

ENVELHECIMENTO POPULACIONAL E O FUTURO DAS EMISSÕES DE CO₂ NO BRASIL¹

Tânia Moreira Alberti²
Vinícius de Almeida Vale³
Terciane Sabadini Carvalho⁴

Resumo: A população brasileira deve passar por uma mudança em sua estrutura etária com o aumento do percentual de idosos e redução do percentual de jovens e crianças até 2060. Isso significa que deverão ocorrer importantes mudanças em relação ao padrão de consumo dos brasileiros. Adicionalmente, espera-se que essa modificação na composição do consumo familiar tenha efeito sobre as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs). Como as mudanças climáticas são um tema urgente no debate ambiental, entender as implicações deste fenômeno é de extrema importância. Como o impacto das mudanças populacionais no consumo e nas emissões de GEE ainda é pouco compreendido na literatura brasileira, o objetivo deste artigo é avaliar o impacto nas emissões de GEE decorrentes da mudança demográfica no Brasil. Para isto, este artigo utiliza um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) com um módulo de emissões e desagregação das famílias por faixas etárias para projetar a mudança na pirâmide etária até 2060 incluindo as alterações da População Economicamente Ativa (PEA). Os resultados mostram, que de modo geral, o envelhecimento da população não parece contribuir para a redução das emissões apenas pelo efeito composição. Quando se adiciona a mudança da PEA, a restrição de mão de obra promove uma redução do PIB de 9,95% e das emissões de 10,34%. Contudo, a redução das emissões residenciais é de apenas 1,44% no acumulado em 2030.

Palavras-chave: Transição demográfica. Emissões de CO₂. Consumo domiciliar. Equilíbrio Geral Computável.

Abstract: The Brazilian population is expected to undergo a change in its age structure, with an increase in the percentage of elderly people and a decrease in the percentage of young people and children by 2060. This implies that significant changes are likely to occur in the consumption patterns of Brazilians. Additionally, it is expected that this shift in household consumption composition will have an effect on Greenhouse Gas (GHG) emissions. Given that climate change is an urgent topic in environmental debates, understanding the implications of this phenomenon is of utmost importance. Since the impact of population changes on consumption and GHG emissions is still not well understood in Brazilian literature, the objective of this article is to assess the impact on GHG emissions resulting from demographic changes in Brazil. To achieve this, the article utilizes a Computable General Equilibrium (CGE) model with an emissions module and disaggregation of households by age group to project changes in the age pyramid up to 2060, including alterations in the Economically Active Population (EAP). The results show that, in general, population aging does not seem to contribute to emission reductions through composition effects alone. When changes in the EAP are considered, the labor force restriction leads to a 9.95% reduction in GDP and a 10.34% reduction in emissions. However, the reduction in residential emissions is only 1.44% by 2030.

Key-words: Demographic transition. CO₂ emissions. Household consumption. Computable General Equilibrium.

¹ Os autores agradecem o financiamento do CNPq 408904/2021-6 e 409833/2022-3.

² Doutora em Desenvolvimento Econômico pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico (PPGDE) da UFPR.

³ Professor Adjunto do Departamento de Economia da UFPR e Professor do PPGDE-UFPR. Pesquisador do Núcleo de Estudos em Desenvolvimento Urbano e Regional (NEDUR) da UFPR.

⁴ Professora Adjunta do Departamento de Economia da UFPR e Professora do PPGDE-UFPR. Pesquisadora do Núcleo de Estudos em Desenvolvimento Urbano e Regional (NEDUR) da UFPR.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e a transição demográfica são duas importantes mudanças em andamento que afetam as sociedades em todo mundo. A mudança climática é considerada uma das questões ambientais globais mais urgentes, com grandes impactos sobre a vida humana (UN, 2018). A mudança demográfica, por sua vez, é um fenômeno comum a todos países que estão em diferentes estágios de transição demográfica, com impactos na população, na produção, no consumo e na renda (DENTON, SPENCER, 2000; LUHRMANN, 2005; DEWHURST, 2006; PARK, HEWINGS, 2007). Nesse sentido, elas estão relacionadas, de modo que a população humana e suas mudanças demográficas impactam o meio ambiente e as mudanças climáticas impactam a vida humana. Adicionalmente, os efeitos da pandemia de COVID-19 reforçaram a necessidade de repensar as interações entre sociedade e meio ambiente, intensificando debates sobre a sustentabilidade e as vulnerabilidades populacionais no mundo pós-pandemia.

A atividade humana é considerada o principal impulso para as mudanças no clima, especialmente pela queima de combustíveis fósseis que geram emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e contribuem para o aumento da temperatura média global da Terra (UN, 2023; IPCC, 2023). As emissões, ligadas às atividades humanas, são decorrentes, por exemplo, do uso de transporte, da geração de energia, da fabricação de produtos, da produção de alimentos, do desmatamento florestal e do uso de energia residencial (UN, 2023).

Por outro lado, a população passará pelo processo de transição demográfica com mudanças importantes em relação ao seu tamanho e sua composição etária. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população brasileira deverá totalizar 216,28 milhões de habitantes no ano de 2024. Em 2047, a população deverá aumentar para 233,23 milhões de habitantes, atingindo o pico populacional no Brasil, conforme as projeções do IBGE. Após esse pico populacional, espera-se que a população diminua ano após ano, chegando a 228,3 milhões de habitantes em 2060.

Além da redução no tamanho da população, espera-se também alterações na composição etária da população, como consequência da mudança demográfica. Até 2060, o percentual da população acima de 60 anos deverá representar 32% da população brasileira, o que será muito próximo do percentual de pessoas com menos de 30 anos de idade (31%) (IBGE, 2018). O percentual de crianças de até 9 anos de idade deverá passar de 13,4%, em 2024, para 9,6%, em 2060.

Com a mudança da composição etária, espera-se, portanto, que o percentual de idosos aumente e o percentual de jovens e crianças diminua na economia brasileira, alterando, conseqüentemente, a composição do consumo familiar. Famílias jovens e famílias com idosos têm diferentes necessidades de consumo. Diversos estudos indicam que as populações jovens tem perfil de consumo voltado para formação da força de trabalho, aumento de produtividade de trabalho e futura geração de poupança (PAIVA; WAJNMAN, 2005; ALVES, 2008; ALVES; VASCONCELOS; DINIZ, 2010), enquanto a população idosa tem necessidades voltadas, principalmente, para cuidados especializados em saúde, produtos farmacêuticos, previdência e energia (DENTON; SPENCER, 2000; LUHRMANN, 2005; DEWHURST, 2006; YOON; HEWINGS, 2006; PARK; HEWINGS, 2007; INOUE, MATSUMOTO; MAYUMI, 2022).

Diferentes composições de consumo por idade podem ser verificadas a partir dos microdados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) de 2017-2018 do IBGE. Por exemplo, famílias com idosos (60 anos ou mais) gastam maior percentual da renda familiar em produtos relacionados à saúde (14%), produtos alimentícios (7%), intermediação financeira, seguros e previdência complementar (7%) e produtos farmacêuticos e farmoquímicos (5%).

Nesse sentido, as mudanças na composição etária devem modificar os gastos das famílias em relação a composição dos produtos consumidos, provocando maior percentual de gastos em produtos ligados às necessidades dos idosos. As mudanças no consumo decorrentes das mudanças demográficas devem afetar a estrutura da demanda final e, por consequência, a estrutura da produção. Isso, por sua vez, pode alterar as emissões de GEEs da economia.

Os produtos consumidos pelas famílias têm diferentes contribuições para as emissões de GEE. É esperado que o envelhecimento populacional diminua as emissões de GEE já que uma população mais idosa tem um menor percentual de gastos em atividades que são tipicamente intensivas em emissões, como, por exemplo, gastos com transportes (LUHRMANN, 2005; DEWHURST, 2006). Entretanto, não há um consenso em relação ao impacto sobre as emissões, com evidências de que as emissões também poderiam aumentar com a mudança demográfica, principalmente devido ao aumento dos gastos com energia elétrica (DALTON et al.; 2007).

Nesse contexto, este artigo avalia o impacto nas emissões de GEEs em 2060 decorrentes das mudanças na pirâmide etária brasileira e na População Economicamente Ativa (PEA)⁵. Para isto, utiliza-se um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) dinâmico que captura a estrutura produtiva da economia e suas ligações setoriais, a estrutura de consumo das famílias e os mercados de fatores primários. O modelo adotou projeções até o ano de 2060, considerando 65 indústrias, com a adição em sua estrutura teórica de um módulo de emissões associado à queima de combustíveis e à atividade econômica e uma desagregação das famílias em sete tipologias considerando diferentes grupos etários.

Vale ressaltar que a abordagem adotada avança em relação à literatura sobre o tema no Brasil ao utilizar um novo método para a divisão das famílias, com uma representação abrangente por faixa etária. Além disso, foram estimadas elasticidades de renda das famílias de acordo com as tipologias que são utilizadas pelo modelo EGC.

Além desta Introdução, o artigo está dividido em mais seis seções. A segunda seção faz uma breve revisão da literatura sobre o tema de mudanças demográficas e seus impactos sobre as emissões. A terceira descreve a base de dados utilizada, enquanto a quarta apresenta a metodologia. A quinta discute, por sua vez, os resultados obtidos. Por fim, a última seção apresenta as considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com a literatura, o ponto de partida para ligar as mudanças demográficas aos impactos sobre o meio ambiente está relacionado às preocupações sobre o crescimento populacional (PEBLEY, 1998). O aumento populacional é visto como um dos principais fatores de problemas ambientais (EHRlich, 1990). O Painel Internacional sobre Alterações Climáticas (IPCC) reconhece a responsabilidade da atividade humana pelo aquecimento global e as interligações das pressões demográficas decorrentes do crescimento populacional, bem como da mudança na composição etária e urbanização.

Nessa linha, um modelo geralmente utilizado na literatura sobre o tema é o modelo de Impacto sobre População, Afluência e Tecnologia (IPAT) de Ehrlich e Holdren (1971) que relaciona os impactos ambientais ao crescimento populacional, riqueza e tecnologia. Estudos com este modelo contribuíram com a visão de que o crescimento populacional proporciona o aumento de emissões de GEE, mas que outras variáveis deveriam ser consideradas na análise, tais como os efeitos da transição demográfica, que promove uma alteração na composição da população por faixa etária, e o processo de urbanização em economias emergentes (DIETZ;

⁵ A População Economicamente Ativa (PEA) representa a população entre 10 e 65 anos, ocupada e a população desocupada e disposta a trabalhar.

ROSA, 1997; MACKELLAR et al., 1995; COLE; NEUMAYER, 2004; O'NEILL et al., 2012; CHANCEL, 2014).

Nesse sentido, as preferências de consumo e, conseqüentemente, as intensidades de emissões de GEE, deveriam mudar ao longo da vida. Diversos estudos mostram que os indivíduos acima de 60 anos tendem a ter perfil de emissões de GEE mais altos quando relacionado ao gasto com eletricidade, já que os idosos tendem a passar mais tempo em casa e têm maiores necessidades de conforto e aquecimento; enquanto os jovens têm emissões mais altas relacionadas aos gastos com transporte (KRONENBERG, 2009).

Na literatura sobre o tema, não há um consenso se o envelhecimento populacional contribui para a redução de emissões de GEE. Por um lado, espera-se que o envelhecimento populacional contribua para a redução das emissões, pelo menor consumo de produtos intensivos em emissões, como transportes (KRONENBERG, 2009). Entretanto, a literatura também aponta alguns fatores que podem tornar essa expectativa falsa. Um deles é alteração no tamanho das famílias, com idosos morando em lares menores (JIANG; HARDEE, 2011). Outro está relacionado a maior vulnerabilidade dos idosos às mudanças de temperatura, o que pode contribuir para maiores gastos em energia e, por consequência, maiores emissões de GEE (WHO, 2023).

Alguns trabalhos passaram a avaliar também, além dos efeitos diretos, os efeitos indiretos da transição demográfica sobre o padrão de consumo, oferta de trabalho e, conseqüentemente, sobre as emissões de GEE, geralmente empregando a abordagem de insumo-produto (WIER, 2001; KRONENBERG, 2009; LYONS et al., 2012; CARVALHO et al., 2021). De modo geral, estes estudos desagregaram o consumo das famílias ou a oferta de trabalho por grupos familiares representativos, considerando a idade do chefe de família.

Em um estudo para Dinamarca, Wier et al. (2001) ressaltou que os requerimentos de dióxido de carbono (CO₂) poderiam aumentar de 10% a 40% considerando variáveis demográficas e econômicas das famílias. Os autores avaliaram os requerimentos diretos e indiretos de CO₂ provenientes do consumo de energia para diferentes tipos familiares, conforme características econômicas, características demográficas e características sociais. Os autores ressaltaram que um importante fator para as diferentes necessidades de CO₂ era a renda familiar e que famílias mais jovens de alta renda eram as que tinham maiores emissões atreladas ao consumo de transporte e recreação.

Kronenberg (2009), em estudo para Alemanha, avaliou o impacto da mudança demográfica no uso de energia e nas emissões de GEEs até o ano de 2030. O autor abordou o tema por meio de um modelo de insumo-produto, avaliando padrões de consumo específicos por faixas etárias, segundo a idade do chefe de família. Como resultado, o autor ressaltou que a mudança demográfica poderia aumentar o consumo de combustíveis líquidos, bem como de gás e energia térmica, em contraposição a redução no consumo de combustíveis para veículos. Assim, o autor destacou que a mudança demográfica poderia aumentar o uso de energia para fins de aquecimento e reduzir para fins de transporte, de modo que não seria esperada uma grande mudança nas emissões totais com a mudança demográfica, com a possibilidade de aumento em 2030. O autor ressaltou que uma real redução das emissões poderia ser advinda da tecnologia dos setores produtivos e mudanças comportamentais das famílias.

Para o Brasil, Carvalho et al. (2021) avaliaram as mudanças no padrão de consumo devido ao envelhecimento populacional e suas conseqüências para as emissões de CO₂. Os autores utilizaram a abordagem de insumo-produto, com projeções demográficas até 2050, considerando 67 setores e seis grupos etários. Os autores encontraram que os setores têxtil e de vestuário, transportes, outras indústrias, duráveis, educação, alojamento e alimentação, imobiliário e aluguel reduzirão sua participação no consumo total, o que é um resultado a favor de menores emissões, já que esses setores são mais intensivos em emissões. Assim, o

envelhecimento populacional, segundo os autores, contribuiria para deslocar a demanda para setores menos intensivos em emissões.

Em um estudo para China e para a Índia, Dalton et al. (2007) avaliaram os efeitos das mudanças demográficas sobre a demanda de energia e sobre as emissões de CO₂, adotando um modelo de EGC. Nesse estudo, as famílias foram classificadas por idade e foram consideradas variáveis de tamanho de domicílio e urbanização. Como resultado, os autores encontram que, no caso da China, o envelhecimento populacional, as mudanças no tamanho familiar e a urbanização poderiam contribuir para um aumento de emissões em até 45% até 2100. E, no caso da Índia, um aumento de até 55%, mas que deve ser causado especialmente pela urbanização.

Seguindo a mesma abordagem, Dalton et al. (2008) avaliaram a redução nas emissões de CO₂ provocadas pelo envelhecimento populacional nos Estados Unidos no período entre 2000 e 2100. Os autores dividiram as famílias em grupos, conforme a idade do chefe de família, e consideraram também mudanças na oferta de trabalho por meio de um modelo de múltiplas dinastias, combinando características da abordagem de gerações sobrepostas com o modelo de vida infinita. Como resultado, Dalton et al. (2008) encontraram que as emissões de CO₂ poderiam reduzir até 37%, especialmente pela modificação na oferta de trabalho decorrente da mudança demográfica e devido às mudanças tecnológicas.

O'Neill et al. (2010) avaliaram o tema por meio de um modelo de EGC dinâmico para nove regiões da economia global. Para distinguir as famílias, os autores consideraram a idade do chefe da família, número de indivíduos na família e tipo de residência (urbana ou rural). Os autores encontraram que o envelhecimento populacional pode reduzir as emissões a longo prazo, especialmente em países industrializados, por meio da oferta de mão de obra. Encontraram também que as mudanças no tamanho das famílias têm pouco efeito nas emissões, assim como discutido por Lyons et al. (2012).

Wei et al. (2018) utilizaram um modelo de EGC global estático a partir da base dados do *Global Trade Analysis Project 9* (GTAP) para avaliar o impacto das mudanças demográficas na China. Os autores utilizam dados da população por faixa etária, taxas de participação da força de trabalho por faixa etária e emissões atreladas ao setor energético. Wei et al. (2018) encontraram que as emissões de CO₂ globais devem diminuir como resultado do envelhecimento populacional, já que há uma redução na oferta de trabalho, que afeta a produção e o padrão das emissões de GEE.

Jung et al. (2021) avaliaram como as mudanças nas características demográficas afetam as projeções futuras de emissões em três países do leste asiático, Coreia do Sul, China e Japão, adotando projeções populacionais da ONU de 2010 e 2019 em um modelo EGC dinâmico construído a partir do *Global Trade Analysis Project* (GTAP-10) e com taxas de participação da força de trabalho da *International Labour Organization Labour* (ILO). Os autores destacaram que, comparativamente, as emissões devem aumentar na China, em relação a Coreia do Sul e Japão, já que em relação ao cenário base as projeções populacionais ainda mostram crescimento populacional e uma trajetória de envelhecimento mais lenta. Além disso, os autores consideram uma trajetória de redução da população e aumento da proporção de idosos mais rapidamente na Coreia do Sul e Japão.

3 DADOS

3.1 Desagregação das famílias por tipologia

Para avaliar as despesas de consumo familiar e para construção das famílias representativas por idade, a base de dados utilizada neste trabalho é proveniente da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2017-18 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os microdados da POF 2017-18 permitiram obter dados de 58.039 famílias e 178.431

pessoas, que, considerando os fatores de expansão, representam uma população de 69.017.704 famílias e 207.103.790 indivíduos.

A partir da base de dados obtida, foi possível verificar que a população idosa (pessoas com 60 anos ou mais) representou 14,69% da amostra total, ou seja, 26.221 pessoas do total de 178.431 da POF. De acordo com os dados, as famílias com idosos têm diferentes composições em relação aos adultos, crianças e adolescentes, sendo possível identificar 1.746 diferentes composições familiares. Nesse sentido, para avaliar as mudanças no padrão de consumo de bens e serviços decorrente de mudanças demográficas, é necessário considerar a heterogeneidade familiar. Além disso, é necessário considerar também que os idosos fazem parte das composições familiares sendo ou não chefes de família.

Para representar as famílias da POF adotou-se, portanto, tipologias familiares, conforme a Tabela 1. A primeira tipologia, tipo 0, é composta apenas de adultos entre 20 e 59 anos. As famílias de 1 a 7 são todas compostas por adultos entre 20 e 59 anos, mas se diferenciam por crianças, adolescentes e idosos de diferentes idades.

Tabela 1 - Tipologias Familiares

Tipo	Descrição	Nº de famílias
0	apenas adultos entre 20 e 59 anos	13.665
1	adultos entre 20 e 59 anos e crianças entre 0 e 4 anos	3.427
2	adultos entre 20 e 59 anos e crianças entre 5 e 9 anos	3.189
3	adultos entre 20 e 59 anos e crianças entre 10 e 14 anos	3.126
4	adultos entre 20 e 59 anos e adolescentes entre 15 e 19 anos	4.422
5	adultos entre 20 e 59 anos e idosos entre 60 e 64 anos	3.712
6	adultos entre 20 e 59 anos e idosos entre 65 e 69 anos	2.465
7	adultos entre 20 e 59 anos e idosos com 70 anos ou mais	5.683
Total		39.689

Fonte: elaboração própria.

Conforme a Tabela 1, é possível observar que a composição familiar mais numerosa na POF é a composta apenas por adultos entre 20 e 59 anos (tipo 0). Em seguida, tem-se aquela composta por adultos entre 20 e 59 anos com idosos de 70 anos ou mais (tipo 7). Vale destacar que vários tipos de agregações familiares foram testados, inclusive limitando o número de adultos e outros integrantes da família, mas a agregação que possibilitou contemplar a maior parte da amostra foi a representada na Tabela 1. Em conjunto, essas tipologias representaram 68% das famílias da POF 2017-2018 e 70% do total dos gastos, o que é um percentual abrangente em relação ao que é considerado na literatura sobre o tema, especialmente nos trabalhos em que existe apenas a divisão entre famílias chefiadas e não chefiadas por idosos. O restante das famílias (32%) é referente às famílias com composições familiares específicas e que não puderam ser divididas em famílias representativas.

3.2 Emissões de GEE

As informações sobre as emissões de CO₂ equivalente usadas para compor o módulo de emissões no modelo de EGC são originalmente provenientes da base de dados da SEEG do Observatório do Clima. Os dados utilizados neste trabalho cobrem as emissões dos setores de Agricultura, Energia, Processos Industriais e Resíduos.

No caso da Agricultura, estão incluídas emissões antropogênicas dos sistemas agrícolas (pecuária e cultivo) não associadas a CO₂. Para Energia, são consideradas as emissões pela queima de combustíveis e emissões fugitivas. Segundo a SEEG (2023), as emissões fugitivas

estão associadas às liberações intencionais e não intencionais que podem ocorrer durante os processos de produção de carvão, petróleo e gás natural, como gases CO₂, CH₄ e N₂O.

No caso dos Processos Industriais e Resíduos, são consideradas as emissões de GEE ocorridas na transformação química ou física de materiais em atividades industriais. Estão envolvidas as atividades de produção de metais, produção de produtos minerais, indústria química, emissões de hidrofluorcarbonetos (HFCs), uso de hexafluoreto de enxofre (SF₆) em equipamentos elétricos, produtos não energéticos provenientes da utilização de combustíveis e solventes.

As estimativas são expressas em termos de carbono equivalente, ou seja, gases de efeito estufa (GEE) convertidos em uma métrica de CO₂. Para conversão, a SEEG (2023) utilizou as métricas GWP (*Global Warming Potential*) e GTP (*Global Temperature Change Potential*). Além disso, cabe ressaltar que, neste estudo, são consideradas as emissões brutas de gases GEE, o que quer dizer que não são consideradas as remoções de dióxido de carbono por mudança de uso de solo, por práticas agrícolas ou qualquer outro tipo de compensação.

Para relacionar os dados de emissões para o ano de 2015 aos setores do modelo EGG, foi necessário realizar a correspondência entre as atividades da SEEG e as atividades das Contas Nacionais. Assim, as emissões de CO₂ equivalente do ano de 2015 foram classificadas em 65 setores mais as emissões de uso residencial que abrange emissões diretas de uso residencial, como consumo final energético residencial pela queima de combustíveis. As emissões de CO₂ foram divididas em emissões por queima de combustíveis e emissões por atividade. Essas emissões, por sua vez, estão relacionadas ao tratamento de resíduos sólidos, emissões da indústria química, emissões por manejo de dejetos animais que não sejam correspondentes a queima de combustíveis de combustíveis.

Segundo os dados do SEEG (2018), é possível observar que o setor de Transportes tem a maior participação nas emissões decorrentes da queima de combustíveis, com 45%, seguido pelo setor de Energia elétrica, gás natural e outras utilidades, com participação de 18%. Em relação ao nível de atividade, o setor de maior participação foi o de Pecuária, com 60,6%, seguido pelo setor de Agricultura, com participação de 12,2%.

4 METODOLOGIA

O modelo de EGC utilizado neste artigo é ORANIG-BR com dinâmica recursiva, calibrado para o ano de 2015, com modificações no vetor de consumo das famílias para a inclusão das tipologias e com a inclusão de um módulo de emissões de CO₂ baseado no modelo BeGreen (*Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model*) de Magalhães (2013). O modelo considera 65 setores de atividade e 65 produtos⁶, cinco componentes de demanda final (consumo das famílias⁷, gastos do governo, investimento, exportações e estoques), dois fatores primários (trabalho e capital) e dois setores de margens (comércio e transporte).

Na especificação teórica do modelo EGC, são considerados blocos de equações que representam a oferta e a demanda, dadas as hipóteses de otimização e condições de equilíbrio de mercado. Também são representados agregados nacionais, tais como: emprego, Produto Interno Bruto (PIB), saldo comercial e índices de preço. Os setores produtivos minimizam os custos de produção dado uma tecnologia de retornos constantes de escala com combinações de insumos intermediários e fator primário (agregado) determinados por coeficientes fixos (função Leontief). Produtos domésticos e importados podem ser substituídos quando o preço se

⁶ Apesar de incluir o mesmo número de setores e produtos, o modelo é “*multi-produto*”, isto é, cada setor de atividade pode produzir diferentes produtos de acordo com uma função de elasticidade de transformação constante (CET).

⁷ O consumo das famílias é dividido entre as 7 tipologias descritas na Tabela 1.

modifica via função de elasticidade de substituição constante (CES). Também ocorre substituição entre capital e trabalho na composição dos fatores primários por meio de funções CES.

No modelo, as famílias foram desagregadas nas 7 tipologias de grupos etários, sendo que cada uma delas escolhe entre bens domésticos e bens importados. A escolha entre domésticos e importados é feita por uma especificação CES (hipótese de Armington). O tratamento da demanda das famílias é baseado num sistema combinado de preferências CES/Klein-Rubin. Assim, a utilidade derivada do consumo é maximizada segundo essa função de utilidade. Essa especificação dá origem ao sistema linear de gastos (LES), no qual a participação do gasto acima do nível de subsistência, para cada bem, representa uma proporção constante do gasto total de subsistência de cada família. Os sete grupos etários do modelo também são agentes recebedores de renda provenientes do trabalho.

O módulo de emissões incluiu equações que ligam tanto a produção quanto o consumo das famílias às emissões de GEE. Desse modo, qualquer modificação na quantidade produzida e consumida por setor promoverá, automaticamente, mudanças nas emissões. A demanda por exportação é definida como uma função decrescente do preço efetivo dos bens de exportações dada a elasticidade de exportação. A variação de estoques acompanha o nível de produção dos setores, sendo também possível tratá-la como exógena. Por sua vez, o consumo do governo é exógeno.

O modelo opera com equilíbrio de mercado para todos os bens, domésticos e importados, assim como no mercado de fatores (capital e trabalho). Os preços de compra para cada um dos grupos de uso (produtores, investidores, famílias, exportadores e governo) são a soma de valores básicos e de impostos sobre vendas (diretos e indiretos) e margens (de comércio e transporte). Impostos sobre as vendas são taxas *ad-valorem* sobre os fluxos básicos. As demandas por margens (transporte e comércio) são proporcionais aos fluxos de bens aos quais as margens estão conectadas.

O modelo ORANIG-BR possui um módulo de dinâmica recursiva, onde o investimento e o estoque de capital seguem mecanismos de acumulação e de deslocamento intersetorial a partir de regras pré-estabelecidas, associadas a taxas de depreciação e de retorno. Assim, uma das modificações para tornar o modelo dinâmico é ligar os fluxos de investimentos anuais aos estoques de capital. E o mercado de trabalho também apresenta ajuste intertemporal, envolvendo variáveis como o salário real, emprego atual e emprego tendencial. No seu mecanismo de ajuste, quando o emprego estiver acima do emprego tendencial, o salário real aumenta. Dessa maneira, visto que existe uma relação negativa entre emprego e salário real no mercado de trabalho, o aumento do salário ajustará o nível de emprego em períodos posteriores até convergir para o nível tendencial.

4.1 Fechamento do modelo e estratégia de simulação

O fechamento é a determinação dos conjuntos de variáveis endógenas e exógenas do modelo nas simulações realizadas, que representa as hipóteses sobre o funcionamento da economia. Neste caso, assume-se que o consumo das famílias segue a renda nacional e o que os gastos do governo segue a renda das famílias. Além disso, a participação do saldo balança comercial nominal sobre o PIB nominal é determinada de forma exógena. O modelo trabalha com preços relativos e o numerário é a taxa de câmbio.

Para realizar as simulações, é necessário simular um cenário base de crescimento tendencial para a economia brasileira que servirá como contrafactual aos resultados das mudanças demográficas. Neste caso, os resultados dos cenários de mudanças etárias e da PEA serão apresentados como desvios em relação ao cenário base. O cenário base considera exógenos os principais agregados macroeconômicos entre 2015 e 2021, tais como PIB real,

investimento, consumo das famílias, gastos do governo e volume de exportações com o objetivo de atualizar o modelo de acordo com os dados observados no período. De 2022 a 2060, todos os agregados macroeconômicos se tornam endógenos, com exceção do PIB que cresce a uma taxa de 2% ao ano, seguindo a média histórica de crescimento da economia brasileira. A Tabela 2 apresenta esses indicadores.

No cenário de política, por sua vez, são adotadas mudanças que afetam as decisões dos agentes, ocorrendo desvios em relação ao cenário base. Neste artigo, são considerados dois cenários de política, sendo o primeiro a transição demográfica até 2060 em que são projetadas às mudanças no número de famílias por tipologia familiar.

Tabela 2 - Variáveis do Cenário Base para o período de 2016 a 2021 e para o período de 2022 a 2060 – em variação % a.a.

Ano	Cons. famílias	Investimento	Cons. governo	Exportações	PIB	Emprego
2016	-3.8	-12.1	0.2	0.9	-3.3	-3.4
2017	2.0	-2.6	-0.7	4.9	1.3	1.9
2018	2.4	5.2	0.8	4.1	1.8	0.1
2019	2.6	4.0	-0.5	-2.6	1.2	1.7
2020	-5.4	-0.5	-4.5	-1.8	-3.9	-7.5
2021	3.6	17.2	2.0	5.8	4.6	6.2
2022 a 2060	-	-	-	-	2.0	-

Fonte: elaboração própria.

Para considerar essa transição demográfica, foram utilizadas as projeções demográficas por idade do IBGE. As projeções do IBGE para o Brasil são por idade, de 0 até mais de 90 anos, até o ano de 2060. Assim, as projeções foram adaptadas para a base de dados da POF e posteriormente para as tipologias familiares. A Tabela 3 mostra as projeções demográficas por tipologias familiares. As projeções são conforme o crescimento (redução) acumulado do período. Conforme a tabela, é possível observar que as tipologias familiares que apresentam crescimento da população são aquelas com idosos acima de 60 anos.

Tabela 3 - Crescimento populacional por grupo etário de acordo com as projeções do IBGE (2018) entre 2016 e 2060

Descrição	Percentual acumulado de 2016 a 2060 (%)
apenas adultos entre 20 e 59 anos	-0,7
adultos entre 20 e 59 anos e crianças entre 0 e 4 anos	-22,6
adultos entre 20 e 59 anos e crianças entre 5 e 9 anos	-17,2
adultos entre 20 e 59 anos e crianças entre 10 e 14 anos	-13,5
adultos entre 20 e 59 anos e adolescentes entre 15 e 19 anos	-14,0
adultos entre 20 e 59 anos e idosos entre 60 e 64 anos	36,2
adultos entre 20 e 59 anos e idosos entre 65 e 69 anos	51,4
adultos entre 20 e 59 anos e idosos com 70 anos ou mais	88,7

Fonte: elaboração própria.

Além de considerar a mudança demográfica na população por grupos etários, este artigo considera a mudança demográfica na força de trabalho, por meio da projeção da PEA, considerando as pessoas entre 10 e 65 anos de idade. Para o cálculo das projeções da PEA, considerou-se as idades na base de morador da POF, combinadas com as projeções demográficas do IBGE. Em outras palavras, foi selecionado o público entre 10 e 65 anos de idade e as projeções demográficas para esse grupo. A partir disso, foi obtido a média das projeções demográficas por ano.

5 RESULTADOS

5.1 Cenário I: projeção das mudanças demográficas

A simulação de mudança demográfica retrata a redução da população brasileira e principalmente a mudança na composição etária da população até 2060. Essa simulação altera a variável de número de famílias no modelo por classe etária. Assim, o principal efeito é mudar a composição do consumo das famílias por grupo etário, mas mantendo seu gasto total. Como consequência, o nível de atividade das indústrias é alterado, modificando também a demanda pelos fatores primários. Essas mudanças também vão promover uma alteração das emissões de CO₂ pelo efeito composição, já que não há perda de renda ou PIB neste cenário⁸, pois ele considera apenas alteração do tamanho dos grupos familiares.

Tabela 4- Resultados setoriais para o consumo das famílias no acumulado em 2060 (em var. % em relação ao cenário base)

Setor de atividade	var. %	Setor de atividade	var. %
Agricultura	1,17	Veículos	-0,19
Pecuária	1,04	Outros de transporte	0,22
Produção florestal e outros	1,16	Móveis e outras indústrias	-0,13
Abate e produtos de carne	0,25	Manutenção e reparo	-0,11
Refino de açúcar	0,55	Energia elétrica	0,86
Outros alimentos	0,15	Água e esgoto	1,83
Bebidas	0,80	Comércio	0,23
Produtos do fumo	-0,77	Transportes	0,28
Produtos têxteis	0,01	Transporte aéreo	-0,39
Vestuário e acessórios	0,15	Armazenamento e correios	0,37
Calçados	0,13	Alojamento	-0,75
Produtos de madeira	-0,23	Alimentação	-0,19
Celulose e papel	-0,55	Edição	-0,69
Impressão e reprodução	-0,02	Atividade de televisão	-0,12
Refino de petróleo	-0,27	Telecomunicações	-0,93
Biocombustíveis	-0,18	Desenvolvimento de sistemas	-1,14
Químicos	-0,73	Intermediação financeira	-1,19
Defensivos	-1,54	Atividades imobiliárias	0,07
Produtos de limpeza	-0,23	Atividades jurídicas	-0,33
Farmoquímicos	0,48	Serviços de arquitetura e engenharia	-0,08
Borracha e plástico	-0,68	Outras científicas e técnicas	-0,19
Minerais não metálicos	-0,40	Aluguéis não-imobiliários	-0,65
Ferro gusa e siderurgia	-1,11	Outros administrativos	-1,85
Metalurgia	0,41	Atividades de vigilância	-6,11
Produtos de Metal	-0,38	Educação privada	0,25
Equipamentos de informática	0,08	Saúde privada	1,88
Máquinas e equipamentos elétricos	0,48	Atividades artísticas	0,21
Máquinas e equipamentos mecânicos	-1,18	Organizações associativas e outros	-0,30

Fonte: elaboração própria.

⁸ Como esta simulação apresenta somente uma mudança de composição de consumo, os resultados para indicadores macroeconômicos não serão apresentados, pois ao não promover uma mudança significativa na renda e no PIB, este cenário tem efeitos próximos a zero nestes agregados.

A Tabela 4 mostra os desvios em relação ao cenário base, acumulados até 2060, do impacto da mudança demográfica sobre o consumo das famílias. Nota-se que a mudança da estrutura etária tem efeitos positivos principalmente sobre o consumo do setor de Saúde Privada (1,88% em relação ao cenário base, isto é, acima do que seria o consumo sem a mudança demográfica). Este resultado é esperado, pois, conforme apontado na revisão de literatura, quando a população envelhece, suas necessidades são voltadas para cuidados especializados em saúde. Em seguida, destaca-se o consumo de Água e esgoto com aumento de 1,83%. Além disso, setores primários também apresentam aumento no consumo, assim como o setor de energia. Outros setores apontados pela literatura relacionados à saúde, como o setor Farmoquímicos também apresentam aumento de consumo, de 0,48% em relação ao cenário base em 2060.

Tabela 5 - Resultados do nível de atividade setorial no acumulado em 2060 (em var. % em relação ao cenário base)

Setor de atividade	var. %	Setor de atividade	var. %
Agricultura	0,35	Fabricação de peças para veículos	-0,02
Pecuária	0,24	Outros de transporte	0,05
Produção florestal e outros	0,62	Móveis e outras indústrias	0,01
Extração de carvão mineral	0,01	Manutenção e reparo	0,00
Extração de petróleo e gás	-0,05	Energia elétrica	0,41
Extração de minério de ferro	-0,02	Água e esgoto	0,69
Extração de minerais metálicos	-0,02	Construção	-0,03
Abate e produtos de carne	0,15	Comércio	0,09
Refino de açúcar	0,16	Transportes	0,12
Outros alimentos	0,11	Transporte aéreo	-0,17
Bebidas	0,48	Armazenamento e correios	0,09
Produtos do fumo	-0,30	Alojamento	-0,21
Produtos têxteis	0,02	Alimentação	-0,17
Vestuário e acessórios	0,12	Edição	-0,41
Calçados	0,08	Atividade de televisão	-0,13
Produtos de madeira	0,00	Telecomunicações	-0,66
Celulose e papel	-0,08	Desenvolvimento de sistemas	-0,09
Impressão e reprodução	-0,11	Intermediação financeira	-0,68
Refino de petróleo	-0,06	Atividades imobiliárias	0,07
Biocombustíveis	-0,27	Atividades jurídicas	-0,06
Químicos	0,11	Serviços de arquitetura e engenharia	0,03
Defensivos	0,06	Outras científicas e técnicas	-0,08
Produtos de limpeza	-0,19	Aluguéis não-imobiliários	-0,18
Farmoquímicos	0,51	Outros administrativos	-0,48
Borracha e plástico	-0,07	Atividades de vigilância	-0,14
Minerais não metálicos	0,00	Administração pública	0,00
Ferro gusa e siderurgia	-0,03	Educação pública	0,00
Metalurgia	-0,01	Educação privada	0,21
Produtos de metal	-0,03	Saúde pública	0,00
Equipamentos de informática	0,17	Saúde privada	1,53
Máquinas e equipamentos elétricos	1,11	Atividades artísticas	0,17
Máquinas e equipamentos mecânicos	-0,10	Organizações associativas e outros	-0,29
Veículos	-0,10		

Fonte: elaboração própria.

Em relação aos setores que apresentam maior redução no consumo, destaca-se as Atividades de vigilância, com queda de 6,11% no acumulado. Esse setor engloba atividades de segurança privada, monitoramento e investigação particular, e é influenciado principalmente pela redução do consumo do grupo etário do tipo 7. Outros setores que mostram maiores reduções de consumo são: Outros administrativos (-1,85%), Defensivos (-1,54%), Intermediação financeira (-1,19%) e Desenvolvimento de sistemas (-1,14%). De modo geral, essas atividades apresentam baixa participação na cesta de consumo das famílias dos grupos etários que aumentam com o processo de envelhecimento da população.

A Tabela 5 mostra os desvios em relação ao cenário de referência, acumulados até 2060, para o nível de atividade da economia. Aqui se destacam alguns dos mesmos setores que tiveram maiores aumentos de consumo, relacionado ao estímulo do crescimento da demanda nestas atividades. Por exemplo, a atividade de Saúde privada (1,53%), de Farmoquímicos (0,51%) e de Água e esgoto (0,69%). Porém, observam-se outros setores que apresentam destaque no aumento de sua atividade pelo efeito indireto via cadeia produtiva, tais como Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos (1,11%).

Setores que apresentam grande redução de consumo, como o de Atividades de Vigilância e Desenvolvimento de Sistemas, não têm quedas significativas em seus níveis de atividade, reduzindo apenas 0,14% e 0,09%, respectivamente. Este resultado está relacionado ao fato de a maior parte dessas atividades produz para atender a demanda intermediária e investimentos, ou seja, não diretamente para atenderes as famílias.

Em relação as emissões de CO₂, a mudança na estrutura etária gera uma variação percentual acumulada em 2060 de 0,21%. Isso significaria um total de emissões de 1,18 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente em 2060. Nesse caso, observa-se que a mudança na pirâmide etária no Brasil pode promover um pequeno aumento das emissões de GEE até 2060. Este resultado está em linha com o resultado encontrado por Kronenberg (2009) que avalia como a mudança na estrutura etária da Alemanha em 2030 via mudanças de consumo poderiam alterar as emissões.

5.2 Cenário II: projeção das mudanças demográficas + mudanças na PEA

O cenário II de mudança demográfica e mudança na PEA retrata os efeitos da mudança demográfica com a redução da população até 2060 e mudança na composição etária, adicionando a redução da força de trabalho devido às alterações na PEA.

A redução da disponibilidade do fator trabalho provoca uma redução na atividade econômica de 9,95% no acumulado em 2060 em relação ao cenário base, conforme pode ser observado pela Tabela 6. Decorrente disso, há uma redução de 11,09% no emprego agregado e no consumo das famílias (8,22%). Observa-se que a queda do PIB é devida, principalmente à redução dos investimentos (13,30%). A restrição do fator trabalho gera uma pressão sobre os preços tanto do fator trabalho quanto do capital, reduzindo as taxas de retorno setoriais e, consequentemente, impactando negativamente no investimento.

Além disso, ao tornar os fatores primários mais caros, tem-se aumento dos preços domésticos que fazem com que os produtos nacionais fiquem menos atrativos, reduzindo as exportações (14,11%). As importações também se reduzem em 1,45%, pois o efeito da queda da atividade econômica é predominante. Por fim, observa-se que as emissões de CO₂ caem 10,34%, um pouco acima da queda do PIB, resultado que está atrelado aos impactos diferenciados por atividade pela mudança do padrão de consumo relacionado à mudança etária da população. Essa variação corresponde a emissões de 1,05 bilhões de toneladas.

Tabela 6 - Resultados dos Indicadores Macroeconômicos no acumulado em 2060 (em var. % em relação ao cenário base)

Indicadores Macro	var. %
PIB	-9,95
Investimento	-13,30
Consumo das famílias	-8,22
Gastos do governo	-8,22
Exportações	-14,11
Importações	-1,45
IPC	16,68
Emissões totais	-10,34

Fonte: elaboração própria.

A Tabela 7 mostra os impactos sobre o consumo setorial das famílias. Observa-se uma redução no consumo de todos os setores, com destaque para Atividades de Vigilância (-18,03%) e Outros administrativos (-12,72%), similar ao que acontece no cenário I. Também observa-se que, de modo geral, os setores que perdem menos neste cenário são os setores que passam a ter maior consumo por parte da população idosa que cresce no com a mudança etária, como Saúde Privada, Energia elétrica e Água e esgoto.

Tabela 7 - Resultados setoriais para o consumo das famílias no acumulado em 2060 (em var. % em relação ao cenário base)

Setor de atividade	var. %	Setor de atividade	var. %
Agricultura	-5,79	Veículos	-8,17
Pecuária	-6,28	Outros de transporte	-8,79
Produção florestal e outros	-5,25	Móveis e outras indústrias	-8,97
Abate e produtos de carne	-7,73	Manutenção e reparo	-8,86
Refino de açúcar	-7,57	Energia elétrica	-5,87
Outros alimentos	-7,70	Água e esgoto	-5,51
Bebidas	-6,56	Comércio	-8,71
Produtos do fumo	-5,14	Transportes	-7,41
Produtos têxteis	-8,22	Transporte aéreo	-4,69
Vestuário e acessórios	-8,53	Armazenamento e correios	-8,15
Calçados	-8,24	Alojamento	-1,92
Produtos de madeira	-9,04	Alimentação	-8,26
Celulose e papel	-9,41	Edição	-9,99
Impressão e reprodução	-9,52	Atividade de televisão	-8,87
Refino de petróleo	-8,19	Telecomunicações	-9,62
Biocombustíveis	-9,17	Desenvolvimento de sistemas	-9,75
Químicos	-9,29	Intermediação financeira	-10,43
Defensivos	-9,10	Atividades imobiliárias	-7,34
Produtos de limpeza	-8,96	Atividades jurídicas	-9,30
Farmoquímicos	-7,38	Serviços de arquitetura e engenharia	-6,97
Borracha e plástico	-8,70	Outras científicas e técnicas	-9,21
Minerais não metálicos	-9,20	Aluguéis não-imobiliários	-4,16
Ferro gusa e siderurgia	-10,06	Outros administrativos	-12,72
Metalurgia	-8,56	Atividades de vigilância	-18,03
Produtos de Metal	-9,52	Educação privada	-10,13

Equipamentos de informática	-7,37	Saúde privada	-6,16
Máquinas e equipamentos elétricos	-6,93	Atividades artísticas	-6,40
Máquinas e equipamentos mecânicos	-9,97	Organizações associativas e outros	-10,34

Fonte: elaboração própria.

Entretanto, alguns resultados são peculiares a este cenário II. Por exemplo, o setor que menos perde é o de Alojamento (-1,91%), seguido do setor de Transporte aéreo (-4,69%). Uma das razões para este resultado pode ser devido à baixa elasticidade da renda nestes setores.

Em relação ao nível de atividade, a Tabela 8 revela uma configuração diferente do resultado obtido no Cenário I. Aqui, os setores que mais perdem são o de Aluguéis não- imobiliários (-19,40%), resultado atrelado ao impacto negativo no investimento, e o de Alojamento (-16,18%), que apesar do consumo das famílias não ter diminuído muito, sofre principalmente pela queda da demanda intermediária e das exportações. Em relação aos setores que apresentam perdas menores, pode-se destacar Farmoquímicos, Água e esgoto e Energia, pelo resultado da mudança etária, e, também, os setores da administração pública.

Tabela 8 - Resultados do nível de atividade setorial no acumulado em 2060 (em var. % em relação ao cenário base)

Setor de atividade	var. %	Setor de atividade	var. %
Agricultura	-12,29	Fabricação de peças para veículos	-12,67
Pecuária	-9,81	Outros de transporte	-13,49
Produção florestal e outros	-9,93	Móveis e outras indústrias	-11,27
Extração de carvão mineral	-13,75	Manutenção e reparo	-15,07
Extração de petróleo e gás	-14,42	Energia elétrica	-8,47
Extração de minério de ferro	-12,88	Água e esgoto	-7,84
Extração de minerais metálicos	-13,68	Construção	-12,78
Abate e produtos de carne	-9,64	Comércio	-8,49
Refino de açúcar	-11,28	Transportes	-9,72
Outros alimentos	-9,61	Transporte aéreo	-12,40
Bebidas	-10,09	Armazenamento e correios	-10,40
Produtos do fumo	-12,76	Alojamento	-16,18
Produtos têxteis	-14,11	Alimentação	-9,29
Vestuário e acessórios	-9,26	Edição	-10,49
Calçados	-11,78	Atividade de televisão	-11,30
Produtos de madeira	-9,79	Telecomunicações	-9,61
Celulose e papel	-10,93	Desenvolvimento de sistemas	-13,73
Impressão e reprodução	-10,54	Intermediação financeira	-10,83
Refino de petróleo	-10,06	Atividades imobiliárias	-7,07
Biocombustíveis	-9,28	Atividades jurídicas	-12,18
Químicos	-12,86	Serviços de arquitetura e engenharia	-13,67
Defensivos	-12,39	Outras científicas e técnicas	-10,68
Produtos de limpeza	-9,80	Aluguéis não-imobiliários	-19,40
Farmoquímicos	-8,11	Outros administrativos	-11,12
Borracha e plástico	-15,70	Atividades de vigilância	-9,64
Minerais não metálicos	-13,45	Administração pública	-7,73
Ferro gusa e siderurgia	-13,61	Educação pública	-7,75
Metalurgia	-13,54	Educação privada	-9,88
Produtos de metal	-12,73	Saúde pública	-7,70

Equipamentos de informática	-11,23	Saúde privada	-6,01
Máquinas e equipamentos elétricos	-15,94	Atividades artísticas	-10,18
Máquinas e equipamentos mecânicos	-15,32	Organizações associativas e outros	-9,80
Veículos	-12,76		

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo

Por fim, a Tabela 9 apresenta o resultado de emissões por queima de combustíveis e por atividade para os setores e para as famílias. Este resultado é interessante pois mostra que, do total de redução de emissões obtido, a maior parte foi alcançada por meio da redução das atividades setoriais. A redução residencial de emissões foi de apenas 1,44%, revelando novamente que a mudança na estrutura etária, sem considerar mudanças tecnológicas, por exemplo, pode não alcançar uma transição de padrão de consumo que apresente grande redução de emissões. Os setores que mais reduzem as emissões são Máquinas e Equipamentos elétricos, Manutenção e reparo e Outros de Transportes.

Tabela 9 - Resultados das emissões de CO₂ equivalente no acumulado em 2060 (em var. % em relação ao cenário base)

Sector de atividade	Queima	Atividade	Sector de atividade	Queima	Atividade
Agricultura	-12,26	-12,29	Fabricação de peças para veículos	-12,85	-13,32
Pecuária	-9,82	-9,81	Outros de transporte	-14,12	-14,18
Produção florestal e outros	-9,81	0,00	Móveis e outras indústrias	-11,42	-11,88
Extração de carvão mineral	-13,00	-13,75	Manutenção e reparo	-15,39	-15,76
Extração de petróleo e gás	-14,18	-14,42	Energia elétrica	-9,01	-9,05
Extração de minério de ferro	-12,91	-12,88	Água e esgoto	0,00	-8,42
Extração de minerais metálicos	-12,98	-13,68	Construção	-13,22	-13,21
Abate e produtos de carne	-9,61	-9,64	Comércio	-8,98	0,00
Refino de açúcar	-11,27	-11,28	Transportes	-10,25	0,00
Outros alimentos	-9,55	-9,61	Transporte aéreo	-13,20	0,00
Bebidas	-10,02	-10,09	Armazenamento e correios	-10,98	0,00
Produtos do fumo	-12,48	-12,76	Alojamento	-16,07	0,00
Produtos têxteis	-13,99	-14,11	Alimentação	-9,89	0,00
Vestuário e acessórios	-9,15	-9,26	Edição	-10,90	0,00
Calçados	-11,78	-11,78	Atividade de televisão	-11,70	0,00
Produtos de madeira	-9,74	-9,79	Telecomunicações	-10,08	0,00
Celulose e papel	-10,80	-10,93	Desenvolvimento de sistemas	-13,89	0,00
Impressão e reprodução	-10,45	-10,54	Intermediação financeira	-11,08	0,00
Refino de petróleo	-9,79	-10,06	Atividades imobiliárias	-7,35	0,00
Biocombustíveis	-9,18	-9,28	Atividades jurídicas	-12,58	0,00
Químicos	-12,50	-12,86	Serviços de arquitetura e engenharia	-14,21	0,00
Defensivos	-11,99	-12,39	Outras científicas e técnicas	-11,26	0,00
Produtos de limpeza	-9,49	-9,80	Aluguéis não-imobiliários	-20,25	0,00
Farmoquímicos	-7,05	-8,11	Outros administrativos	-11,57	0,00
Borracha e plástico	-15,52	-15,70	Atividades de vigilância	-10,20	0,00
Minerais não metálicos	-13,45	-13,45	Administração pública	-8,41	0,00
Ferro gusa e siderurgia	-13,42	-13,61	Educação pública	-8,34	0,00
Metalurgia	-12,91	-13,54	Educação privada	-10,53	0,00
Produtos de metal	-12,54	-12,73	Saúde pública	-8,26	0,00
Equipamentos de informática	-8,60	-11,23	Saúde privada	-6,63	0,00

Máquinas e equipamentos elétricos	-15,21	-15,94	Atividades artísticas	-10,88	0,00
Máquinas e equipamentos mecânicos	-14,56	-15,32	Organizações associativas e outros	-10,43	0,00
Veículos	-12,19	-12,76	Famílias	-1,44	0,00

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo

Mesmo com as mudanças na composição etária até 2060 e com as mudanças na composição do consumo, é possível dizer que as contribuições por parte da mudança demográfica serão baixas até 2060. Apesar de um menor ritmo de crescimento nos próximos anos, a população brasileira ainda será de 228,2 milhões de pessoas em 2060, acima da atual população de 217,6 milhões de habitantes segundo o IBGE.

A mudança na composição do consumo projetada pelas simulações realizadas mostrou ainda que há um estímulo em setores que são intensivos em emissões, como é o caso de Água e esgoto, Agricultura, Pecuária, e Energia elétrica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até 2060, a população brasileira deverá diminuir e mudar a sua composição etária, aumentando a proporção de pessoas com mais de 60 anos, o que deve ultrapassar a proporção da população com crianças e jovens. De acordo com as projeções demográficas calculadas neste estudo, as famílias que possuem idosos devem representar cerca de 43% da população até 2060, em relação aos 26,3% das famílias com crianças e adolescentes.

Dessa forma, as mudanças na composição etária da população deverão ter muitas implicações para o consumo de bens e serviços, para o mercado de trabalho e para o nível de atividade. Até 2060, há um grande desafio para as políticas públicas para lidar com as necessidades futuras de uma população em envelhecimento. Ao mesmo tempo, até 2060, há uma preocupação em relação as mudanças climáticas e seus impactos na vida humana.

Nesse contexto, buscou-se avaliar como a mudança demográfica impacta as emissões de GEE, considerando uma mudança na composição etária da população e uma redução na oferta de trabalho, decorrente da redução da PEA. Para isso, foram feitas projeções até o ano de 2060 usando um modelo dinâmico de EGC para a economia brasileira considerando 65 setores e sete tipologias familiares por faixas etárias.

Os resultados do modelo EGC mostram que há uma mudança na composição do consumo conforme a mudança demográfica avança. Verifica-se um aumento no consumo de produtos alimentares, especialmente para as famílias da tipologia 7, que inclui idosos com 70 anos ou mais. Para famílias das tipologias entre 0 e 4, que não incluem idosos, o consumo desses produtos se reduzem no acumulado até 2060 (Cenário I). Neste cenário, verificou-se uma mudança na composição do consumo em direção a produtos que a literatura indica como de consumo idoso, como é o caso de saúde, produtos farmacêuticos, eletricidade, produtos alimentares. Em relação as emissões de CO₂ equivalente, essa simulação indicou um aumento nas emissões de 0,21% no acumulado até 2060 sugerindo que essa mudança no padrão de consumo pode deixar inalteradas ou até mesmo aumentar as emissões.

No caso da segunda simulação, a redução da PEA teve um impacto importante sobre os agregados macroeconômicos, com redução de 9,95% do PIB até 2060. Na atividade setorial e no consumo familiar, a grande maioria dos produtos apresentou uma redução no acumulado até 2060. Porém, mesmo com a redução na atividade e no consumo, ainda foi possível identificar que aconteceu uma mudança no padrão de consumo em direção as atividades como saúde, energia, produtos alimentares e transporte. Nessa simulação, a redução das emissões de CO₂ equivalente foi de 10,34% até 2060.

Portanto, considerando as duas simulações, o resultado das emissões ao final de 2060 ainda é muito pequeno diante das metas de reduções de CO₂ previstas na Contribuição

Nacionalmente Determinada para o Brasil. De acordo com as metas brasileiras, a redução para o ano de 2030 precisa ser de 53% em relação ao nível das emissões de 2005, o que resultaria em emissões em torno de 1,25 bilhões de toneladas, incluindo a mudança no uso da terra.

Por fim, cabe discutir algumas limitações desse trabalho e possibilidades de desenvolvimentos futuros. Primeiro, os dados obtidos da POF e a construção da base de dados representou grande parte das famílias, mas parte das famílias não estão consideradas neste estudo, que são as famílias, por exemplo, que incluem crianças de duas faixas etárias diferentes. Não é considerado também uma mudança na composição etária, ou seja, que as famílias se tornem, por exemplo, cada vez menores no futuro. Apesar de terem sido utilizadas as projeções demográficas do IBGE, mostrando o aumento na população idosa, uma mudança na composição etária domiciliar não foi considerada. Não foi considerado também o papel da previdência social na renda e no consumo familiar.

Por fim, apesar do trabalho considerar projeções para o envelhecimento da PEA, não foi considerado que os idosos podem escolher passar mais tempo no mercado de trabalho no futuro. O que poderia garantir uma renda familiar maior e justificar um padrão de consumo diferenciado. Não são considerados também aumentos na renda per capita no Brasil, nem a possibilidade de modificações na oferta de mão de obra decorrente de imigração. Também não foram consideradas as mudanças tecnológicas que podem reduzir o coeficiente de emissões das atividades econômicas.

7. REFERÊNCIAS

ALVES, J. E. D. A transição demográfica e a janela de oportunidade. São Paulo: Instituto Fernand Braudel de Economia Mundial, 2008.

ALVES, E. D.; VASCONCELOS, S.; CARVALHO, A. D. Estrutura etária, bônus demográfico e população economicamente ativa no Brasil: cenários de longo prazo e suas implicações para o mercado de trabalho. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2010.

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

CHANCEL, L. Are younger generations higher carbon emitters than their elders?: Inequalities, generations and CO2 emissions in France and in the USA. **Ecological Economics**, v. 100, p. 195-207, 2014.

COLE, M. A.; NEUMAYER, E. Examining the impact of demographic factors on air pollution. **Population and Environment**, v. 26, n. 1, p. 5-21, 2004.

DALTON, M.; JIANG, L.; PACHAURI, S.; O'NEILL, B. Demographic Change and Future Carbon Emissions in China and India. In: Presentation at the Population Association of America Annual Meetings, New York, 2007.

DALTON, M.; O'NEILL, B.; PRSKAWETZ, A.; JIANG, L.; PITKIN, J. Population aging and future carbon emissions in the United States. **Energy Economics**, vol. 30, n. 2, p. 642– 675, março-2008. DOI: 10.1016/j.eneco.2006.07.002.

DENTON, F.; SPENCER, B. Population Aging and Its Economic Costs: A Survey of the Issues and Evidence. **Canadian Journal on Aging**, vol. 19, n.1, p. 1-31, Janeiro-2000.

DEWHURST, J. H. L. Estimating the effect of projected household composition change on production in Scotland. **Dundee Discussion Papers in Economics**, n. 186,

2006.

DIETZ, T.; ROSA, E. A. Effects of population and affluence on CO2 emissions. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, vol.94, p.175-179, janeiro -1997. DOI: 10.1073/pnas.94.1.175.

EHRlich, I. The problem of development: introduction. **Journal of Political Economy**, The University of Chicago, v. 98, n.5, p. 1-11, 1990.

EHRlich, P. R.; HOLDREN, J. P. Impact of Population Growth. **Science**, v. 171, n. 3977, p. 1212 – 1217, 1971.

INOUE, N.; MATSUMOTO, S.; MAYUMI, K. Household energy consumption pattern changes in an aging society: the case of Japan between 1989 and 2014 in retrospect. **International Journal of Economic Policy Studies**, p. 1-17, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2018. Projeções da população: Brasil e unidades da federação: revisão 2018; IBGE, Rio de Janeiro, 56 p. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

JIANG, L; HARDEE, K. How do recent population trends matter to climate change?. **Population Research and Policy Review**, v. 30, p. 287-312, 2011.

JUNG, T.Y.; KIM, Y.G.; MOON, J. The Impact of Demographic Changes on CO2 Emission Profiles: Cases of East Asian Countries. **Sustainability**, vol.13, n.2, p.667, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13020677>.

KRONENBERG, T. The impact of demographic change on energy use and greenhouse gas emissions in Germany. **Ecological Economics**, vol. 68. p. 2637-2645, 2009.

LYONS, S.; PENTECOST, A.; TOL, R. SJ. Socioeconomic distribution of emissions and resource use in Ireland. **Journal of environmental management**, v. 112, p. 186-198, 2012.

LÜHRMANN, M. Population aging and the demand for goods & services. MEA discussion paper series 05095, University of Mannheim, 2005.

MAGALHÃES, A. S. Economia de Baixo Carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa, 2013, 290 p. (Tese de Doutorado). Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

MACKELLAR, F. L., LUTZ, W., PRINZ, C., GOUJON, A. Population, households and CO2 emissions. **Population and Development Review**, 21, 849–865, 1995.

PAIVA, P. T. A; WAJNMAN, S. Das causas às consequências econômicas da transição demográfica no Brasil, **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, 22(2), p. 303-322, 2005

PARK, S., HEWINGS, G.J.D. Aging and the Regional Economy: Simulation Results from the Chicago CGE Model. Discussion Paper 07-T-4, Regional Economics Applications Laboratory, University of Illinois, Urbana, IL, 2007.

- PEBLEY, Anne R. Demography and the environment. **Demography**, v. 35, n. 4, p. 377-389, 1998.
- SEEG, Sistema de estimativa de emissões de gases de efeito estufa. 2023. Disponível em: http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#. Acesso em: 06 abr. 2022.
- O'NEILL, B. C., LIDDLE, B., JIANG, L., SMITH, K. R., PACHAURI, S., DALTON, M., & FUCHS, R. (2012). Demographic change and carbon dioxide emissions. *The Lancet*, 380(9837), 157-164.
- O'NEIL, B. C.; DALTON, M.; FUCHS, R.; JIANG, L.; PACHAURI, S.; ZIGOVA, K. Global demographic trends and future carbon emissions. PNAS, vol. 104, n. 41, p. 17521-17526, 2010.
- UNITED NATIONS. Data Portal Population Divisions. Disponível em: <https://population.un.org/dataportal/data/indicators/19/locations/900,76/start/1950/end/2030/enable/pivotbylocation>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.
- YOON, S. G.; HEWINGS, G. J. D. Impacts of demographic changes in the Chicago region. REAL Discussion Paper 06-T-7, 2006.
- WEI, T.; ZHU, Q.; GLOMSROD, S. Ageing Impact on the Economy and Emissions in China: A Global Computable General Equilibrium Analysis. **Energies**, v. 11(4), p. 1-13, 2018.
- WIER, M.; LENZEN, M.; MUNKSGAARD, J.; SMED, S. Effects of Household Consumption Patterns on CO2 Requirements. **Economic Systems Research**, vol. 13:3, p. 259-274, 2001. DOI: 10.1080/09537320120070149.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, The Global Health Observatory. Disponível em: <https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/1119#:~:text=Definition%3A,a%20specific%20point%20in%20time>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.