological Economics**, v.142, p.249-256, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.034>

Hase Ueta, M.; Tanaka, J.; Marchioni, D. M. L.; Verly Jr, E.; Carvalho, A. M. **Environment, Development and Sustainability**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-02967-x>

Heerink, N.; Mulatur, A.; Bulte, E. Income inequality and the environment: Aggregation bias in environmental Kuznets curves. **Ecological Economics**, v.38, p.359-367, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00171-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00171-9)

Hubacek, K.; Baiocchi, G.; Feng, K.; Patwardhan, A. Poverty eradication in a carbon constrained world. **Nature Communications**, v.8, n.912, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00919-4>

Hübler, M. The inequality-emissions nexus in the context of trade and development: A quantile regression approach. **Ecological Economics**, 134, p. 174-185, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.12.015>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE 2019. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNADC. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnadct/tabelas> > Acesso em: 22 set. 2021

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Pesquisa de Orçamentos Familiares – POF 2008/2009 – 2017/2018. Disponível em: < <https://ibge.gov.br/estatisticas/sociais/protecao-social/9050-pesquisa-de-orcamentos-familiares.html?=&t=o-que-e> > Acesso em: 22 agos. 2021.

Instituto Escolhas - Impactos econômicos e sociais da tributação de carbono no Brasil. 2015. Disponível em: < <https://escolhas.org/wp-content/uploads/2016/09/impactos-economicos-e-sociais-da-tributacao-de-carbono-no-brasil.pdf> > Acesso em: 02 fev. 2023

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA 2021. Renda - desigualdade - coeficiente de Gini. Disponível em < <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=37818&module=M> > Acesso em: 22 agos. 2021.

IPSOS – 2019. Climate Change and Consumer Behavior. Disponível em: <<https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2020-01/global-advisor-climate-change-consumer-behavior.pdf>> Acesso em: 06 fev. 2023

Ivanova, D.; Stadler, K.; Steen-Olsen, K.; Wood, R.; Vita, G.; Tukker, A.; Hertwich, E.G. Environmental Impact Assessment of Household Consumption. **Journal of Industrial Ecology**, v.3, n.3, p.526-536, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12371>

Ivanova, D.; Vita, G.; Steen-Olsen, K.; Stadler, K.; Melo, P. C.; Wood, R.; Hertwich, E. G. Mapping the carbon footprint of EU regions. **Environmental Research Letters**, v. 12, n.5, 054013, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6da9>

Ivanova, D.; Barret, J.; Wiedenhofer, D.; Macura, B.; Callaghan, M.; Creutzig, F.; Quantifying the potential for climate change mitigation of consumption Options. **Environmental Research Letters**, v. 15, n.093001, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8589>

Ivanova, D.; Wood, R. The unequal distribution of household carbon footprints in Europe and its link to Sustainability. **Global Sustainability**, v.3, p.1-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1017/sus.2020.12>

Jones, C. M.; Kammen, D.M. Quantifying Carbon Footprint Reduction Opportunities for U.S. Households and Communities. **Environmental Science & Technology**, v.45(9), p.4088-4095, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1021/es102221h>

Jones, S. K.; Monjeau, A.; Perez-Guzman, K.; Harrison, P. A. Integrated modeling to achieve global goals: lessons from the Food, Agriculture, Biodiversity, Land-use, and Energy (FABLE) initiative. **Sustainability Science**, v. 18, p.323-333, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11625-023-01290-8>

Jorgenson, A. K. Inequality and the carbon intensity of human well-being. **Journal of Environmental Studies and Sciences**. 5(3), 277-282, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13412-015-0234-z>

Johnson, D. L.; Ambrose, S. H.; Basset, T. J.; Bowen, M. L.; Crummey, D. E.; Isaacson, J. S.; Johnson, D. N.; Lamb, P.; Saul, M.; Winter-Nelson, A. E. Meanings of Environmental Terms. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, n.3, p. 581-589, 1997. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600030002x>

Joyce, P. J.; Finnveden, G.; Hakansson, C.; Wood, R. A multi-impact analysis of changing ICT consumption patterns for Sweden and the EU: Indirect rebound effects and evidence of decoupling. **Journal of Cleaner Production**, v.211, p.1154-1161, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.207>

Kasznar, I. Matriz de insumo-produto do Brasil: uma análise sintética. **Revista Científica e Tecnológica**, 2013.

Kause, A.; Bruin, W. B.; Millward-Hopkins, J.; Olsson, H. Public perceptions of how to reduce carbon footprints of consumer food choices. **Environmental Research Letters**, v.14, n.114005, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab465d>

Kerkhof, A.; Benders, R. M. J.; Moll, H. C. Determinants of variation in household CO₂ emissions between and within countries. **Energy Policy**, v.37, p.1509-1517, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.013>

Koroneos, C.; Roubas, G.; Gabari, R.; Papaigiannidu, E.; Moussiopoulos, N. Life cycle assessment of beer production in Greece. **Journal of Cleaner Production**, v.13, p.433-439, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.09.010>

Laurent, E. Social-ecology: Exploring the missing link in sustainable development, 2015.

Lekve Bjelle, E.; Steen-Olsen, K.; Wood, R. Climate change mitigation potential of Norwegian households and the rebound effect. **Journal of Cleaner Production**, v.172, p.208–217, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.089>

Lévy, P. Z.; Vanhille, J.; Goedemé, T.; Verbist, G. The association between the carbon footprint and the socio-economic characteristics of Belgian households. **Ecological Economics**, v.186, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107065>

Lenzen, M.; Wier, M.; Cohen, C.; Hayami, H.; Pachauri, S.; Schaeffer, R. A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan. **Energy**, v.31, p.181-207, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.01.009>

Levinson, A.; O'Brien, J. Environmental Engel Curves: Indirect Emissions of Common Air Pollutants. **The Review of Economics and Statistics**, v.101, p.121-133, 2019. DOI: https://doi.org/10.1162/rest_a_00736

Li, J.; Zhang, D.; Su, B. The Impact of Social Awareness and Lifestyles on Household Carbon Emissions in China. **Ecological Economics**, v.160, p.145-155, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.02.020>

Lima, M. A.; Mendes, L. F. R.; Mothé, G. A.; Linhares, F. G.; de Castro, M. P. P.; da Silva, M. G.; Sthel, M. S. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v.33, 100504, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504>

Liu, L.; Qu, J.; Maraseni, T. N.; Niu, Y.; Zeng, J.; Zhang, L.; Xu, Li. Household CO₂ Emissions: Current Status and Future Perspectives. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.17(19), 7077, p.1-19, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17197077>

Liu, Y.; Zhang, M.; Liu, R. The Impact of Income Inequality on Carbon Emissions in China: A Household-Level Analysis. **Sustainability**, v.12, n.7: 2715, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12072715>

Macedo, C. A. A.; AAd, A.; Moralles, H. F. Análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto eólico com simulação Monte Carlo e avaliação de risco. **Gestão & Produção**, v.24(4), p.731–744, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X3439-16>

Manzatto, C.V.; Araujo, L. S.; Assad, E. D.; Sampaio, F. G.; Sotta, E. D.; Vicente, L. E.; Pereira, S. E. M.; Loebmann, D. G. S. W.; Vicente, A. K. Mitigação das emissões de Gases de Efeitos Estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Meio Ambiente - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2020. Disponível: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215371/1/Manzatto-emissoes-gases-2020.pdf>> Acesso em: 22 Dez. 2022

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI. Fator médio - Inventários corporativos. Disponível em < <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>> Acesso em: 15 nov. 2021

Moz-Christofoletti, M. A.; Pereda, P. C. Winners and losers: the distributional impacts of a carbon tax in Brazil. **Ecological Economics**, v.183, 106945, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106945>

Moz-Christofoletti, M. A.; Pereda, P. C. Distributional welfare and emission effects of energy tax policies in Brazil. **Energy Economics**, v.104, 105616, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105616>

Neto, D. P.; Domingues, E. G.; Coimbra, A. P.; Almeida, A. T.; Alves, A. J.; Calixto, W. P. Portfolio optimization of renewable energy assets: Hydro, wind, and photovoltaic energy in the regulated market in Brazil. **Energy Economics**, v.64, p.238-250, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.03.020>

Nijdam, D. S.; Wilting, H. C.; Goedkoop, M. J.; Madsen, J. Environmental load from Dutch private consumption: How much damage takes place abroad? **Journal of Industrial Ecology**, v.9, 1-2, p. 147 – 168, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1162/1088198054084725>

Oaxaca, R. Male-female wage differentials in urban labor markets. **International Economic Review**, v.14(3), p.693–709, 1973.

Organisation for Economic Cooperation and Development – OECD, 2014. Greening Household Behaviour. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264214651-en>

Organização das Nações Unidas - ONU - 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Disponível em < Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development | Department of Economic and Social Affairs (un.org)> Acesso em: 24 agos. 2021.

Organização das Nações Unidas - ONU - 2019. The sustainable development goals report. New York, 2019. Disponível em: < <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019.pdf>> Acesso em: 02 nov. 2021

Organização das Nações Unidas - ONU - 2019. The sustainable development goals report. New York, 2019. Disponível em: < <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019.pdf>> Acesso em: 24 agos. 2021.

Otto, I. M.; Kim, K. M.; Dubrovsky, N.; Lucht, W. Shift the focus from the super-poor to the super-rich. **Nature Climate Change**, v.9, p.82-84, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0402-3>

Our World in Data. *Per capita CO₂ emissions*, 2021. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/co-emissions-per-capita>> Acesso em: 12 nov. 2022

Perobelli, F. S.; Faria, W. R.; Vale, V. A. The increase in Brazilian household income and its impact on CO₂ emissions: Evidence for 2003 and 2009 from input–output tables. **Energy Economics**, v. 52, p.228-239, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.10.007>

Pindyck, R.S.; Rubinfeld, D.L. *Microeconomia*. 6ª Edição. Editora Pearson. São Paulo. 2006.

Polloni-Silva, E.; Silveira, N.; Ferraz, D.; de Mello, D. S.; Morales, H.F. The drivers of energy-related CO₂ emissions in Brazil: a regional application of the STIRPAT model. **Environmental Science and Pollution Research**, v.28, p.51745–51762, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14097-w>

Pontes, T. O.; César, A. S.; Conejero, M. A.; Deliberador, L. R.; Batalha, M. O. Food waste measurement in a chain of industrial restaurants in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v.369, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133351>

Portal das Indústrias – 2021. Transição energética e a contribuição da indústria para uma economia de baixo carbono. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/sustentabilidade/transicao-energetica-e-a-contribuicao-da-industria-para-uma-economia-de-baixo-carbono/> Acesso em: 02 fev. 2023

Principato, L.; Pratesi, C. A.; Secondi, L. Towards Zero Waste: an Exploratory Study on Restaurant managers. **International Journal of Hospitality Management**, v.74, p.130-137, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2018.02.022>

Ravallion, M.; Heil, M.; Jalan, J. Carbon emissions and income inequality. **Oxford Economic Papers**, v.52, p.651-669, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1093/oep/52.4.651>

Remuzgo, L.; Sarabia, J. M. International inequality in CO₂ emissions: A new factorial decomposition based on Kaya factors. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 15-24, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.05.020>

Rojas-Vallejos, J.; Lastuka, A. The income inequality and carbon emissions trade-off revisited. **Energy Policy**, v.139, 111302, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111302>

Roy, P.; Nei, D.; Orikasana, T.; Xu, Q.; Okadome, H.; Nakamura, N.; Shiina, T. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. **Journal of Food Engineering**, v.90, p.1-10, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>

Sager, L. Income inequality and carbon consumption: Evidence from Environmental Engel curves. **Energy Economics**, v.84, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104507>

Santiago, F. S. Projeções dos impactos econômicos decorrentes das mudanças demográficas no Brasil para o período de 2010 a 2050. Tese 148p. Universidade Federal de Minas Gerais. 2014.

Schiermeier, Q. Eat less meat: UN climate change panel tackles diets. **Nature**, v.572, p.291-292, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-019-02409-7>

Schmidt, J.; Cancellata, R.; Pereira Jr, A. O. An optimal mix of solar PV, wind and hydro power for a low-carbon electricity supply in Brazil. **Renewable Energy**, v.85, p.137-147, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.010>

Scruggs, L. Political and economic inequality and the environment. **Ecological Economics**, v.26, p.259-275, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00118-3)

Shorrocks, A. Inequality decomposition by factor components. **Econometrica**, v.50(1), p.193–211, 1982.

Semieniuk, G.; Yakovenko, V.M. Historical evolution of global inequality in carbon emissions and footprints versus redistributive scenarios. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, 121420, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121420>

Silva, F. P.; Vieira Filho, J. E. R. Crescimento agrícola, eficiência técnica e sustentabilidade ambiental. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9099/1/td_2445.pdf> Acesso em: 22 dez. 2022.

Silva, E. P.; Silveira, N.; Ferraz, D.; Mello, D. S.; Moralles, H. F. The drivers of energy-related CO2 emissions in Brazil: a regional application of the STIRPAT model. **Environmental Science and Pollution Research**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14097-w>

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG. Emissões totais. Disponível em <https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#> Acesso em: 22 agos. 2021.

Sistema de Registro Nacional de Emissões – SIRENE. Emissões de GEE por setor. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-de-gee-por-setor-1>> Acesso em: 24 agos. 2021.

Souza, P. H. G. F.; Osorio, R. G.; Paiva, L. H.; Soares, S. Os efeitos do Programa Bolsa Família sobre a pobreza e a desigualdade: Um balanço dos primeiros quinze anos. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Texto para Discussão. Rio de Janeiro, Agosto de 2019. Disponível em< http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9356/1/td_2499.pdf> Acesso em: 29 set. 2021.

Souza, T. A. A. de.; Cunha, M. S. da. O impacto do desempenho da produtividade do capital para o crescimento econômico nos setores e regiões brasileiras: uma análise de 2002 a 2016. **Revista de Economia**, v.42, n.78, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/re.v42i78.69931>

Springman, M.; Clark, M.; Mason-D’Croz, D.; Wiebe, K.; BDIRSKY, B.L.; Lassaletta, L.; de Vries, W.; Vermeulen, S.J.; Herrero, M.; Carlson, K.M.; Jonell, M.; Troell, M.; Fabrice DeClerck, F.; Gordon, L.J.; Zurayk, R.; Scarborough, P.; Rayner, M.; Loken, B.; Fanzo, J.; Godfray, H. C.J.; Tilman, D.; Rockström, J.; Willett, W. Options for keeping the food system within environmental limits. **Nature Articles**, v.562, p.519-525, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>

Tilman, D.; Balzer, C.; Hill, J.; Befort, B. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.108, p.20260-20264, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>

Tolmasquim, M. T.; Guerreiro, A.; Gorini, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos Estudos - CEBRAP*, São Paulo, n. 79, nov. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-3002007000300003&script=sci_arttext>. Acesso em: 02 dez. 2022

Travassos, G. F.; Cunha, D. A.; Coelho, A. B. The environmental impact of Brazilian adults’ diet. **Journal of Cleaner Production**, v.272, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122622>

Uzar, U.; Eyuboglu, K. The nexus between income inequality and CO2 emissions in Turkey. **Journal of Cleaner Production**. v.227, p.149-157, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.169>

Uzar, U. Is income inequality a driver for renewable energy consumption? **Journal of Cleaner Production**, v.255, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120287>

Van den Broek, K.; Walker, I.; Klockner, C.A. Drivers of energy saving behaviour: The relative influence of intentional, normative, situational and habitual processes. **Energy Policy**, v.132, p.811-819, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.06.048>

Vera, M. S.; Navarro, A. V.; Samperio, J. I. Climate change and income inequality: An I-O analysis of the structure and intensity of the GHG emissions in Mexican households. **Energy for Sustainable Development**, v.60, p.15-25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.11.002>

Vieira, B. E.; Zapparolli, I. D.; Caldarelli, C. E. Cenário energético brasileiro para o período 2010 a 2030: Inserção de energias alternativas nos setores econômicos. 2019. Disponível em: < <http://corecon-sc.org.br/anais-cbe2019/arquivos/anais-cbe2019-4785.pdf>> Acesso em 03 dez. 2022.

Vita, G.; Rao, N. D.; Usubiaga-Liaño, A.; Min, J.; Wood, R. Durable Goods Drive Two-Thirds of Global Households’ Final Energy Footprints. **Environmental Science & Technology**, v.55(5), p.3175-3187, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03890>

Wang, J.; Yuan, R. Inequality in urban and rural household CO₂ emissions of China between income groups and across consumption categories. **Environmental Impact Assessment Review**, v.94, 106738, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106738>

Weber, C.; Matthews, H. Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint. **Ecological Economics**, v. 66, 379-391, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.021>

Wei, Y. M, Liu, L. C, Fan, Y.; Wu, G. The impact of lifestyle on energy use and CO2 emission: An empirical analysis of China's residents. **Energy Policy**, v.35, p.247-257, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.020>

Wescelau, F. F. PROINFA: Uma contribuição para a diversificação da matriz energética no Rio Grande do Sul? Dissertação. Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Regional – Mestrado e Doutorado, Área de Concentração em Desenvolvimento Regional, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. p.168. 2013. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/505/1/FranclinWenceslau.pdf>> Acesso em: 02 fev. 2023

White, K.; Habib, R.; Hardisty, D.J. How to SHIFT Consumer Behaviors to be More Sustainable: A Literature Review and Guiding Framework. **Journal of Marketing**, v.83, n.3, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022242919825649>

Wiebe, K. S.; Bjelle, E. L.; Többen, J. Wood, R. Implementing exogenous scenarios in a global MRIO model for the estimation of future environmental footprints. **Journal of Economic Structures**, v.7, 20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40008-018-0118-y>

Wolde-Rufael, Y.; Idowu, S. Income distribution and CO2 emission: a comparative analysis for China and India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.74, p.1336-1345, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.149>

World Bank – 2018. Disponível em < <https://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.GINI?locations=BR>> Acesso em: 24 agos. 2021.

World Input-Output Database (WIOD) - Environmental Accounts. Disponível em < <http://www.wiod.org/database/eas13>> Acesso em: 22 agos. 2021.

Wynes, S.; Nicholas, K. A.; Zhao, J.; Donner, S. Measuring what works: quantifying greenhouse gas emission reductions of behavioural interventions to reduce driving, meat consumption, and household energy use. **Environmental Research Letters**, v. 13, n.113002, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae5d7>

Yuan, B.; Ren, S.; Chen, X. The effects of urbanization, consumption ratio and consumption structure on residential indirect CO2 emissions in China: A regional comparative analysis. **Applied Energy**, v.140, n.15, p.94-106, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.11.047>

Yuan, R.; Rodrigues, J. F. D.; Wang, J.; Tukker, A.; Behrens, P. A global overview of developments of urban and rural household GHG footprints from 2005 to 2015. **Science of The Total Environment**, v.806, parte 2, 150695, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150695>

Zhang, X.; Wang, Y. How to reduce household carbon emissions: A review of experience and policy design considerations. **Energy Policy**, v.102, p.116-124, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.010>

Zhang, H.; Shi, X.; Wang, K.; Xue, J.; Song, L.; Sun, Y. Intertemporal lifestyle changes and carbon emissions: Evidence from a China household survey. **Energy Economics**, v.86, 104655, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104655>

Zhong, H.; Feng, K.; Sun, L.; Cheng, L.; Hubacek, K.; Household carbon and energy inequality in Latin American and Caribbean countries. **Journal of Environmental Management**, v.273, 110979, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110979>

APÊNDICE

Tabela A1 – Estatísticas descritivas das principais variáveis, 2009 e 2018

	2009				
	Média	Desv.Padrão	Mín	Máx	Gini
Renda bruta (R\$)	32.638,54	39.703,49	24,06	517.902,60	0,50
Renda <i>per capita</i> bruta	11.793,42	17.060,86	4,81	366.314,60	0,53
Renda líquida (R\$)	30.340,50	34.579,09	24,06	299.798,00	0,49
Renda <i>per capita</i> líquida	10.957,86	14.846,28	4,81	294.495,40	0,52
Despesas Totais (R\$)	32.233,05	44.399,86	1,76	1.487.087,00	0,52
Emissão CO ₂ (Kg)	2.883,43	3.317,85	0,15	81.548,19	0,48
Tamanho da família	3,40	1,71	1	20	
	2018				
	Média	Desv.Padrão	Mín	Máx	Gini
Renda bruta (R\$)	39.215,81	43.504,99	25,22	462.030,70	0,48
Renda <i>per capita</i> bruta	14.934,86	19.428,79	8,40	420.000,00	0,51
Renda líquida (R\$)	36.495,98	38.092,87	25,22	299.821,70	0,47
Renda <i>per capita</i> líquida	13.906,64	16.973,62	8,40	297.742,00	0,49
Despesas Totais (R\$)	33.168,45	50.560,87	19,96	4.830.278,00	0,49
Emissão CO ₂ (Kg)	1.701,79	1.561,21	0,31	25.979,47	0,43
Tamanho da família	3,17	1,62	1	17	

Fonte: As estimativas das emissões de CO₂ foram com base na metodologia apresentada na seção 3. As demais variáveis são de origem da POF 2009 e 2018.

Tabela A2 – Renda Média por decil, 2009 e 2018

Decil	2009	2018
1º	4174.74	4058.06
2º	9049.80	9276.54
3º	12346.55	12045.69
4º	15931.04	15645.21
5º	19819.29	20036.14
6º	24748.03	24227.73
7º	30777.56	30973.38
8º	40331.99	40407.46
9º	57841.60	57790.37
10º	121677.77	121827.94

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da POF (2009/2018).

Tabela A3 – Valores médios para variáveis selecionadas – Grupo Alimentos

	2009	2018	Diferença
Emissão Média Alimentos (tecnologia variável)	813.5	391.95	-421.55
Emissão Média Alimentos (tecnologia constante de 2009)	813.5	710.53	-102.97
Renda bruta média (Mil R\$ de 2018)	33.44	39.29	5.85
Renda Líquida Média (Mil R\$ de 2018)	31.04	36.58	5.54
Renda Líquida Média ao quadrado	2196.05	2777.39	581.34
Despesa Média com alimento (Mil R\$ de 2018)	71.61	63.32	-8.29
Tamanho da família	3.43	3.18	-0.25
Tamanho da família ao quadrado	14.73	12.72	-2.01
Idade média da pessoa de referência	47.07	49.73	2.66
Idade ao quadrado	2462	2717.52	255.52
Nível de educação da pessoa de referência (parcela da população)			
Sem instrução	0.121	0.089	-0.032
Fundamental Incompleto	0.477	0.395	-0.082
Fundamental Completo	0.079	0.083	0.004
Médio Incompleto	0.049	0.051	0.002
Médio Completo	0.177	0.231	0.054
Superior Incompleto	0.027	0.031	0.004
Superior Completo	0.070	0.118	0.048
Região (Parcela da população)			
Norte	0.136	0.146	0.010
Nordeste	0.345	0.334	-0.011
Sul	0.120	0.146	0.026
Sudeste	0.251	0.253	0.002
Centro-Oeste	0.148	0.121	-0.027
Urbano	0.768	0.778	0.010

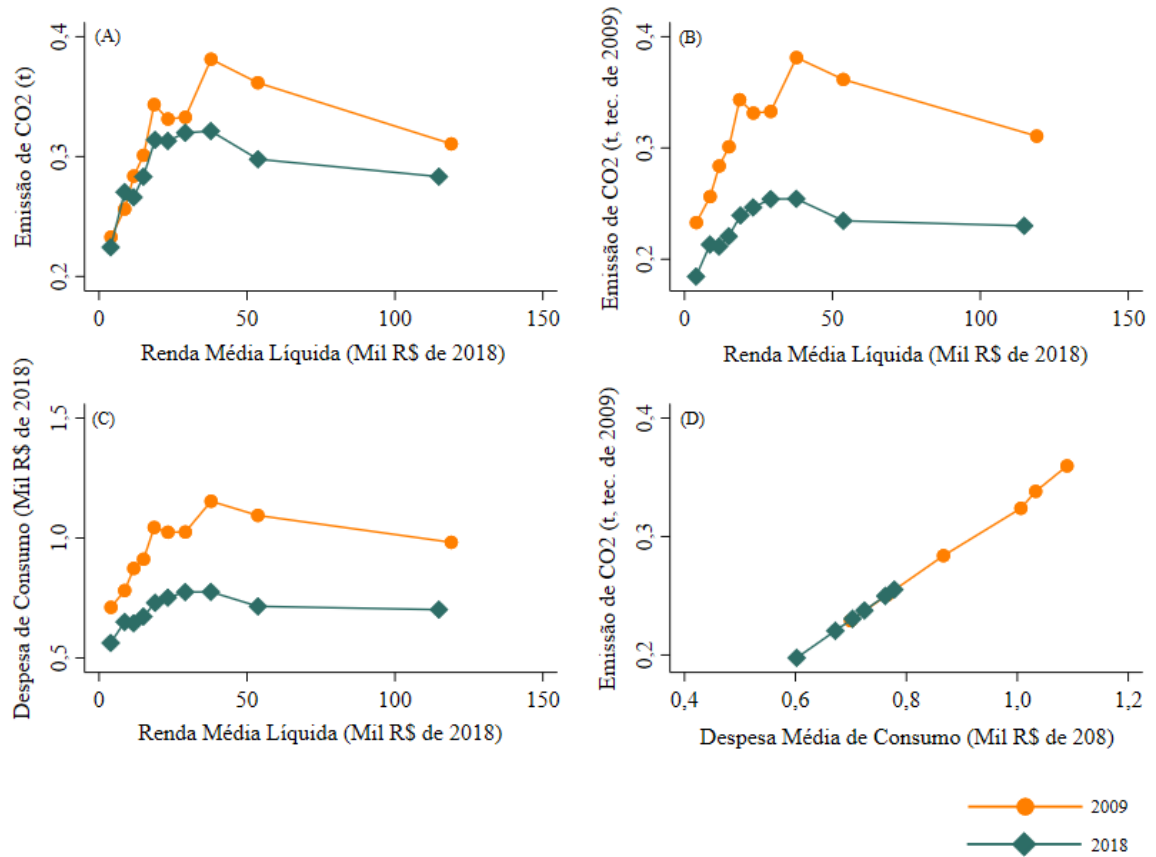
Fonte: Elaboração própria, com base em POF (2009/2018)

Tabela A4 – Renda, Despesas e Emissão média por decil de renda para Alimentos – 2009 e 2018

Decil	2009			2018		
	Renda Média Líquida	Despesa Média (Reais)	Emissão Média (Kg)	Renda Média Líquida	Despesa Média (Reais)	Emissão Média (Kg)
1º	4299.68	3922.94	440.15	4191.45	3482.97	215.57
2º	9109.81	4420.29	495.96	9390.84	4149.29	256.81
3º	12432.10	5192.90	582.64	12125.07	3851.16	238.36
4º	16040.78	5528.92	620.34	15748.30	4684.51	289.94
5º	19920.26	6241.30	700.27	20136.10	5085.62	314.76
6º	24861.65	6929.55	777.50	24347.45	5267.40	326.02
7º	30954.38	7757.39	870.38	31126.38	6148.51	380.55
8º	40447.20	8913.15	1000.06	40538.51	7192.02	445.14
9º	57969.17	10708.13	1201.45	57835.75	8455.17	523.32
10º	121897.51	15236.53	1709.54	121779.42	12698.07	785.92

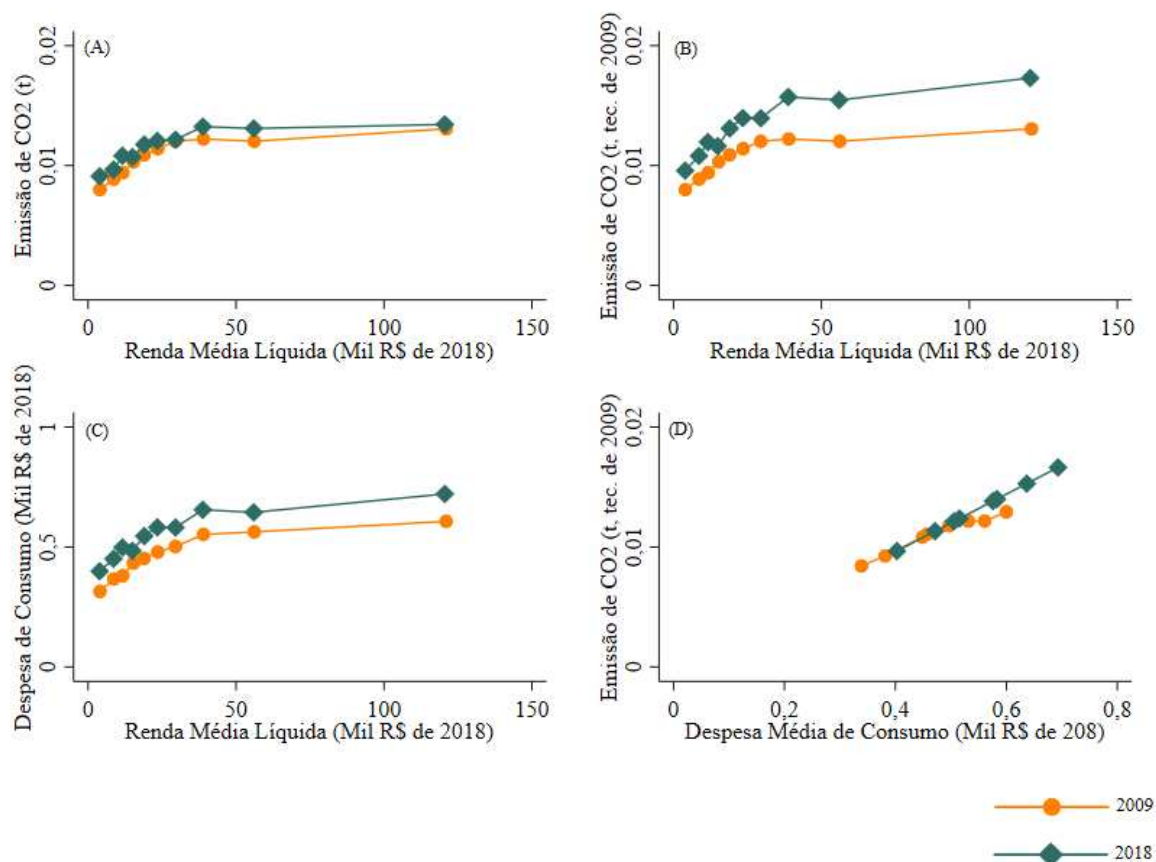
Fonte: As estimativas das emissões de CO2 foram com base na metodologia apresentada na seção 3. As demais variáveis são de origem da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) 2009 e 2018.

Figura A1 – Curva Ambiental de Engel Não Paramétrica para Arroz e efeitos tecnologia, economia e composição



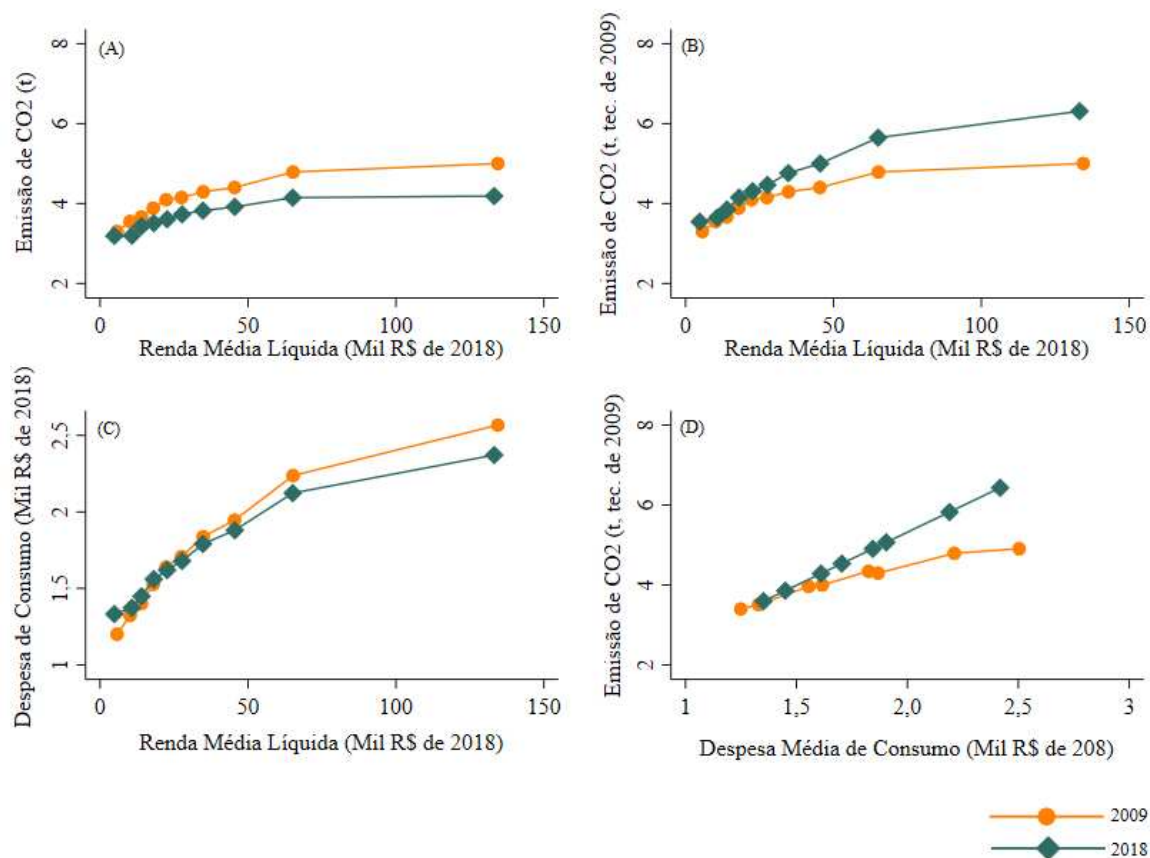
Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: A Figura A1 mostra a Curva Ambiental de Engel não paramétrica para o consumo de Arroz, por meio do relacionamento da renda média líquida e as emissões médias de origem do consumo de Arroz por decil de renda considerando tecnologia variável (A); a relação entre renda média líquida e emissões média do consumo de arroz com tecnologia constante de 2009 (B); relação entre renda média líquida e despesas médias de consumo de arroz (C); e, a relação entre as despesas médias de consumo de arroz e as emissões médias a tecnologia constante de 2009 (D). Considerou-se a pegada de carbono relatada por Garzillo et al. (2019). Valores reais de janeiro de 2018.

Figura A2 – Curva Ambiental de Engel Não Paramétrica para Café e efeitos tecnologia, economia e composição



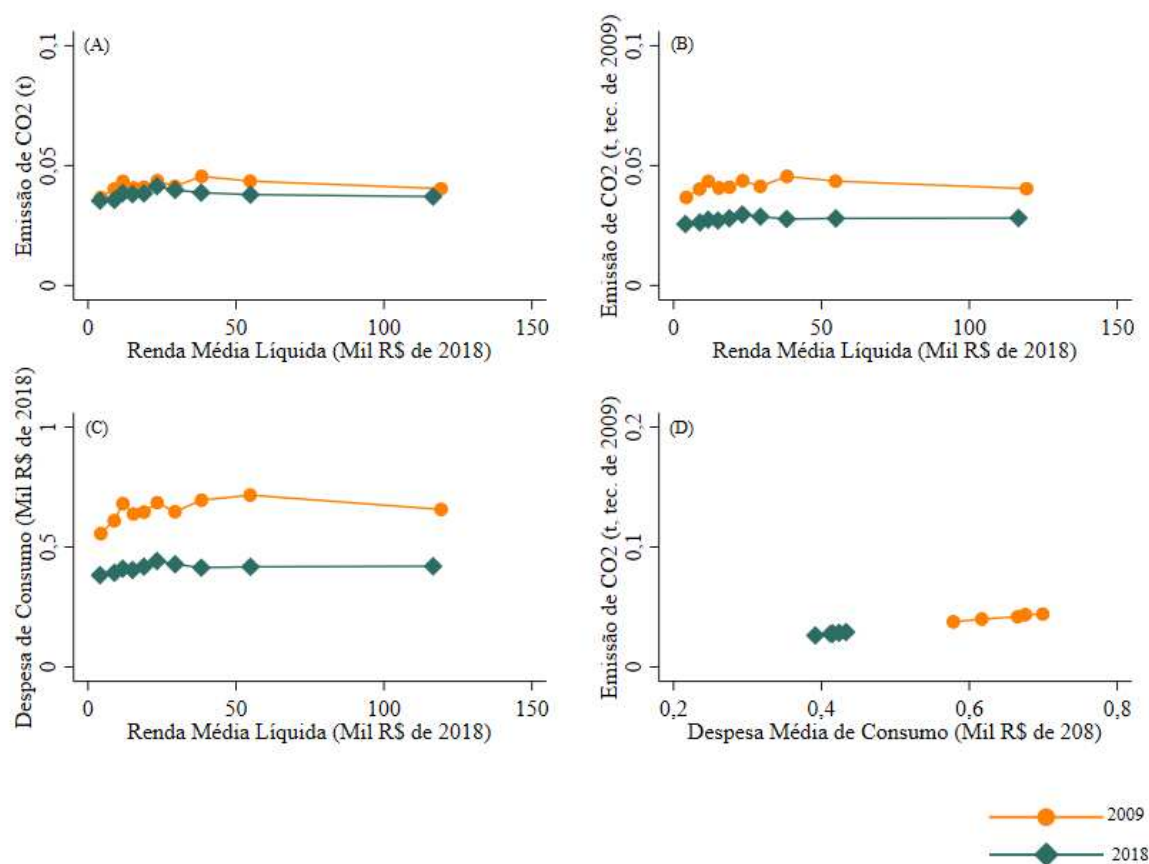
Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: A Figura A2 mostra a Curva Ambiental de Engel não paramétrica para o consumo de Café, por meio do relacionamento da renda média líquida e as emissões médias de origem do consumo de Café por decil de renda considerando tecnologia variável (A); a relação entre renda média líquida e emissões média do consumo de café com tecnologia constante de 2009 (B); relação entre renda média líquida e despesas médias de consumo de café (C); e, a relação entre as despesas médias de consumo de café e as emissões médias a tecnologia constante de 2009 (D). Considerou-se a pegada de carbono relatada por Garzillo et al. (2019). Valores reais de janeiro de 2018.

Figura A3 – Curva Ambiental de Engel Não Paramétrica para Carne e efeitos tecnologia, economia e composição



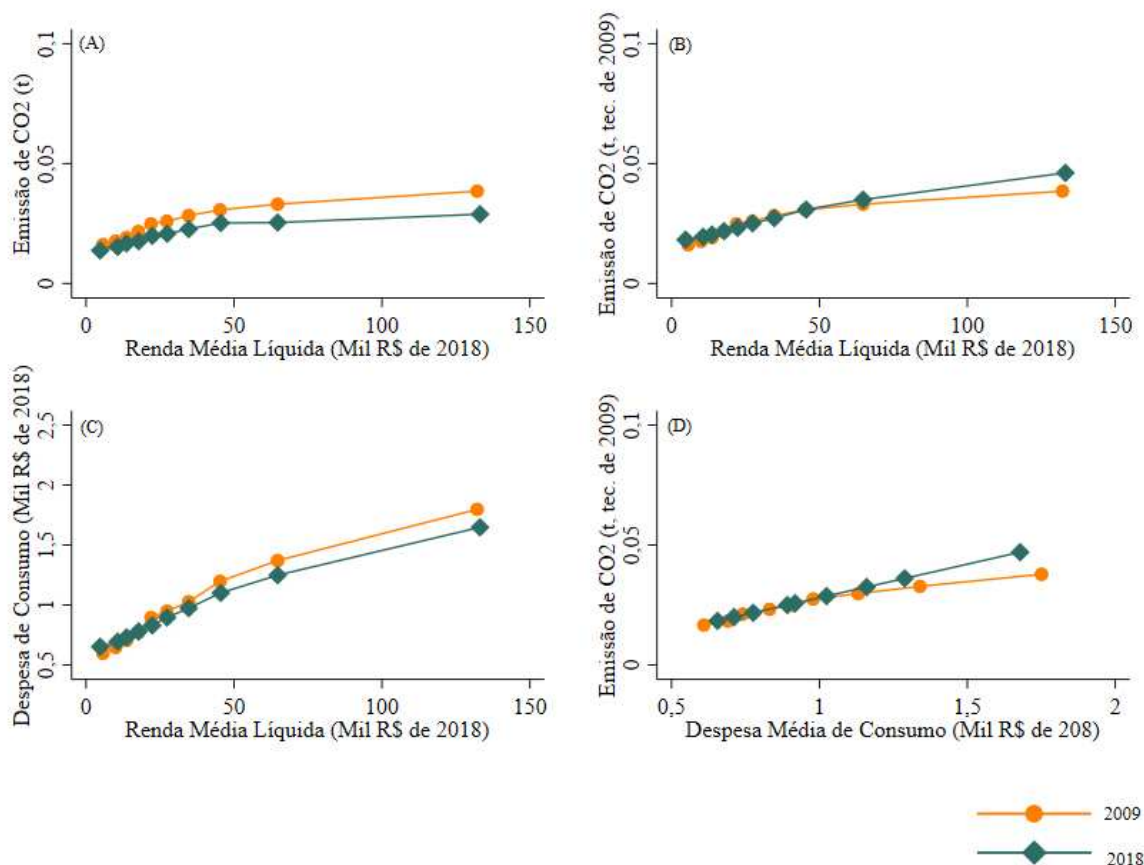
Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: A Figura A3 mostra a Curva Ambiental de Engel não paramétrica para o consumo de Carne, por meio do relacionamento da renda média líquida e as emissões médias de origem do consumo de Carne por decil de renda considerando tecnologia variável (A); a relação entre renda média líquida e emissões média do consumo de carne com tecnologia constante de 2009 (B); relação entre renda média líquida e despesas médias de consumo de carne (C); e, a relação entre as despesas médias de consumo de carne e as emissões médias a tecnologia constante de 2009 (D). Considerou-se a pegada de carbono relatada por Garzillo et al. (2019). Valores reais de janeiro de 2018.

Figura A4 – Curva Ambiental de Engel Não Paramétrica para Feijão e efeitos tecnologia, economia e composição



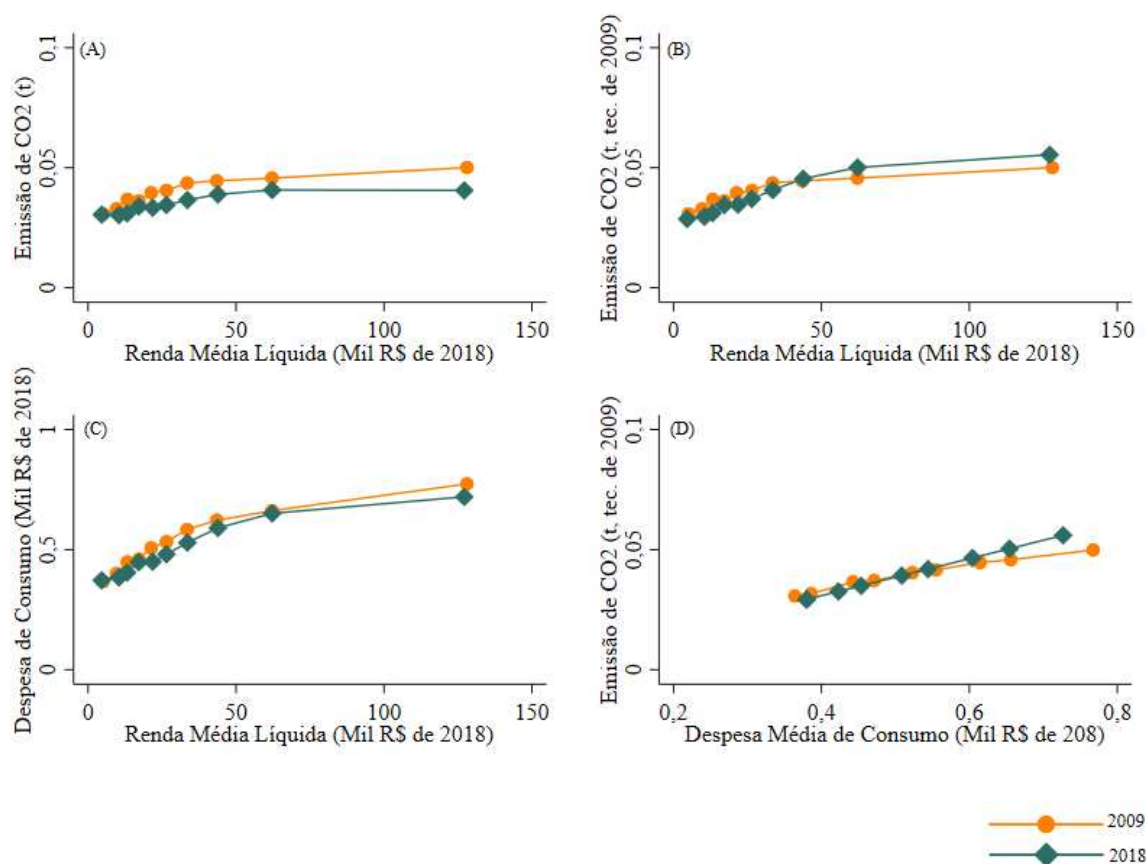
Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: A Figura A4 mostra a Curva Ambiental de Engel não paramétrica para o consumo de Feijão, por meio do relacionamento da renda média líquida e as emissões médias de origem do consumo de Feijão por decil de renda considerando tecnologia variável (A); a relação entre renda média líquida e emissões média do consumo de Feijão com tecnologia constante de 2009 (B); relação entre renda média líquida e despesas médias de consumo de Feijão (C); e, a relação entre as despesas médias de consumo de Feijão e as emissões médias a tecnologia constante de 2009 (D). Considerou-se a pegada de carbono relatada por Garzillo et al. (2019). Valores reais de janeiro de 2018.

Figura A5 – Curva Ambiental de Engel Não Paramétrica para Laticínios e efeitos tecnologia, economia e composição



Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: A Figura 5 mostra a Curva Ambiental de Engel não paramétrica para o consumo de Laticínios, por meio do relacionamento da renda média líquida e as emissões médias de origem do consumo de Laticínios por decil de renda considerando tecnologia variável (A); a relação entre renda média líquida e emissões média do consumo de Laticínios com tecnologia constante de 2009 (B); relação entre renda média líquida e despesas médias de consumo de Laticínios (C); e, a relação entre as despesas médias de consumo de Laticínios e as emissões médias a tecnologia constante de 2009 (D). Considerou-se a pegada de carbono relatada por Garzillo et al. (2019). Valores reais de janeiro de 2018.

Figura A6 – Curva Ambiental de Engel Não Paramétrica para Pães e efeitos tecnologia, economia e composição



Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: A Figura A6 mostra a Curva Ambiental de Engel não paramétrica para o consumo de Pães, por meio do relacionamento da renda média líquida e as emissões médias de origem do consumo de Pães por decil de renda considerando tecnologia variável (A); a relação entre renda média líquida e emissões média do consumo de Pães com tecnologia constante de 2009 (B); relação entre renda média líquida e despesas médias de consumo de Pães (C); e, a relação entre as despesas médias de consumo de Pães e as emissões médias a tecnologia constante de 2009 (D). Considerou-se a pegada de carbono relatada por Garzillo et al. (2019). Valores reais de janeiro de 2018.

Tabela A5 – Estimação paramétrica da Curva Ambiental de Engel – Grupo Alimentos - 2009 e 2018

	2009		2018	
Renda líquida (Mil de R\$)	15.378*** (0.3371)	12.794*** (0.3737)	6.704*** (0.1560)	5.327*** (0.1708)
Renda ao quadrado	-0.030*** (0.0022)	-0.022*** (0.0023)	-0.012*** (0.0010)	-0.008*** (0.0010)
Tamanho da família		99.086*** (5.5081)		38.140*** (3.5660)
Tamanho ao quadrado		-4.322*** (0.6237)		-1.172*** (0.4377)
Idade		7.004*** (1.0665)		2.367*** (0.5948)
Idade ao quadrado		-0.059*** (0.0105)		-0.020*** (0.0056)
Norte		135.553*** (12.3300)		4.791 (6.7629)
Nordeste		43.499*** (10.0871)		4.537 (6.1460)
Sul		138.911*** (13.8503)		37.071*** (7.3273)
Sudeste		70.290*** (11.4558)		3.041 (6.6322)
Centro-Oeste		-		-
Sem instrução		-251.173*** (22.2686)		-147.102*** (9.2423)
Fundamental Incompleto		-219.161*** (20.6072)		-127.406*** (7.9791)
Fundamental Completo		-204.544*** (22.8122)		-107.913*** (9.1133)
Médio Incompleto		-137.265*** (24.3135)		-108.098*** (10.2368)
Médio Completo		-149.034*** (20.9382)		-86.024*** (7.9975)
Superior Incompleto		-76.562** (29.8123)		-54.416*** (12.6026)
Superior Completo		-		-
Urbano		25.154*** (7.5290)		13.860*** (3.9242)
Constante	391.790*** (5.9767)	91.112*** (33.9277)	180.303*** (3.2182)	129.783*** (18.3017)
Observações	51,356	51,356	48,984	48,984
R ²	0.205	0.227	0.182	0.200

Fonte: Elaboração própria com base em Levinson e O'Brien (2019) e Sager (2019). Notas: Erros padrão entre parênteses. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$.

Tabela A6 – Estimação paramétrica da Curva Ambiental de Engel – Carne Bovina - 2009 e 2018

	2009		2018	
Renda líquida (Mil de R\$)	26.337*** (2.0880)	30.949*** (2.4239)	16.279*** (1.7480)	17.124*** (2.0126)
Renda ao quadrado	-0.087*** (0.0106)	-0.096*** (0.0111)	-0.053*** (0.0091)	-0.054*** (0.0094)
Tamanho da família		239.311*** (60.0815)		396.429*** (48.1802)
Tamanho ao quadrado		-3.873 (7.0136)		-26.170*** (5.3559)
Idade		42.078*** (9.3294)		23.282** (9.8985)
Idade ao quadrado		-0.286*** (0.0903)		-0.105 (0.0967)
Norte		480.657*** (121.2823)		-209.072* (112.3645)
Nordeste		-396.501*** (98.5931)		-585.108*** (100.2678)
Sul		115.543 (140.7682)		-274.775** (114.4204)
Sudeste		-819.901*** (100.9103)		-749.330*** (102.4523)
Centro – Oeste		-		-
Sem instrução		697.039*** (153.1155)		191.263 (135.9686)
Fundamental Incompleto		709.812*** (115.2859)		323.777*** (105.7380)
Fundamental Completo		622.336*** (150.6139)		248.464** (124.0433)
Médio Incompleto		610.630*** (139.5002)		281.264* (144.2476)
Médio Completo		530.890*** (112.1960)		151.660 (98.5619)
Superior Incompleto		253.909 (171.8686)		-102.760 (149.0809)
Superior Completo		-		-
Urbano		1,081.326*** (99.7295)		-852.996*** (80.7547)
Constante	3,373.418*** (48.1648)	1,663.088*** (294.9720)	3,227.559*** (48.1679)	2,295.960*** (290.8739)
Observações	19,075	19,075	13,637	13,637
R2	0.015	0.055	0.010	0.043

Fonte: Elaboração própria com base em Levinson e O'Brien (2019) e Sager (2019). Notas: Erros padrão entre parênteses. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$. Considerou-se a pegada de carbono relatada por Garzillo et al. (2019).

Tabela A7 – Dilema de Equidade e Poluição – Alimentos - 2009 e 2018

	2009	2018
$\widehat{\beta}_2$	-0,022	-0,008
Ψ (Mil R\$)	31	35,93
$-2\widehat{\beta}_2\Psi$ (Dilema - kg)	1,36	0,575
Redistribuição Marginal	5,27%	5,37%
Redistribuição Completo	0,000000392	0,00000199

Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019).

Tabela A8 – Dilema de Equidade e Poluição – Carne Bovina - 2009 e 2018

	2009	2018
$\widehat{\beta}_2$	-0,096	-0,054
Ψ (Mil R\$)	33,45	38,87
$-2\widehat{\beta}_2\Psi$ (Dilema - kg)	6,42	4,19
Redistribuição Marginal	5,49%	4,73%
Redistribuição Completo	-0,00000117%	-0,000000587%

Fonte: Elaboração própria com base em Sager (2019). Nota: Considerou-se a pegada de carbono relatada por Garzillo et al. (2019).