

Micaele Martins de Carvalho

**IMPACTOS ECONÔMICOS DA AMPLIAÇÃO DO USO DE ENERGIA SOLAR  
RESIDENCIAL EM MINAS GERAIS**

Belo Horizonte, MG  
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional  
Faculdade de Ciências Econômicas – UFMG  
2017

Micaele Martins de Carvalho

## **Impactos econômicos da ampliação do uso de energia solar residencial em Minas Gerais**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Economia do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Edson Paulo Domingues

Coorientadora: Profa. Dra. Aline Souza Magalhães

Belo Horizonte, MG  
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional  
Faculdade de Ciências Econômicas – UFMG  
2017

Ficha Catalográfica

C331i  
2017

Carvalho, Micaele Martins de.  
Impactos econômicos da ampliação do uso de energia solar residencial em Minas Gerais [manuscrito] / Micaele Martins de Carvalho. – 2017.  
98 f. : il., gráfs. e tabs.

Orientador: Edson Paulo Domingues.  
Coorientadora: Aline Souza Magalhães.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.  
Inclui bibliografia (f. 70-77) e anexos.

1. Recursos energéticos – Minas Gerais – Teses. 2. Energia solar – Teses. 3. Energia – consumo- Minas Gerais - Teses. I. Domingues, Edson Paulo. II. Magalhães, Aline Souza. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. IV. Título

CDD: 333.79098151

Elaborada pela Biblioteca da FACE/UFMG – FPS/054/2017



À Vó Marica (*in memoriam*)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, a força em todos os momentos.

Aos Meus orientadores, Aline e Edson, por toda atenção e paciência.

Aos Membros da banca, Dênis, Mariangela e Sibelle, pelos comentários e contribuições imprescindíveis.

À minha família e amigos, pelo amor, apoio e incentivo.

A todos os meus professores e colegas do Cedeplar, pelos conhecimentos compartilhados.

E a todos que de certa forma contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada!

## **RESUMO**

A atual crise ambiental e o crescente aumento da demanda energética têm estimulado o desenvolvimento de fontes alternativas de energia renovável, como a solar. O Brasil, e em especial o Estado de Minas Gerais, apresentam enorme potencial de aproveitamento de energia solar, tanto para geração de energia fotovoltaica quanto para aquecimento de água. Contudo, a energia solar ainda é subutilizada. Dado o potencial de utilização desta fonte de energia renovável, esta dissertação tem por objetivo analisar os impactos econômicos de uma ampliação do uso de energia solar pelas famílias mineiras através do modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) denominado IMAGEM-MG. Em contraste com os outros trabalhos que utilizam essa metodologia para analisar questões energéticas, o presente trabalho se propôs a analisar os impactos distributivos da utilização de energia renovável para autoconsumo. Foi utilizado um conjunto de 10 famílias representativas, divididas por classes de rendimento, o que tornou possível comparar as mudanças no padrão de consumo entre diferentes classes decorrentes da adoção da energia solar. Realizou-se uma análise de viabilidade técnica e econômica para determinar as condições para adoção de energia solar, através de dois cenários distintos: adoção de painéis fotovoltaicos para geração distribuída de eletricidade e adoção de sistemas de aquecimento de água residencial. Os resultados mostram que a adoção de painéis fotovoltaicos gera impactos setoriais distintos da adoção de aquecedores solares devido à composição do consumo das famílias que adotam cada tecnologia. Ressalta-se, ainda, que os ganhos em termos de aumento do consumo, PIB e investimentos observados poderiam ser potencializados por políticas energéticas que estimulassem o aproveitamento de energia solar residencial.

Palavras-chave: Energia Solar, Equilíbrio Geral Computável, Painéis Fotovoltaicos, Aquecedores Solares.

## ABSTRACT

The current environmental crisis and the increasing of power demand have had encouraged the development of alternative sources, such as the solar energy. In Brazil, more specifically in Minas Gerais, there is an enormous solar energy exploitation potential, both to generate photovoltaic energy and water heating. Nevertheless, the solar energy is still underused. According to the use of this renewable energy source, the main goal of this dissertation is to analyze the economic impacts of the broadening of solar energy use by the *mineiras* families, through the computable general equilibrium (CGE) model named IMAGEM-MG. In this research, the distributive impacts of the use of renewable energy for self-consumption were analyzed, unlike previous studies that used this methodology to analyze energy issues. A set of 10 representative families were investigated, divided by yield classes, which made it possible to compare the consumption pattern changes between different classes due to the adoption of solar energy. A technical and economic feasibility analysis was carried out to ascertain the conditions of the adoption of solar energy, throughout two different scenarios: the adoption of photovoltaic panels to the distributed generation of electricity and the adoption of water heating residential system. The results show that the adoption of photovoltaic panels causes sectorial impacts distinct from the adoption of solar heaters due to the composition of the families' consumption by each technology. Moreover, the gains in terms of use enhancement, GDP and observed investments could be strengthened by energetic policies which would stimulate the usefulness of residential solar energy.

Key words: Solar energy, Computable General Equilibrium, Photovoltaic Panels, Solar Heaters.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura hierárquica da demanda das famílias .....	25
Figura 2 - Mecanismo de composição da demanda do modelo IMAGEM-MG .....	27
Figura 3 - Estrutura hierárquica da tecnologia de produção.....	29
Figura 4 - Estrutura hierárquica da demanda por investimento.....	30
Figura 5 - Construção da base de dados do modelo .....	32
Figura 6 - Evolução do Consumo por Classe de renda em Minas Gerais decorrente da aquisição de painéis fotovoltaicos (var %).....	49
Figura 7 - Evolução da Arrecadação tributária em Minas Gerais no cenário de adoção de painéis fotovoltaicos pelas famílias.....	50
Figura 8 - Impacto nos 10 setores mais afetados pela adoção de painéis fotovoltaicos em Minas Gerais (var %) .....	52
Figura 9 - Evolução do Consumo por Classe de renda em Minas Gerais decorrente da aquisição de aquecedores solares (var %) .....	58
Figura 10 - Evolução da Arrecadação tributária em Minas Gerais no cenário de adoção de aquecedores solares pelas famílias .....	59
Figura 11 - Impacto nos 10 setores mais afetados pela adoção de aquecedores solares em Minas Gerais (var %) .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Definição dos grupos de famílias por salário mínimo.....	33
Tabela 2 - Vetor de Consumo das Famílias de Minas Gerais .....	34
Tabela 3 - Principais variáveis do cenário macroeconômico (var. % real) .....	36
Tabela 4 - Consumo médio de Eletricidade em 2016.....	42
Tabela 5 – Benefício familiar decorrente da aquisição de painéis fotovoltaicos (% da renda familiar no ano) .....	44
Tabela 6 - Benefício familiar decorrente da aquisição de aquecedores solares (% da renda familiar no ano) .....	45
Tabela 7 - Impactos em Minas Gerais da adoção de painéis fotovoltaicos nas residências (var % em 2036 – desvio acumulado em relação ao cenário base) .....	46
Tabela 8 - Impactos da adoção de painéis fotovoltaicos sobre o consumo das famílias em Minas Gerais (var % - desvio acumulado em relação ao cenário base).....	47
Tabela 9 - Impactos setoriais em Minas Gerais da adoção de painéis solares pelas famílias (desvio % acumulado em relação ao cenário base 2017-2036) .....	51
Tabela 10 - Variação no consumo, por produto, decorrente da adoção de painéis fotovoltaicos .....	54
Tabela 11 - Impactos em Minas Gerais da adoção de aquecedores solares nas residências (var % em 2036 – desvio acumulado em relação ao cenário base) .....	56
Tabela 12 - Impactos da adoção de aquecedores solares sobre o consumo das famílias em Minas Gerais (var % - desvio acumulado em relação ao cenário base).....	57
Tabela 13 - Impactos setoriais em Minas Gerais da adoção de aquecedores solares pelas famílias (desvio % acumulado em relação ao cenário base 2017-2036).....	60
Tabela 14 - Variação no consumo, por produto, decorrente da adoção de aquecedores solares .....	63

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Energias Renováveis .....	6
2.1. Políticas Energéticas: experiências nacionais e internacionais.....	6
2.2. Equilíbrio Geral Computável para análise de políticas energéticas .....	11
2.3. Potencial de aproveitamento da energia solar: viabilidade econômica .....	18
3. Metodologia.....	21
3.1. Modelo .....	21
3.2. Base de Dados e Parâmetros .....	31
4. Simulações.....	36
4.1. Dimensionamento dos Sistemas .....	38
4.1.1. Dimensionamento do Painel Fotovoltaico .....	38
4.1.2. Dimensionamento do Aquecedor Solar .....	40
4.2. Análise de Viabilidade Econômica por Classe de Rendimentos .....	41
5. Resultados.....	46
5.1. Resultados da adoção de painéis fotovoltaicos nas residências mineiras .....	46
5.2. Resultados da adoção de aquecedores solares nas residências mineiras .....	56
5.3. Discussão dos Resultados .....	65
6. Conclusão .....	67
Referências Bibliográficas.....	70
Anexo 1 - Estrutura Teórica do Modelo IMAGEM-MG .....	78
Anexo 2 - Equações Comportamentais do IMAGEM-MG .....	83
Anexo 3 - Consumo por Família .....	97

## 1. INTRODUÇÃO

A ocorrência cada vez mais intensa e frequente de eventos climáticos extremos, como secas e enchentes, ilustra os potenciais danos das mudanças climáticas sobre a sociedade. Há também evidências da elevação do nível dos oceanos e da acidificação dos mesmos, que são provocadas pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e colocam em risco a produtividade pesqueira e os serviços ecossistêmicos dos oceanos (IPCC, 2014). Espera-se, ainda, uma redução significativa da ocorrência de chuvas no Centro-Oeste, Norte e Nordeste e variações positivas da precipitação no Sul e Sudeste nos próximos anos (PBMC, 2013).

A contribuição antrópica para o aquecimento global por meio da queima de combustíveis fósseis tem se tornado consenso, colocando em pauta a necessidade de medidas mitigatórias, com ênfase na utilização de matriz energética mais limpa. Nesse contexto, o Brasil apresenta estrutura favorável. Em 2014, os recursos renováveis representavam 50,8% da matriz energética do país. Em termos da matriz elétrica, observa-se, neste mesmo ano, que 74,6% da oferta interna eram originárias de fontes renováveis, em maior parte energia hidráulica (MME, 2015).

Contudo, a utilização e expansão dessa fonte de energia encontra limitações frente não só às questões ambientais envolvidas com a construção das usinas, mas também com a crise hídrica vivenciada pelo país desde 2014. Nesse ponto, o fator clima tem papel preponderante, pois as mudanças climáticas, à medida que afetam o volume das chuvas, agravam a situação hídrica. Além disso, observa-se esgotamento das principais bacias hidrográficas brasileiras, com capacidade de geração hidroelétrica de alta densidade energética, nos principais centros consumidores do país (PEREIRA et al., 2006).

A solução imediata para suprir a demanda energética tem sido a utilização das termoeletricas<sup>1</sup> que, no entanto, é limitada por dois problemas principais. O primeiro deles refere-se à questão ambiental, dadas as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) associadas a esta fonte de energia, que prospectivamente, contribuiriam para a intensificação das mudanças climáticas e possível quadro mais agudo de eventos climáticos irregulares tal qual a redução do volume de chuvas e consequente escassez hídrica. Já o segundo componente é

---

<sup>1</sup> Usinas termelétricas produzem energia elétrica a partir da queima de combustíveis fósseis como gás natural, derivados do petróleo e carvão mineral, que liberam GEE durante a queima. Também é possível utilizar combustíveis de biomassa, porém, os combustíveis fósseis ainda são muito utilizados no Brasil devido à sua maior eficiência em relação à biomassa (LIMA; SOUZA, 2015).

econômico, pois a energia termoeletrica implica condições de geração relativamente mais caras, revertidas em aumentos de tarifas<sup>2</sup>.

No ranking nacional das tarifas residenciais homologadas pela ANEEL, que exclui tributos e taxas de iluminação pública, a Companhia Energética de Minas Gerais S.A. (CEMIG), está entre as 12 distribuidoras com maiores tarifas (ANEEL, 2016). Assim, o preço elevado da eletricidade, associado à degradação ambiental provocada pelas fontes tradicionais de geração de eletricidade, cria espaço para discutir a adoção de fontes alternativas de energia. Nesse sentido, destaca-se a energia solar, em especial a conversão de radiação solar em eletricidade a partir de painéis fotovoltaicos. Minas Gerais é um dos estados que poderiam se beneficiar com a expansão da energia fotovoltaica, dado que apresenta alto nível de irradiação solar (CEMIG, 2012). Dessa forma, a energia solar fotovoltaica residencial desponta com potencial para suprir a demanda de eletricidade no estado (SALAMONI et al., 2004; NAKABAYASHI, 2015).

A demanda total de energia em Minas Gerais, considerando consumo final, consumo dos centros de transformação, perdas na distribuição e armazenagem e energéticos, alcançou 38,4 milhões de toneladas de petróleo equivalente (tep) em 2014. Este valor corresponde a aproximadamente 12,5% da demanda total de energia do Brasil. O setor residencial, por sua vez, representa a terceira maior demanda de energia no estado, o que corresponde a 5,2% do total. As fontes de energia mais representativas, em 2014, foram eletricidade (44,2%), gás liquefeito de petróleo – GLP (32,2%) e lenha (21,4%). Tanto a lenha quanto o GLP tem como principal utilização a cocção de alimentos, sendo a lenha mais comum em regiões rurais (CEMIG, 2016).

Observando a evolução histórica do consumo no setor residencial, destaca-se o crescimento da utilização de energia elétrica, que está relacionada ao aumento da utilização de equipamentos elétricos como os eletrodomésticos (AMARAL; MONTEIRO, 2010). Portanto, a eletricidade vem assumindo papel crescente e relativamente importante no consumo de energia no setor residencial. E atrelado a isso, há a demanda cada vez maior por fontes

---

<sup>2</sup> No Brasil, o repasse aos consumidores se dá através de um Sistema de Bandeiras Tarifárias, de acordo com a Resolução Normativa nº 547/13 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, vigente desde janeiro de 2015. O sistema é constituído de três bandeiras (verde, amarela e vermelha), que indicam acréscimo ao custo do quilowatt-hora (kWh) dadas as condições de geração da concessionária de energia. A bandeira verde representa a condição de geração favorável, não há acréscimo na tarifa. Na bandeira vermelha as condições são mais custosas, em que é necessário recorrer às termoeletricas para suprir a demanda de eletricidade, e a tarifa pode chegar a sofrer um acréscimo de R\$ 0,045 para cada kWh consumido.

alternativas de baixo impacto ambiental e menores custos financeiros. Segundo o Relatório Deutsche Bank (2015), espera-se que o mercado de eletricidade dobre de tamanho nos próximos 20 anos e que a indústria de energia solar cresça até 10 vezes o atual tamanho nesse mesmo período. A previsão é que com o aumento da demanda, os custos se reduzam consideravelmente e a geração de energia solar avance para a produção em larga escala. Ou seja, se de um lado é necessário diversificar a matriz energética e reduzir as emissões de GEE, por outro, o investimento em fontes alternativas de energia pode também ser economicamente viável, desde que existam os incentivos necessários ao seu desenvolvimento. Neste contexto, na última década, uma série de estudos buscaram analisar a viabilidade econômica da utilização de energia solar, como os painéis fotovoltaicos (JARDIM et al., 2008; ORDENES et al., 2007; MITSCHER; RUTHER, 2012; HOLDERMANN; KISSEL; BEIGEL, 2014) e os aquecedores solares (WOELZ, 2002; RISPOLI, 2008; ALTOÉ; OLIVEIRA FILHO; CARLO, 2012; MILHOMEM et al., 2015; PEREIRA; SANTOS, 2016).

Até o final do século passado, grande parte da capacidade instalada fotovoltaica mundial derivava dos sistemas isolados. Porém, devido à redução nos custos e programas de incentivos da última década, houve crescimento dos sistemas conectados à rede, que passaram a representar aproximadamente 99% da potência acumulada total em 2012. Grande parte dessa geração é descentralizada. Ou seja, existe enorme possibilidade de aplicação para atendimento domiciliar, mostrando-se a principal alternativa para a geração de eletricidade para autoconsumo, no horizonte de 2050 (EPE, 2014a). Minas Gerais está entre os estados com maior potencial técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais, dado o potencial de radiação solar, seria possível gerar 3,18 vezes mais eletricidade do que o consumo elétrico residencial no ano de 2013, demonstrando teoricamente que a geração distribuída fotovoltaica poderia suprir, com excedentes, esta demanda (EPE, 2014b). Porém, apesar do elevado potencial, no Brasil há apenas projetos experimentais de sistemas autônomos e conectados à rede (CABELLO; POMPERMAYER, 2013).

O mercado mundial de aquecedores solares expandiu-se significativamente durante a década de 1990, promovendo melhora da qualidade e confiabilidade dos produtos disponíveis. No Brasil, 72% da área total de aquecedores solares estão na classe residencial, destinados para banho. Porém, apesar da maturidade do mercado nacional de aquecimento solar ao longo dos últimos anos, o fator de penetração dessa tecnologia nas residências brasileiras ainda é reduzido (PEREIRA; SOUZA; SILVA, 2012). Apesar de, em 2013, aproximadamente 4,12% das residências brasileiras possuírem sistema de aquecimento solar de água, com destaque

para a participação de Minas Gerais neste mercado em contínua expansão (EPE, 2014a), atenta-se ao fato de que a energia solar ainda é muito pouco aproveitada. Devido ao alto potencial, tanto para a geração fotovoltaica quanto para o aquecimento solar, conhecer os impactos da ampliação da utilização da energia solar torna-se fundamental ao planejamento energético.

De acordo com Varella, Cavaliero e Silva (2011), o uso de alternativas de energia renovável tem perspectivas de um aumento substancial no Brasil, especialmente após aprovação da lei de universalização dos serviços de abastecimento de eletricidade (Lei nº 10438 de 2002), ampliando a participação dos fabricantes nacionais no mercado. Segundo Diniz et al. (2011), para atingir esta lei e alcançar as metas estabelecidas pelo Programa Luz para Todos<sup>3</sup>, a CEMIG optou pela tecnologia fotovoltaica, devido à disponibilidade de recurso solar em Minas Gerais e ao custo relativo do sistema fotovoltaico (FV). A partir da experiência da CEMIG, observa-se a confiabilidade da tecnologia fotovoltaica, mostrando-se como alternativa economicamente viável para a eletrificação rural no estado. Em relação ao futuro das tecnologias solares fotovoltaicas, a tendência dominante é um aumento ou manutenção da diversidade, o que pode estimular sua inovação e difusão (LACERDA; VAN DEN BERGH, 2016). Assim, a viabilidade econômica observada para a eletrificação rural em Minas Gerais deve se expandir para geração distribuída ligada à rede.

Dessa forma, o objetivo principal desta dissertação consiste em simular os impactos, sobre a economia de Minas Gerais, decorrentes da utilização de energia solar fotovoltaica residencial ligada à rede elétrica (*on gride*) e da utilização de aquecedores solares como alternativas ao consumo de eletricidade proveniente da concessionária de energia elétrica. Mais especificamente, são consideradas as condições para aquisição dos painéis fotovoltaicos e aquecedores solares, tais como os custos do projeto e suas formas de financiamento pelas famílias. Os impactos desta aquisição sobre indicadores socioeconômicos e setoriais (produção, consumo, renda, nível de emprego), além de resultados por grupos de famílias, são obtidos a partir de simulações com um modelo de equilíbrio geral computável.

---

<sup>3</sup> O Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica foi lançado por meio do Decreto nº 4.873/2003, com o objetivo de propiciar o atendimento em energia elétrica à parcela da população do meio rural brasileiro que ainda não possui acesso a esse serviço público.

Como a energia solar residencial ainda corresponde a uma parcela muito pequena da eletricidade utilizada e pela dificuldade de capturar as alterações ocorridas no passado, modelos econométricos podem não ser os mais adequados para o estudo da ampliação da utilização da energia solar pelas famílias. Ademais, o investimento em energia solar e a crescente utilização pelas famílias podem afetar diversos agentes e setores da economia, cujos efeitos podem se amplificar ou anular dentro da cadeia de inter-relações econômicas e regionais. Ou seja, espera-se que as famílias que passem a utilizar energia solar obtenham ganho líquido de renda. Este ganho afetaria direta e indiretamente seu padrão de consumo. Além disso, esta variação no consumo impulsionaria diferentemente o nível de atividade dos diversos setores produtivos. O aumento da oferta de energia por fontes renováveis é ainda benéfico ao promover segurança e diversidade da matriz elétrica, além dos ganhos ambientais, principalmente em relação à redução das emissões de gases de efeito estufa provenientes da geração de eletricidade por fontes poluentes. Nesse contexto, a abordagem de Equilíbrio Geral Computável (EGC) mostra-se ferramenta adequada para tratar sobre o tema.

Os impactos da utilização de fontes de energia renovável utilizando essa metodologia podem ser encontrados em Kancs (2007), Boeters e Koornneef (2011), Lee (2012), Böhringer, Keller e Werf (2013), Cansino et al. (2013), Rivers (2013), Rausch e Mowers (2014), Cansino et al. (2014), Acar e Yeldan (2016) e Dai et al. (2016). O presente trabalho se diferencia da literatura existente ao analisar os impactos socioeconômicos da utilização da energia solar pelas famílias para autoconsumo. Assim, torna-se possível avaliar os impactos de políticas energéticas, fornecendo informações importantes para o planejamento público e até mesmo para políticas de redistribuição de renda.

Para tanto, a presente dissertação é composta por seis capítulos, incluindo esta introdução. O capítulo 2 é dividido em três subseções, em que a primeira apresenta as experiências internacionais de políticas energéticas, buscando exemplos de sucesso de incentivo ao aproveitamento da energia solar, bem como políticas e Projetos de Lei nacionais, como estímulo para discutir os impactos de políticas energéticas. A segunda subseção apresenta os trabalhos de EGC que analisam os impactos socioeconômicos de mudanças na matriz energética dos países provocados pela adoção de fontes energéticas alternativas. A última subseção apresenta os estudos de viabilidade técnica e econômica da adoção de aquecedores solares e de painéis fotovoltaicos a fim de embasar a ampliação da utilização da energia solar nas residências. O capítulo 3, por sua vez, detalha a estrutura do modelo EGC. Já o capítulo 4 apresenta as simulações realizadas. Os resultados serão apresentados no



Capítulo 5, com as estimativas dos impactos socioeconômicos da utilização da energia solar pelas famílias de Minas Gerais. Por fim, no sexto capítulo são tecidas as conclusões e as contribuições alcançadas com este estudo.

## **2. ENERGIAS RENOVÁVEIS**

### **2.1. Políticas Energéticas: experiências nacionais e internacionais**

Segundo Solangi et al. (2011), a energia solar apresenta grande potencial para o futuro, sendo atraente do ponto de vista ambiental, dado que não emite GEE, além de contribuir indiretamente para a melhoria da qualidade dos recursos hídricos. Além disso, a geração fotovoltaica diversifica a matriz energética, reduz a dependência regional de um sistema centralizado e acelera a eletrificação rural nos países em desenvolvimento. Nesse sentido, diversas políticas de estímulo à energia solar vêm sendo adotadas, tais como as tarifas *feed-in* (*feed-in-tariff* - FIT) e portfólio padrão de renováveis (*Renewable Portfolio Standard* - RPS), além de créditos fiscais, leis de preços, incentivos à produção, quotas e sistemas de comercialização.

O FIT é o mecanismo utilizado para incentivar o investimento em tecnologias de energias renováveis através de legislações que obrigam as concessionárias a comprarem eletricidade de fontes renováveis por preços estabelecidos pelo governo, que se situam acima dos valores de mercado. Já a estrutura do RPS especifica, como obrigação para as empresas que fornecem eletricidade, uma fração da produção de eletricidade que deve ser proveniente de fontes renováveis. Para cumprir essas obrigações, é comum recorrer à comercialização de Certificados de Energia Renovável (CER) em que os geradores de energia renovável obtêm certificados por unidade de eletricidade produzida que podem ser vendidos (junto à energia produzida) para as empresas de abastecimento.

Diversos programas de incentivo à produção de energia limpa surgiram nas décadas de 1980 e 1990, estimulados pela preocupação ambiental com os impactos gerados pelas fontes poluentes. Pode-se destacar os programas “telhados solares” na Alemanha (1990) e no Japão (1993), apontando a viabilidade da energia solar (VALLERA; BRITO, 2006). Recentemente, observou-se nos países europeus maior apoio aos investimentos em geração de energia solar, principalmente financiando a instalação de sistemas fotovoltaicos ligados ou não à rede, conforme adotado na Alemanha, Japão, Estados Unidos e Espanha (CABELLO; POMPERMAYER, 2013).

De acordo com Solangi et al. (2008), os impactos negativos do consumo de combustíveis fósseis, além das limitações técnicas em termos de expansão da oferta, têm estimulado investimentos em fontes renováveis como alternativas para atender à crescente demanda de energia. Nos EUA, por exemplo, o RPS é adotado em 28 estados. Além disso, o país adota um sistema de crédito para o investimento fiscal (*Solar Investment Tax Credit - ITC*). O ITC é um crédito fiscal de 30% para instalação de sistemas solares em propriedades residenciais e comerciais, a princípio, e foi vigente até 2016. O objetivo é impulsionar a concorrência e a inovação tecnológica, reduzindo os custos da adoção desses sistemas. Em 2012, a Alemanha quebrou o recorde de produção percentual de energia solar, conseguindo suprir 50% da sua necessidade energética através de painéis solares. Isso foi possível graças à ação de políticas governamentais, com incentivos diferenciados por regiões. Recentemente, a Espanha também conseguiu estimular a geração de energia solar utilizando um sistema baseado na possibilidade de venda da eletricidade produzida por meio do mecanismo de FIT e incentivos fiscais. As tarifas *feed-in* também são uma das principais medidas de estímulo a energia fotovoltaica na França, desde 2006. Além disso, a França adota incentivos na forma de empréstimos e incentivos fiscais através de créditos de imposto e isenções.

Já o Japão investe em programas de subsídio para instalação de painéis solares em residências, estimulando os consumidores a venderem o excesso de energia elétrica gerada para a concessionária de energia (JANNUZZI; GOMES; VARELLA, 2009). De forma similar, a China também tem estimulado a geração de energia solar fotovoltaica, através de políticas de apoio como a Lei de Energia Renovável (2005), que marcou nova etapa do programa de desenvolvimento das energias renováveis no país. Criou-se um fundo público para financiar pesquisas sobre energias renováveis e subsidiar empréstimos para projetos de geração de energia por fontes renováveis. Além disso, o governo chinês adotou determinadas políticas e regulamentos visando incentivar a utilização de fontes renováveis, como a obrigatoriedade de compra pela companhia elétrica de toda energia elétrica fotovoltaica gerada, bem como o fornecimento de redes de conexão suficientes. O governo também estabelece um preço superior ao convencional para a energia elétrica gerada a partir dos painéis solares e subsidia a indústria de recursos renováveis (SOLANGI et al., 2011).

Os exemplos desses países deixam duas importantes conclusões. A primeira é que a principal limitação da expansão da utilização da energia solar para geração de eletricidade encontra-se nos custos da instalação dos sistemas fotovoltaicos. A segunda diz respeito à

necessidade de políticas energéticas que estimulem o desenvolvimento dessa atividade. Esta mesma necessidade também se verifica no mercado de aquecedores solares.

Segundo Nieters, Knaack e Rodrigues (2012), os primeiros programas governamentais de fomento à energia solar térmica no mundo foram introduzidos nos anos 1970, como consequência da crise do petróleo e da crescente discussão de questões ambientais, como a degradação do meio ambiente e as mudanças climáticas. Assim, fontes renováveis começam a ser vistas como soluções para atender ao consumo doméstico de energia. A energia solar ganha, então, pauta na agenda de diversos países como alternativa para reduzir o consumo de energias fósseis em habitações e edificações públicas. Dessa forma, ocorreu expansão do investimento em sistemas de aquecimento solar.

A primeira experiência de utilização de aquecedores solares em larga escala aconteceu em Israel, por volta de 1950, devido ao grande *déficit* de energia provocado pela ausência de fontes naturais para a sua produção e restrições de acesso ao petróleo. Assim, o governo israelense adotou diversas medidas para controle do consumo de energia, o que contribuiu para estimular o desenvolvimento do mercado de aquecedores. Após 25 anos, Israel já se mostrava um dos líderes da utilização dessa tecnologia, com cerca de 90% das habitações apresentando sistemas de aquecimento solar. Os incentivos mais comuns para estimular a utilização de aquecedores solares têm sido os subsídios diretos adotados por países como Alemanha e Áustria, e as reduções nas taxas de obtenção de crédito e incentivos adotados na França e na Itália. A regulamentação do mercado por meio de leis também mostrou-se útil para Israel, Espanha, Portugal e Grécia. Em alguns casos, foram adotados ainda linhas de crédito a juros baixos para permitir o acesso de famílias de baixa renda à nova tecnologia. Dessa forma, é possível concluir que o mercado solar térmico tem se beneficiado não apenas do aumento dos preços de energia, mas também de programas de incentivos governamentais e que o sucesso da adoção dessa tecnologia nesses países se deve à continuidade das políticas de incentivos (NIETERS; KNAACK; RODRIGUES, 2012).

O Brasil possui razoável rede de fabricantes e fornecedores de equipamentos solares. Os padrões de confiabilidade, durabilidade e desempenho desses produtos são garantidos pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e pelo Selo Procel Eletrobrás de Economia de Energia. Minas Gerais apresenta papel de destaque no mercado de aquecedores solares, concentrando grande parte das empresas com produtos etiquetados (PEREIRA; SOUZA; SILVA, 2012). Apesar disso, o uso da energia solar para aquecimento de água ainda

corresponde a percentual muito pequeno das residências, apresentando grande potencial para expansão (SOUZA; SALVADOR; LOMELINO, 2012). Assim, torna-se necessário discutir as medidas do governo brasileiro para estimular a utilização da energia solar, tanto através da geração de energia fotovoltaica, quanto aquecimento solar de água.

A partir da Resolução Normativa Aneel nº 482/2012 foi definido o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, criando a possibilidade de que os consumidores solicitem às concessionárias de distribuição de energia elétrica acesso para implementar sistemas de minigeração ou microgeração distribuída. Já a Resolução Normativa nº 687/2015, que entrou em vigor no dia 1º de março de 2016, veio para adaptar a resolução de 2012, ampliando os incentivos para que o consumidor gere uma quantidade de eletricidade superior à quantidade consumida no período. Nesse caso, o consumidor obtém um crédito que pode ser usado para reduzir a fatura dos meses seguintes. Na nova resolução, a validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, podendo ser usadas para reduzir as faturas do mesmo titular situadas em outro local, desde que atendidas pela mesma distribuidora, denominado “autoconsumo remoto”. Ademais, esta resolução cria a possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios com múltiplas unidades consumidoras, em que a energia gerada poderia ser repartida entre os condôminos de acordo com as porcentagens acordadas pelos consumidores.

Em relação ao aquecimento solar residencial, embora não existam programas governamentais específicos para estimular a adoção desta tecnologia, é possível citar as iniciativas indiretas de incentivo, como o PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica e o Minha Casa Minha Vida (MARTINS; ABREU; PEREIRA, 2012). Por ser tecnologia de custo muito inferior à geração de energia fotovoltaica, a ampliação da sua utilização mostra-se opção alternativa para o aproveitamento da energia solar, reduzindo o consumo de energia elétrica no setor residencial e, consequentemente, reduzindo a dependência de fontes poluidoras de energia. Além disso, estimula o desenvolvimento dos setores ligados à energia limpa.

Ademais, destaca-se a possibilidade de novos incentivos fiscais sejam adotados nos próximos anos, segundo propõem alguns Projetos de Lei do Senado (PLS). O PLS nº 168/2013, por exemplo, propõe que os sistemas de aquecimento de água e condicionamento de ar nas novas edificações de propriedade da União deverão prever o uso de fontes renováveis (no mínimo, 50% das necessidades energéticas). Para tanto, inclui também a possibilidade de utilizar energia produzida partir de geração distribuída. Enquanto isso, o PLS

nº 475/2013 propõe a redução de juros para o financiamento de sistemas de geração de energia solar e eólica, bem como isenção da cobrança do Imposto sobre Operações Financeira (IOF), Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e o Imposto Sobre Importações (II). Atualmente, este projeto encontra-se na Comissão de Assuntos Econômicos. De forma similar, o PSL nº 317/2013 propõe a isenção do Imposto sobre a Importação dos equipamentos e componentes de geração elétrica de fonte solar. Este projeto foi aprovado por Comissão e remetido à Câmara dos Deputados. Também visando garantir incentivos à autoprodução de energia elétrica de fontes renováveis, o PSL nº 48/2014, uma emenda à Lei 10.438/02, propõe autorizar a União a conceder crédito especial para investimentos em autoprodução de energia elétrica a partir da microgeração e minigeração distribuída que utilizem fontes renováveis, além de incluir um sistema CER. Destarte, observa-se, em todos estes projetos, similaridades com o que já vem sendo adotado em outros países como Japão, EUA e Alemanha.

No tocante a políticas em andamento, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) do Ministério de Minas e Energia (MME), implementado em 2015, busca estimular a geração de energia de fontes renováveis pelos consumidores, com atenção especial à energia solar fotovoltaica. Estima-se que o programa possa movimentar, até 2030, R\$ 100 bilhões em investimentos (MME, 2015).

Em termos regionais, um convênio do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), em 2015, autorizou os estados a isentarem o ICMS para os consumidores que produzissem energia e a enviassem à rede elétrica de abastecimento (BRASIL, 2015). Inicialmente, participavam do convênio os estados de Goiás, Pernambuco e São Paulo. Posteriormente, outros estados aderiram ao convênio: Rio Grande do Norte, Ceará, Tocantins, Bahia, Maranhão, Mato Grosso e o Distrito Federal. Nesse mesmo sentido, por iniciativa própria, desde 2013, Minas Gerais adota a isenção do ICMS da geração de energia solar residencial. Conforme art. 13 da Lei nº 20.824/2013 fica estabelecido que:

Art. 13

§ 32. Pelo prazo de cinco anos, contado da data de início da geração de energia, a base de cálculo do imposto, relativamente às operações do microgerador e do minigerador de energia elétrica participantes do sistema de compensação de energia elétrica, de que trata a Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel -, será reduzida, de forma que corresponda à diferença positiva entre a entrada de energia elétrica fornecida pela empresa distribuidora e a saída de energia elétrica com destino à empresa distribuidora.

Portanto, a energia solar, cada vez mais, se posiciona como uma opção viável em termos de sustentabilidade ambiental e diversificação da matriz energética para atender a demanda crescente de eletricidade. Segundo Martins, Abreu e Pereira (2012), a aplicação mais usual da energia solar térmica no país é o aquecimento de água residencial. Mas os sistemas solares fotovoltaicos interligados à rede elétrica também estão se configurando em uma possibilidade promissora para o futuro das edificações (MARINOSKI; SALAMONI; RUTHER, 2004). Dessa forma, o que chama a atenção são os efeitos sobre as famílias decorrentes da mudança na matriz elétrica introduzida pela utilização da energia solar. Cabe ressaltar que, se adotadas, as iniciativas governamentais contribuiriam para a viabilidade econômica da utilização de energia solar nas residências. Porém, esta dissertação procurou analisar as atuais condições para ampliação do uso de energia solar. Assim, não são considerados quaisquer políticas fiscais de estímulo ao aproveitamento de energias renováveis.

## **2.2. Equilíbrio Geral Computável para análise de políticas energéticas**

Nas duas últimas décadas surgiram vários estudos que procuraram analisar os impactos da promoção de Energia Renovável (ER) através de diversos mecanismos de incentivo e formas de financiamento. Morris, Reilly e Paltsev (2010) utilizaram um modelo de EGC global para investigar os efeitos combinados de um mecanismo de RPS com uma política *cap-and-trade* (CAT). Os resultados mostraram que, à medida que aumenta a exigência de RPS, o preço da tonelada de CO<sub>2</sub> (eq) se reduz e o custo da política, em termos de custo do bem estar, aumenta substancialmente. Devido à perda de bem estar, a combinação de RPS e CAT é mais custosa que apenas uma política de *cap-and-trade*, apesar de a primeira gerar redução do custo das energias renováveis no futuro, aumentando a viabilidade econômica das mesmas.

A análise dos impactos da promoção de ER na Europa é realizada por trabalhos como Böhringer e Löschel (2006), Küster, Ellersdorfer e Fahl (2007) e Boeters e Koornneef (2011), que compararam diferentes mecanismos e condições de financiamento para as políticas energéticas. Böhringer e Löschel (2006) concentraram-se na análise dos impactos econômicos e ambientais da promoção de RE em cenário de crescimento linear da produção de eletricidade por fontes renováveis, com aumento de 30% em 2020 em relação aos níveis de 2005, incentivado por subsídios financiados por imposto fixo (*lump-sum*). Os resultados

mostraram que o aumento da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis resultaria em redução das quotas de mercado de carvão e gás natural. Os subsídios gerariam redução do preço da eletricidade e, conseqüentemente, aumento da demanda. Assim, as perdas globais de bem-estar na Europa seriam modestas. Por outro lado, divergindo desse resultado, tem-se o trabalho de Boeters e Koornneef (2011), que estimaram os custos adicionais de uma meta de 20% para as energias renováveis como parte da política climática da UE até 2020, acoplando um módulo *bottom-up* para o setor elétrico. Os resultados encontrados indicaram que tal meta poderia aumentar consideravelmente os custos com o bem-estar. Porém, existe uma margem de incerteza considerável dependendo das hipóteses sobre a disponibilidade de energias renováveis de baixo custo.

Já Küster, Ellersdorfer e Fahl (2007) focaram nos impactos sobre o desemprego, estimando o impacto de um subsídio de 50% sobre o custo do capital para tecnologias de energias renováveis, considerando imperfeições no mercado de trabalho e desagregando o fator trabalho em qualificado e não-qualificado. Ademais, foram introduzidas especificações tecnológicas para as tecnologias de produção de eletricidade. Os resultados revelaram que a política de subsídio aumentaria a taxa de desemprego em todos os países que a adotassem, embora não conduzisse automaticamente a redução significativa das emissões de GEE. Além disso, se as reduções de emissões forem alcançadas, elas podem resultar de efeitos de crescimento negativos induzidos pela promoção de tecnologias de custos ineficientes.

Ainda sobre os impactos da promoção de ER, destacam-se análises feitas para alguns países europeus específicos. Kancs (2007) avaliou os impactos de políticas de incentivo à energias alternativas no setor de bioenergia na Polônia. A fim de melhor avaliar e comparar as políticas alternativas de energia renovável, foram construídos três cenários de desenvolvimento do setor das energias renováveis: um cenário de redução indireta da tributação no setor de bioenergia, um cenário de remoção de subsídios para os setores de energia fóssil e um cenário de aumento no preço do mercado mundial de bens energéticos. De acordo com os resultados, um imposto sobre energia fóssil seria mais eficiente do que um subsídio. Verificou-se também que um subsídio reduziria o custo médio de produção, e um imposto aumentaria o custo médio de produção.

Böhringer, Keller e Van Der Werf (2013) analisaram os impactos sobre o emprego e o bem-estar da promoção de energias renováveis na Alemanha. Foram simuladas quatro opções alternativas para o financiamento do subsídios para produção de energia a partir de fontes

renováveis, a saber, um imposto *lump-sum*, um imposto sobre o trabalho, um imposto sobre a eletricidade e substituição dos subsídios ao carvão. O subsídio foi expresso como uma porcentagem da Elasticidade Preço do consumidor, refletindo as tarifas *feed-in* pagas a diferentes tecnologias renováveis na Alemanha. Os resultados sugeriram que as perspectivas de ganho de emprego e de bem-estar são bastante limitadas e dependentes do nível de subsídio e do mecanismo de financiamento. Com o financiamento via imposto fixo, os subsídios reduziram os preços da eletricidade, o emprego no setor elétrico aumentaria de forma constante, mas o emprego nos outros setores só aumentaria se a taxa de subsídio for baixa ou média, diminuindo no caso de uma taxa excessivamente alta. Por outro lado, o imposto fixo provocaria redução no salário real e aumento do desemprego em relação ao cenário base. Se os subsídios fossem financiadas por impostos sobre o trabalho, os salários reais líquidos seriam reduzidos independentemente do nível de redução dos preços da eletricidade, ocorrendo, conseqüentemente, aumento do desemprego. Enquanto isso, a utilização de imposto sobre a eletricidade geraria pequenos benefícios para pequenas taxas de subsídio, mas estes benefícios rapidamente se transformariam em perdas significativas, uma vez que a taxa de subsídio excedesse certo valor limiar. Por fim, a eliminação dos subsídios ao carvão poderiam produzir efeitos positivos para o emprego e o bem-estar desde que a taxa de subsídios seja moderada. Segundo os autores, como a Alemanha apresenta tarifas *feed-in* generosas, um subsídio excessivo pode trazer riscos, estimulando a produção de energia renovável além do esperado, gerando desemprego.

De forma similar, Fortes e Seixas (2015) analisaram o impacto da expansão de um mecanismo de RES na economia de Portugal, considerando um imposto *lump-sum* e um imposto sobre o trabalho como instrumentos alternativos para financiamento de subsídios para alcançar as metas de utilização de Energia Renovável. Os resultados indicaram que, se a promoção de RE fosse financiada por tributação do trabalho, os impactos sobre PIB e bem estar poderiam ser positivos, porém em todos os cenários o emprego apresentou resultados negativos.

Cansino et al. (2013), estimaram os impactos econômicos do aumento da capacidade produtiva das usinas de biocombustíveis em Andaluzia (Espanha). Para tanto consideraram a meta de ampliar a capacidade instalada em conformidade com o *Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética* (PASENER) 2007-2013, assumindo que esse objetivo seria alcançado com as plantas de biodiesel existentes. Os resultados mostraram que a usina de biodiesel geraria aumento agregado no nível de atividade durante a vida útil da planta, com



notável geração de empregos. Ademais, os efeitos econômicos decorrentes da ampliação da capacidade instalada são notáveis em termos do aumento do nível de atividade dos setores econômicos considerados, particularmente no setor agrícola e aumento do emprego de tempo integral. Em continuação, Cansino et al. (2014) analisaram os impactos socioeconômicos do aumento da potência instalada de energia fotovoltaica conforme meta do PASENER. Os resultados indicaram aumento no nível de atividade econômica e criação de 215.148 postos de trabalho com duração de um ano, além de uma redução de até 527.573 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Destacam-se também estudos que analisaram os impactos do incentivo à ER sobre a economia dos EUA, tais como Rivers (2013), Rausch e Mowers (2014), Paul, Palmer e Woerman (2013). Rivers (2013) analisou o impacto de incentivo à energia renovável sobre a taxa de desemprego de equilíbrio para a economia dos EUA. Foram considerados dois tipos principais de políticas: um imposto sobre os combustíveis fósseis e um subsídio para a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis. Os resultados sugeriram que, em geral, a redução das emissões do setor elétrico por meio de políticas de apoio à eletricidade renovável aumentaria a taxa de desemprego de equilíbrio. Porém, os autores argumentam que tais efeitos seriam pouco significativos. Em particular, quando a elasticidade de substituição entre capital e trabalho é baixa, quando o capital não é móvel internacionalmente e quando a intensidade da mão-de-obra da geração renovável é alta em relação à geração convencional, as políticas de apoio à eletricidade renovável poderiam reduzir a taxa de desemprego de equilíbrio.

Paul, Palmer e Woerman (2013) analisaram os efeitos de uma política de Padrão de Energia Limpa (CES) sobre as emissões de CO<sub>2</sub> do setor elétrico dos EUA, sobre as tecnologias usadas para fornecer eletricidade, os preços de eletricidade e sobre os fluxos regionais de crédito de energia limpa. Os resultados mostraram que esta política reduzia as emissões, principalmente aquelas provenientes do carvão. Por outro lado, também provocariam aumentos modestos do preço de eletricidade. Porém, as diferenças regionais são significantes, principalmente quando se concede créditos a instalações nucleares e hidroelétricas. A energia nuclear e as usinas de gaseificação de carvão com sequestro de carbono seriam as abordagens preferidas, tendo em vista seus custos e desempenhos. Caso a utilização de ambas fossem limitados, a energia eólica seria a tecnologia eleita.

De forma similar, Rausch e Mowers (2014) analisaram a eficiência e as implicações distributivas de políticas de GEE no setor de energia elétrica dos EUA. Neste estudo foram

comparadas as regulamentações do tipo *Clean Energy Standards* (CES) e *Renewable Energy Standards* (RES). A diferença entre as duas é que a primeira concede créditos não apenas às fontes renováveis, mas também fontes não-emissoras não-renováveis, como a nuclear. Além disso, para avaliar o desempenho destas políticas, considerou-se uma política alternativa do tipo *cap-and-trade*, exclusivamente focada no setor elétrico, capaz de atingir o mesmo nível de redução das emissões que seria alcançado pelas regulamentações. Os resultados mostraram que o aumento dos preços provocados pelas políticas afetaria desproporcionalmente as famílias de baixa renda, pois estas consomem uma maior fração do seu orçamento em eletricidade. Ademais, observou-se impactos negativos sobre o bem-estar em todas as regiões. Já a política CAT permitiria que algumas regiões apresentassem ganhos de bem-estar através do recebimento de pagamentos de transferência devido à alocação das receitas de carbono que compensassem seus custos de redução. Por fim, observou-se que as políticas do tipo CES e RES implicam em elevados custos de eficiência. A CES é cerca de duas vezes mais dispendiosa do que uma política de preços de carbono baseada em mercado (CAT ou um imposto de carbono) capaz de reduzir em igual montante as emissões de GEE. A política RES seria quatro vezes mais dispendiosa, dado que se concentra em um conjunto menor de tecnologias.

Ainda sobre o impacto da promoção de energia renovável, Böhringer et al. (2012) avaliaram os impactos no mercado de trabalho de uma política tarifária *feed-in* em Ontario (Canadá). Os resultados indicaram que as tarifas de *feed-in* estimulariam a criação direta de empregos “verdes”, principalmente associados à fabricação e operação de usinas de eletricidade a partir de fontes de energia renováveis. Contudo, tais ganhos são mais do que compensados por perdas de emprego em outros sectores da economia, havendo impactos líquidos negativos sobre o emprego. Ademais, observou-se aumento do preço da eletricidade, resultando em queda na demanda total de eletricidade e diminuição de bem-estar. Portanto, os autores argumentam que, na ausência de benefícios positivos para o emprego, as políticas de redução de emissões baseadas no mercado provavelmente alcançariam metas ambientais com muito menos custo total para a economia. Deve-se ressaltar que os resultados encontrados por Morris, Reilly e Paltsev (2010) e Rausch e Mowers (2014) corroboram com essa hipótese.

Os resultados da política de redução de subsídio foram analisados por Acar e Yeldan (2016), cujo trabalho avaliou os impactos ambientais e fiscais da remoção dos subsídios à produção e ao investimento em carvão na Turquia. O modelo de EGC adotado foi composto por 12 setores produtivos divididos em duas regiões que representam alta renda e baixa renda.

Os resultados mostraram que a simples eliminação dos subsídios à produção reduziria 2,5% do total de CO<sub>2</sub> (eq) até 2030. Ao remover também os subsídios regionais de investimento, esta redução chegaria a 5,4%. A maior parte desses ganhos provém de reduções de emissões da combustão do carvão e às emissões relacionadas à energia do setor doméstico. Por outro lado, os autores consideram que os efeitos macroeconômicos da eliminação dos subsídios são pequenos (redução de 0,5% do crescimento do PIB em 2030), o que sugere que os efeitos de substituição na alocação do capital nos setores restantes são dominantes. Argumenta-se ainda que os subsídios ao carvão poderiam ser transferidos para o desenvolvimento de energias renováveis e empregos “verdes”.

Além de analisar mecanismos de incentivos à geração de energia renovável, outra abordagem utilizada nos modelos de EGC consiste em analisar os impactos da produção em larga escala de eletricidade a partir fontes renováveis, conforme realizado pelos trabalhos de Scaramucci et al. (2002), Arndt et al. (2009) e Dai et al. (2016). Scaramucci et al. (2002) estimaram os impactos do aproveitamento de biomassa para a produção de eletricidade na economia brasileira a partir da inclusão de um setor complementar de geração de eletricidade a partir do bagaço de cana-de-açúcar. A economia foi submetida a choques de oferta de eletricidade caracterizados por níveis de racionamento. Os resultados mostraram que com a introdução do setor de geração com bagaço, o nível de atividade econômica diminuiria menos de 1% com o racionamento de 20%. Destacou-se ainda que, preços maiores de eletricidade tornariam viável a geração com bagaço. Porém, após alcançar a capacidade máxima do setor eletro-sucroalcooleiro, incrementos na produção de eletricidade dependeriam da disponibilidade de bagaço, que está relacionada aos preços do açúcar e do álcool. Assim, frente à escassez elétrica, o bagaço poderia se tornar um produto mais relevante que o açúcar e o álcool. Em enfoque semelhante, Arndt et al. (2009) estimaram os impactos de investimentos em biocombustíveis em larga escala sobre crescimento econômico e a distribuição de renda para Moçambique. Os resultados mostraram que o investimento em biocombustíveis aumentaria o crescimento e reduzia a pobreza.

Por fim, Dai et al. (2016) avaliaram os impactos econômicos e ambientais do desenvolvimento de energia renovável em larga escala na China em 2050. Utilizaram um modelo dinâmico recursivo e multissetorial, que abrange oito tecnologias de produção de eletricidade, três tecnologias de queima de combustíveis fósseis (carvão, gás e petróleo) e cinco não fósseis (nuclear, hidroelétrica, eólica, solar fotovoltaica e biomassa). Construiu-se um cenário alternativo em que ocorre aumento da capacidade instalada de energia eólica,

solar, biomassa hidroelétrica e nuclear. Os resultados mostraram que o desenvolvimento da energia renovável em larga escala não incorreria em custo macroeconômico significativo (impactos negativos de menos de 0,3% e 1,6% no PIB e no bem estar, respectivamente). Pelo contrário, teria efeitos significativos de “crescimento verde”, estimulando indústrias de fabricação de dispositivos eletrônicos e Pesquisa e Desenvolvimento. Em 2050, os setores de energia não-fósseis se tornariam setores principais, com valor agregado comparável a outros setores importantes da economia chinesa. Além disso, o desenvolvimento de RE em larga escala estimularia a produção de outras indústrias relacionadas à energia renovável e criaria milhões de empregos.

Portanto, observa-se divergência entre os trabalhos que analisam os impactos de políticas energéticas, cujos cenários de utilização de fontes de energia renovável podem gerar tanto crescimento econômico quanto aumento do desemprego. Os resultados encontrados dependem da estrutura da economia analisada, dos diferentes tipos de incentivos governamentais e subsídios adotados, além das características ambientais e potencial energético da região. Assim, torna-se importante compreender os impactos e implicações do estímulo ao desenvolvimento de fontes de energia renovável no contexto nacional, levando em consideração também as especificidades regionais brasileiras.

Após esta breve revisão dos trabalhos de EGC que tratam da expansão da utilização de fontes renováveis de energia, é possível observar alguns pontos em comum entre eles. De forma geral, é possível dizer que as preocupações desses trabalhos se concentram nos efeitos dos mecanismos de financiamento de políticas energéticas, tais como subsídios ou tarifas *feed in*. Também dão enfoque especial à variação do nível de emprego devido à variação no nível de atividade dos setores energéticos, no sentido de redução da atividade dos setores poluentes e aumento do nível de atividade dos setores limpos. Assim, como as fontes alternativas apresentam custo relativamente maior, comparado às tradicionais, em geral, observa-se aumento nos preços e, conseqüentemente, queda no consumo das famílias. Portanto, políticas de incentivo a geração de energia limpa, como destacam Rausch e Mowers (2014), afetariam desproporcionalmente as famílias de baixa renda, pois a eletricidade corresponde a uma parcela maior de seu orçamento.

Porém, quando se trata da adoção de energia renovável, além de analisar os impactos da produção de larga escala, existe imenso potencial para a microgeração distribuída, em que as famílias produzem eletricidade para o próprio consumo. E a medida que essa geração de

energia se torna economicamente viável, não é necessário recorrer a mecanismos de incentivos por parte do governo. É na discussão dos impactos dessa forma de geração energia renovável que a presente dissertação buscou contribuir. Quando assume-se que a iniciativa da adoção de energia solar parte das famílias, abre-se um leque para discutir os impactos e possibilidades da ampliação de fontes alternativas de energia na matriz elétrica. É possível ainda desagrupar as famílias por classes de renda para analisar os resultados apresentados Rausch e Mowers (2014), destacados anteriormente. Assim, esta dissertação procurou dar ênfase nos impactos da adoção de energia para cada família, através de mudanças no padrão de consumo. Como nenhum desses trabalhos trata especificamente do que acontece com o consumo das famílias quando elas adotam energia solar, o presente trabalho buscou preencher esta lacuna, colocando o papel ativo das famílias, em oposição aos trabalhos existentes na literatura, que focam nos impactos dos subsídios e da produção em larga escala. Mantidas constantes as políticas fiscais e creditícias até então, a iniciativa de consumo da energia solar, através de painéis FV ou aquecedores solares, parte das famílias e, a partir desse ponto, são desencadeados os efeitos sobre a economia.

### **2.3.Potencial de aproveitamento da energia solar: viabilidade econômica**

Apesar da já justificada importância em conhecer os impactos econômicos e distributivos da mudança na matriz elétrica que a adoção da energia solar provocaria, um ponto fundamental é conhecer a viabilidade técnica e econômica das tecnologias existentes. Segundo Martins, Abreu e Pereira (2012), a aplicação em larga escala da energia solar é viável tanto para o aquecimento de água quanto para a geração de energia elétrica no Brasil.

A discussão de cenários de energia para aplicações fotovoltaicas no Brasil abrange desde os aspectos técnicos de potencial de radiação solar até os aspectos financeiros de custo do investimento em tecnologia fotovoltaica. Aplicações com este fim estão presentes em trabalhos como Jardim et al. (2008), que compararam a implantação de tecnologias fotovoltaicas para diferentes disponibilidades de área de telhado e perfis de geração de energia solar em áreas urbanas, enfatizando as vantagens da utilização dos geradores fotovoltaicos nestes ambientes.

Tendo em vista o aumento contínuo da demanda de energia residencial, Ordenes et al. (2007) analisaram o potencial de tecnologias *Building-integrated Photovoltaic* (BIPV) em

diferentes capitais do Brasil (Natal, Brasília e Florianópolis). Considerou-se a geração de energia fotovoltaica de um típico edifício residencial de baixo custo para famílias de classe média utilizando diferentes tipos de módulos solares. Novamente, os resultados realçam o elevado potencial de geração de eletricidade, em que a geração FV anual mostrou-se superior à demanda total de energia do edifício. Além disso, os autores mostraram que as fachadas verticais podem gerar uma quantidade considerável de energia, mesmo nos locais de baixa latitude.

Martins et al. (2008) analisaram a viabilidade da geração de eletricidade em dois mercados distintos, o de instalações híbridas fotovoltaica-diesel em mini-redes isoladas (*off-grid*) na região amazônica e instalações fotovoltaicas conectadas à rede (*grid connected*) em áreas urbanas. Utilizando mapas de recursos de energia solar, produzidos por um modelo de transferência radioativa, os autores destacam o elevado potencial de uso da energia fotovoltaica. Ruther e Zilles (2011) mostraram que, com os custos declinantes dos painéis FV e o aumento dos preços de energia elétrica convencional, a geração fotovoltaica ligada a rede pode se tornar economicamente atrativa para as populações urbanas ainda nesta década. Reforçando este argumento, Mitscher e Ruther (2012) evidenciaram o potencial de geração distribuída com instalações fotovoltaicas. Para tanto, analisaram a competitividade econômica da geração fotovoltaica de pequena escala conectada à rede para cinco capitais brasileiras (Florianópolis, Brasília, Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte), em três cenários de taxas de juros que representam diferentes condições para aquisição de capital. Os autores concluíram que, sob certas condições, a geração FV conectada à rede pode ser economicamente competitiva em um país em desenvolvimento como o Brasil.

Ademais, como destacam Silveira, Tuna e Lamas (2013), a crescente demanda por energia elétrica força países, como o Brasil, a buscarem novas alternativas de geração de energia. Assim, os autores advogam a favor de subsídios para implementação de energia solar com o objetivo de diversificar a matriz elétrica brasileira, descentralizando a geração de eletricidade. Para Holdermann, Kissel e Beigel (2014), é fundamental que existam incentivos por parte do governo. Os autores analisaram a viabilidade econômica da geração de fotovoltaica pequena escala, ligada à rede, após a introdução do regulamento de medição de líquidos de 2012. Para tanto, utilizam fluxo de caixa descontado para calcular os custos de investimento específicos em sistemas fotovoltaicos para abastecer dois consumos representativos, sendo 4,8 MW h/ano para o setor residencial brasileiro de 48 MW h/ano para o setor comercial. Porém, a geração FV não se mostrou economicamente viável dadas as

tarifas de energia consideradas. Assim sendo, os autores defendem a necessidade de melhorar estes cenários reduzindo os custos do sistema FV ou a taxa de desconto para financiar este tipo de investimento para que o tamanho do mercado fotovoltaico brasileiro cresça substancialmente no futuro próximo. Por outro lado, segundo Sandén (2005), o estímulo ao desenvolvimento da indústria de FV cria um círculo virtuoso, uma vez que a produção em larga escala reduziria os custos dos equipamentos e estimularia pesquisas para desenvolver tecnologias mais baratas.

Como o custo do sistema fotovoltaico não seria acessível para todas as famílias, tornou-se interessante analisar outras possibilidades de aproveitamento da energia solar. A partir desse ponto surgiu a opção da adoção do aquecedor solar. O aquecimento de água para banho corresponde a parcela significativa do gasto com eletricidade nas famílias. Como destacam Martins, Abreu e Pereira (2012), como a utilização do chuveiro para aquecimento de água é a principal responsável pela pico da demanda de energia elétrica nas primeiras horas da noite. Assim, a substituição de chuveiro elétrico por aquecedores solares é eficaz para melhorar o uso racional da energia elétrica no Brasil e reduzir a demanda de energia nas horas de pico.

Atualmente, o mercado brasileiro de sistemas de aquecimento solar é concentrado em camadas de alta renda, devido ao elevado investimento inicial dos mesmos em comparação ao chuveiro elétrico (MARTINS; ABREU; PEREIRA, 2012). Porém, o desenvolvimento de tecnologias de Aquecedores Solares de Baixo Custo – ASBC, pode fazer com que se tornem amplamente utilizados nas camadas de baixa renda (WOELZ, 2002; MOGAWER; SOUZA, 2004; VARELLA, 2004; COSTA, 2007; RISPOLI, 2008; SIQUEIRA, 2009; PENNEREIRO, MELO; CORADI, 2010; ALTOÉ; OLIVEIRA FILHO; CARLO, 2012; MILHOMEM et al., 2015; MOURA; OLIVEIRA, 2015; PEREIRA; SANTOS, 2016).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Modelo

Um aumento da utilização de energia solar pode alterar a estrutura geral de preços da economia e gerar redistribuição de renda, modificando a estrutura de produção e consumo no setor elétrico. Para compreender esses efeitos, o presente trabalho utiliza um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC), que busca analisar os impactos socioeconômicos provenientes da adoção de aquecedores solares e painéis fotovoltaicos pelas famílias.

Na abordagem aplicada de equilíbrio geral, a economia é vista como um sistema de mercados interligados no qual um conjunto de equações descreve o comportamento dos agentes econômicos (famílias, empresas, governo e demais instituições da economia) e onde o equilíbrio entre todas as relações é obtido simultaneamente. Os modelos de EGC são, desse modo, capazes de considerar, de forma interligada, os efeitos de choques sobre preços, quantidades e sobre a estrutura da economia como um todo.

De forma geral, estes modelos determinam, endogenamente, através de programas microeconômicos de otimização, os preços relativos e as quantidades produzidas. São considerados modelos aplicados, pois geram respostas numéricas para o problema de equilíbrio geral fornecendo resultados detalhados e abrangentes sobre os efeitos de políticas analisadas. Tais modelos são vistos como uma moderna extensão dos modelos tradicionais de contabilidade social que permitem considerar variações nos preços relativos e substituição de fatores de produção, além de possuir riqueza de detalhes em decorrência do seu caráter multissetorial. Há possibilidades, portanto, para análises globais e análises desagregadas (FOCHEZATTO, 2003).

O presente trabalho utiliza o modelo IMAGEM-MG, *Integrated Multirregional Applied General Equilibrium Model for Minas Gerais*, um modelo regional para Minas Gerais, desenvolvido a partir do IMAGEM-B, *Integrated Multirregional Applied General Equilibrium Model for Brazil*. O IMAGEM-B foi desenvolvido pelo Cedeplar para tratar de temas regionais e de questões relacionadas ao comércio e à infraestrutura, entre outros. Este modelo segue a estrutura teórica do modelo TERM - *The Enormous Regional Model*.

Assim, o IMAGEM-MG mostra-se uma ferramenta bastante interessante para a presente aplicação. Suas equações estruturais podem ser vistas em riqueza de detalhes em Magalhães



(2009) e Faria (2009) (ANEXO 2). Além disso, este modelo possui um amplo conjunto de parâmetros, que são detalhados em Domingues et al. (2007). Os aspectos metodológicos do modelo, apresentados a seguir, foram embasados em Horridge (2006).

O IMAGEM-MG é um modelo do tipo Johansen, cuja estrutura matemática é representada por um conjunto equações linearizadas e as soluções são obtidas na forma de taxas de crescimento. O modelo apresenta especificação *bottom-up* para os estados, o que significa que os resultados nacionais são agregações dos valores obtidos para o nível regional. Para esta dissertação o modelo foi calibrado para o ano base de 2013, partindo das informações das Tabelas de Recursos e Usos do IBGE e de dados das Contas Regionais. Outra modificação desenvolvida para esta dissertação foi a especificação de 10 famílias representativas, para analisar, por faixa de rendimentos, a viabilidade e os impactos da adoção de tecnologias de energia solar nas residências mineiras.

O banco de dados central do modelo apresenta dois conjuntos de matrizes representativas, uma do uso de produtos em cada região e outra dos fluxos de comércio. A primeira matriz representa as relações de uso dos produtos para 40 usuários em cada região, com dados agregados para 36 setores e quatro demandantes finais: famílias, investimento, exportações e governo. A segunda matriz contém o fluxo de comércio entre os estados de origem doméstica e importada para os 36 produtos do modelo (QUADRO 1). Para o presente trabalho serão consideradas duas regiões: Minas Gerais e Resto do Brasil, numa agregação que permitirá compreender melhor os impactos socioeconômicos da utilização da energia solar na economia mineira.

**Quadro 1 - Descrição dos setores do Modelo IMAGEM-MG**

<b>Nº</b>	<b>Setor</b>	<b>Descrição</b>
1	Agricultura	Agricultura
2	Pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	Pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura
3	Indústrias extrativas	Indústrias extrativas
4	Fabricação de produtos alimentícios	Fabricação de produtos alimentícios
5	Bebida e fumo	Bebida e fumo
6	Fabricação de produtos têxteis	Fabricação de produtos têxteis
7	Couros, artigos para viagem e calçados	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados
8	Fabricação de produtos de madeira	Fabricação de produtos de madeira
9	Fabricação de celulose	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel; impressão e reprodução de gravações
10	Fabricação de coque, Petróleo e de biocombustíveis	Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis
11	Fabricação de produtos químicos e farmacêuticos	Fabricação de produtos químicos, farmoquímicos e farmacêuticos
12	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico
13	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos
14	Metalurgia	Metalurgia, fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos.
15	Fabricação de máquinas e equipamentos	Fabricação de máquinas e equipamentos: fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, aparelhos e materiais elétricos
16	Fabricação de veículos automotores	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias; fabricação de outros equipamentos de transporte
17	Fabricação de móveis	Fabricação de móveis; fabricação de produtos diversos
18	Manutenção de máquinas e equipamentos	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos
19	Eletricidade, gás e outras utilidades	Eletricidade, gás e outras utilidades
20	Captação, tratamento e distribuição de água	Captação, tratamento e distribuição de água
21	Construção de edifícios	Construção de edifícios
22	Comércio e reparação de veículos automotores	Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas
23	Comércio atacado e varejista	Comércio atacado e varejista
24	Transportes	Transportes
25	Correio e outras atividades de entrega	Correio e outras atividades de entrega
26	Alojamento	Alojamento
27	Alimentação	Alimentação
28	Informação e comunicação	Informação e comunicação
29	Atividades financeiras e seguros	Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados
30	Atividades imobiliárias	Atividades imobiliárias
31	Atividades profissionais, científicas e técnicas.	Atividades profissionais, científicas e técnicas.
32	Atividades administrativas	Atividades administrativas e serviços complementares.
33	Administração pública	Administração pública, defesa e seguridade social
34	Educação	Educação
35	Saúde	Saúde humana e serviços sociais
36	Artes, cultura, esporte e recreação	Artes, cultura, esporte e recreação; outras atividades de serviços; serviços domésticos

Fonte: Elaboração própria com base no banco de dados do modelo IMAGEM-MG

As equações da demanda das famílias derivam de um problema de maximização de utilidade, que segue duas etapas hierarquizadas. No primeiro nível ocorre a substituição CES entre bens domésticos e importados e no segundo nível ocorre uma agregação Klein-Rubin dos bens compostos (FIGURA 1). Dessa forma, a utilidade derivada do consumo é maximizada segundo essa função de utilidade. Assim, tem-se um Sistema Linear de Gastos (LES), em que a participação do gasto acima do nível de subsistência representa uma proporção constante do gasto total de subsistência de cada família para cada bem. Cada composto é definido por uma forma funcional Elasticidade de Substituição Constante (CES), permitindo a substituição imperfeita entre os bens domésticos e importados. As equações estilizadas para a demanda de cada família representativa por *commodities* são apresentadas a seguir. A Equação (1) relaciona a demanda das famílias por cada bem,  $X_C^c$ , com o orçamento da família ( $C$ ), o vetor de preço de compra das  $c$  commodities ( $P^c$ ) e as preferências das famílias ( $A^c$ ).

$$X_C^c = \Psi_c(C; P^c; A^c) \quad (1)$$

Na Equação (2) o preço dos  $c$  bens demandados pelas famílias é determinado a partir de uma função linearmente homogênea de  $P^{sc}$ , que é o preço de cada bem,  $c$ , de origem doméstica ou importada ( $s = D$  e  $M$ ).

$$P^c = \Psi_{P^{sc}}(P^{sc}) \quad (2)$$

Assim, as demandas por bens domésticos e importados podem ser expressas como funções da Equação (1) e dos preços de ambas as origens ( $P^{sc}$ ) para as famílias conforme Equação (3).

$$X^{sc} = X_C^c \Psi_{sc}(P^{sc}) \quad (3)$$

Na Equação (4),  $X_{SUB}^c$  representa as demandas das famílias por bens de subsistência, as quais são proporcionais ao número de famílias ( $Q_H$ ) e às mudanças de preferência na demanda por bens de subsistência ( $A_{SUB}^c$ ).

$$X_{SUB}^c = Q_H A_{SUB}^c \quad (4)$$

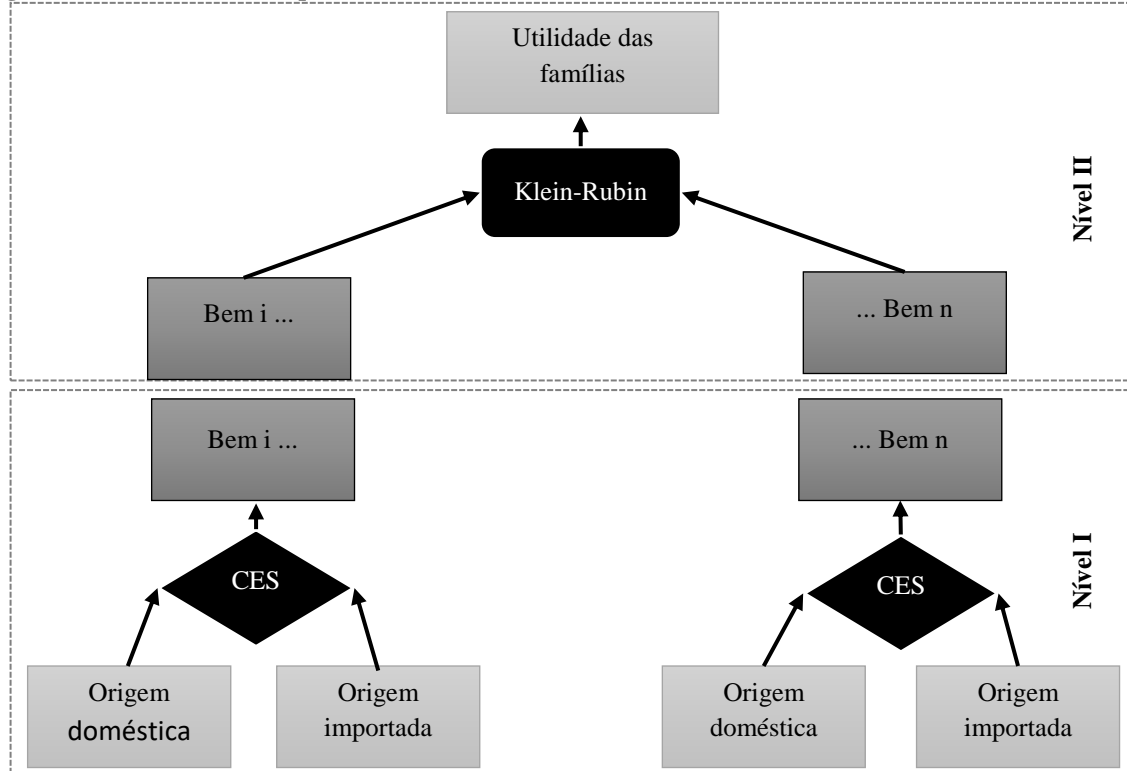
Nas Equações (5) e (6)  $X_{LUX}^c$  representa a demanda por bens de luxo.

$$X_{LUX}^c = \Psi_{Blux}(X_C^c) - [1 - \Psi_{Blux}(X_{SUB}^c)] \quad (5)$$

$$X_{LUX}^c = \sum_{s=1}^{Ns} P^{sc} - \sum_{c=1}^{Nc} \sum_{s=1}^{Ns} P^{sc} \quad (6)$$

Logo,  $X_{LUX}^c$  corresponde à alocação restante do orçamento familiar ( $X_C^c$ ), descontado da parcela dos bens de subsistência ( $X_{SUB}^c$ ).

**Figura 1 - Estrutura hierárquica da demanda das famílias**

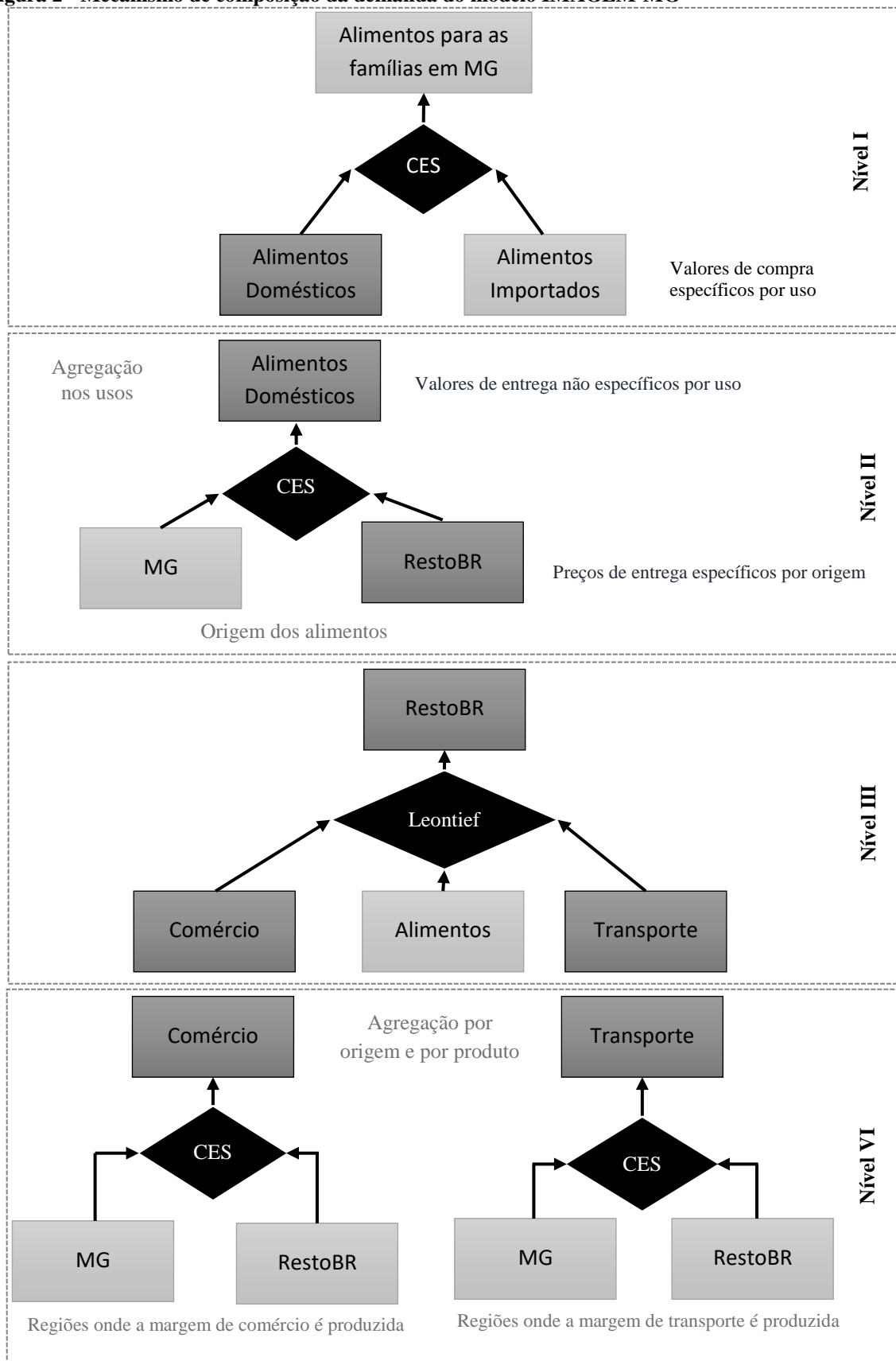


Fonte: Adaptado de Horridge, Madden e Wittwer (2005)

O mecanismo de composição por origem das demandas regionais é dividido em quatro níveis (FIGURA 2). No primeiro nível ocorre a substituição entre bens domésticos e importados através de uma função de elasticidade constante (CES), cujo parâmetro de substituição é geralmente específico para cada bem e comum por uso e por região de uso. Assim, as demandas por bens domésticos em cada região são agregadas para todos os usos para determinar o valor total. Ressalta-se, ainda, que a matriz de uso é valorada em preços de “entrega”, que abrangem os valores básicos e de margem, mas não inclui os impostos por uso específico. O segundo nível trata da substituição entre bens das duas regiões, ou seja, é a origem do composto doméstico. Também é adotada uma especificação CES, com isso, a queda no custo relativo de produção de uma região aumenta seu *market-share* na região de destino o produto. O mecanismo de substituição é baseado em preços de entrega. Destaca-se que neste nível a decisão é feita com base em todos os usos, assim, pode-se dizer que a

proporção de alimentos provenientes do Resto do Brasil é a mesma no uso das famílias e nos demais usos, como para insumos intermediários dos setores. O terceiro nível determina a composição de valores básicos e margens de comércio e transporte de cada origem para cada destino. Para tanto, a participação de cada um desses componentes no preço de entrega é determinado por uma função de proporções fixas, do tipo Leontief. Assim, não há possibilidade de substituição entre as margens de comércio e transporte. A participação de cada margem no preço de entrega é uma combinação de origem, destino, bem e fonte. O último nível, a agregação por origem e por produto, mostra como as margens de um produto de uma região para outra podem ser produzidas na outra região.

**Figura 2 - Mecanismo de composição da demanda do modelo IMAGEM-MG**

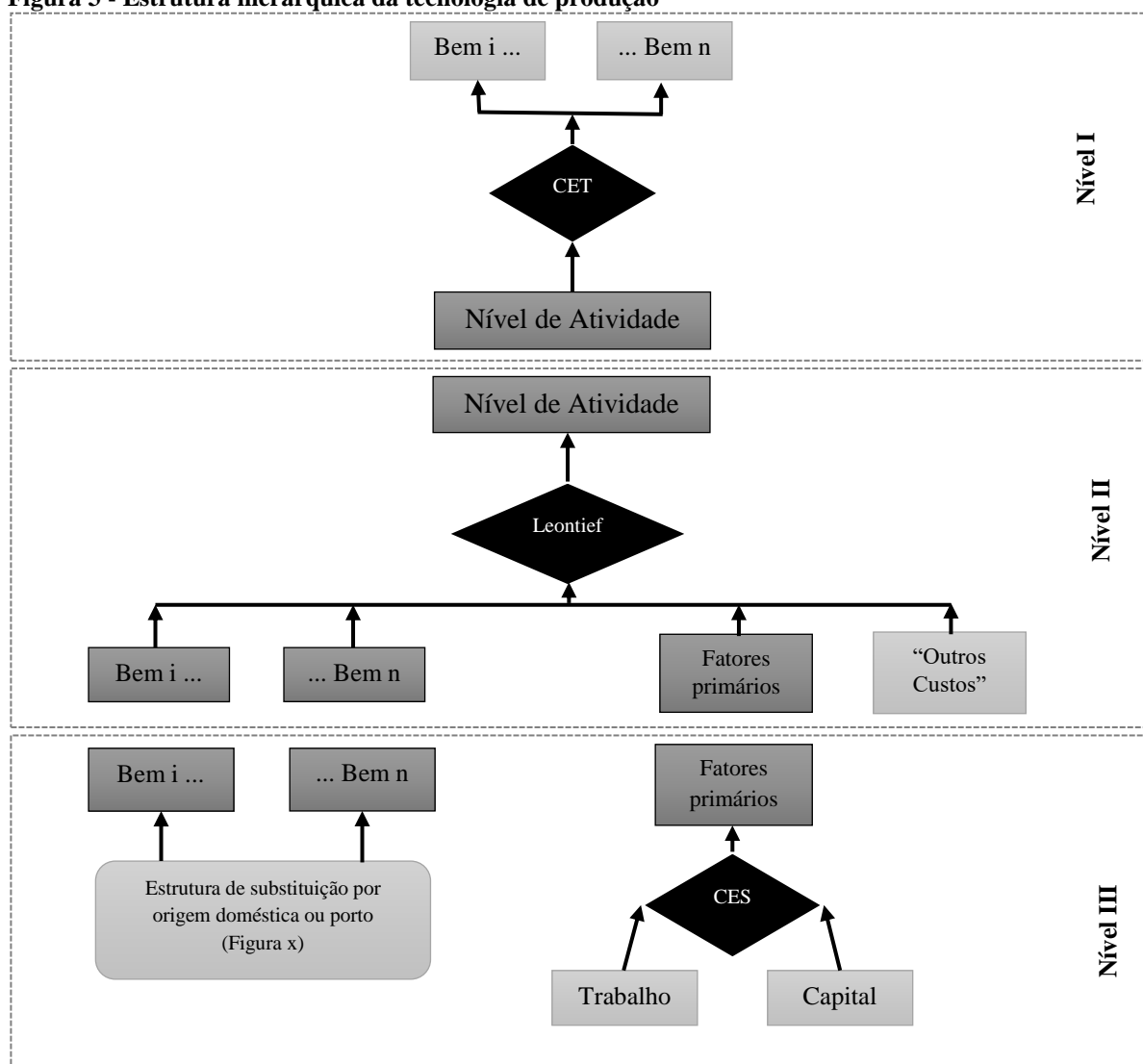


Fonte: Adaptado de Horridge, Madden e Wittwer (2005)

Ressalta-se que a Figura 2 representa o sistema de composição por origem da demanda das famílias de Minas Gerais no setor de alimentação. A mesma composição se aplica para os outros bens e usos do modelo, sejam setores ou usuários finais.

A tecnologia de produção setorial (FIGURA 3) é segmentada em três níveis de otimização, em que cada setor regional pode produzir mais de um produto, empregando insumos de origem doméstica e importada, e os fatores de produção trabalho, capital e terra, em que o fator terra é fixo. Assim, a função de produção genérica de um setor apresenta dois blocos, sendo um para composição da produção setorial e outro para a utilização dos insumos, que são conectados pelo nível de atividade setorial. No primeiro nível de otimização, são adotados dois blocos de agregação por elasticidade de transformação constante (CET), para a composição da produção do setor em seus produtos e diferenciação destes produtos entre destinação local ou exportação. No segundo nível é adotada uma especificação de Leontief em que os insumos intermediários e fatores primários são combinados em proporções fixas. No terceiro e último nível é adotada uma especificação CES para combinação entre os insumos domésticos e importados e entre fatores primários (capital e trabalho).

**Figura 3 - Estrutura hierárquica da tecnologia de produção**



Fonte: Adaptado de Horridge, Madden e Wittwer (2005)

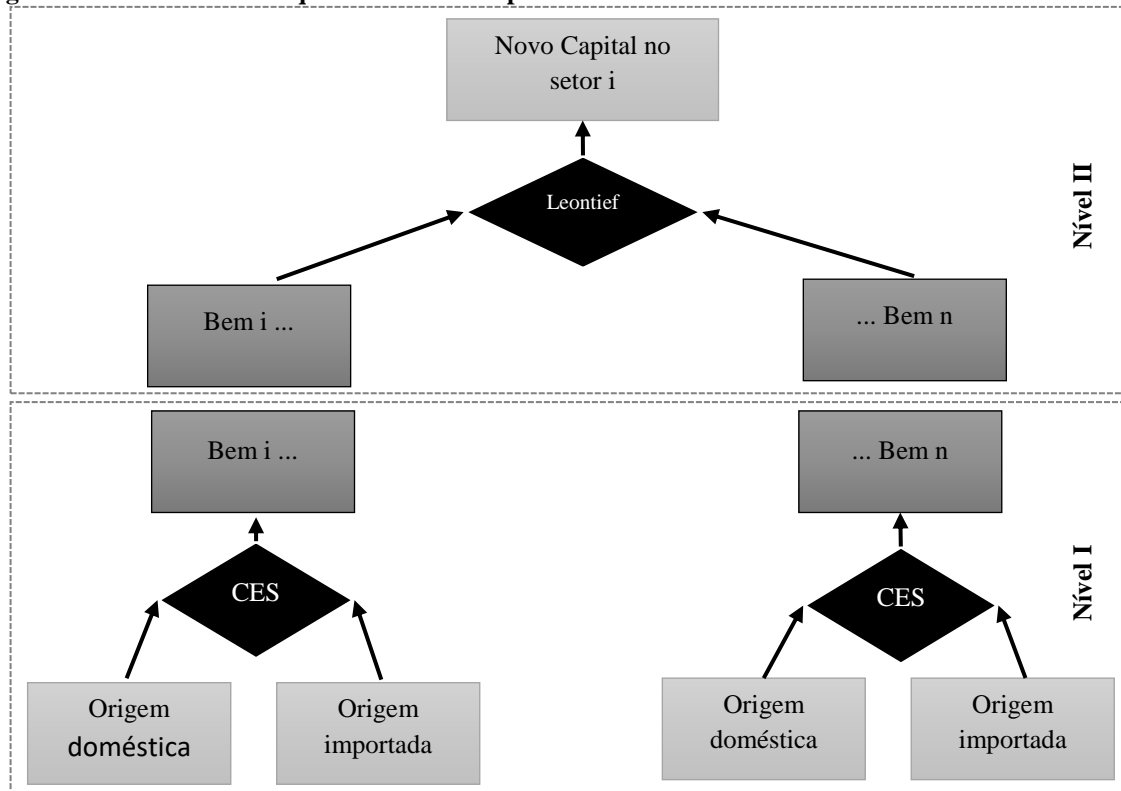
Ademais, observa-se que a utilização da especificação CES na tecnologia de produção implica a adoção da hipótese de Armington (1969) na diferenciação de produtos. Dessa forma, os bens de origem doméstica e importada são substitutos imperfeitos entre si. Se o parâmetro de elasticidade de substituição assume o valor 1, as demandas se comportam como uma função Cobb-Douglas hierarquizada, em que mudanças nos preços relativos não alteram a participação nos gastos. Se o parâmetro assume o valor zero, as demandas se comportam como uma função Leontief, em que as proporções das quantidades são constantes independentemente do preço.

A composição da demanda por investimentos é dividida em dois níveis. Essa categoria da demanda final é responsável pela formação bruta de capital fixo. A escolha entre os insumos utilizados no processo de criação de capital se dá através de um processo de



minimização de custos sujeito à estrutura de tecnologia hierarquizada (FIGURA 4). No primeiro nível ocorre a combinação entre bens de origem doméstica e importada por meio de uma função CES. No segundo nível, o nível de produção do capital do setor é definido por um conjunto dos insumos intermediários compostos agregados a partir de uma função tipo Leontief.

**Figura 4 - Estrutura hierárquica da demanda por investimento**



Fonte: Adaptado de Horridge, Madden e Wittwer (2005)

Em dinâmica recursiva tem-se que o investimento e o estoque de capital seguem mecanismos de acumulação e de deslocamento inter-setorial a partir de regras pré-estabelecidas, associadas a taxas de depreciação e retorno. Para cada ano da simulação, assume-se que a disposição dos indivíduos em investir, em relação aos aumentos na taxa de retorno esperada, determina as taxas de crescimento do capital em cada indústria e, conseqüentemente, o nível de investimento (DIXON; RIMMER, 1998). Dessa forma, a taxa de crescimento do capital no ano  $t$  será maior que sua taxa normal (taxa de crescimento do capital no estado estacionário) quando a taxa de retorno esperada pelos investidores for superior a taxa de retorno normal, pois o crescimento do capital em uma indústria específica no ano  $t$  é limitado pelas percepções de risco do investidor.

As funções de demanda por exportações representam a saída de bens compostos que deixam o país por uma determinada região através de um porto. A resposta da demanda externa a alterações no preço *free on board* (F.O.B.) das exportações é representada por um vetor de elasticidades, que é o mesmo para todas as regiões de origem, mas se diferencia por produto. Já a demanda do governo regional, que não é modelada explicitamente, pode seguir a renda regional ou um cenário exógeno. Ela representa a soma das demandas das esferas de governo federal, estadual e municipal.

O IMAGEM-MG não possui uma teoria para a oferta de trabalho. Assim, existem duas opções de operacionalização do modelo. A primeira é a configuração padrão de curto prazo, em que o salário real (ou nominal) fixo e o emprego determinado pelo lado da demanda no mercado de trabalho. Na segunda configuração, de longo-prazo, o emprego exógeno (fixo ou com variações determinadas por características demográficas históricas) com salários se ajustando endogenamente para equilibrar o mercado de trabalho regional. Assim, há mobilidade intersetorial e regional de trabalho.

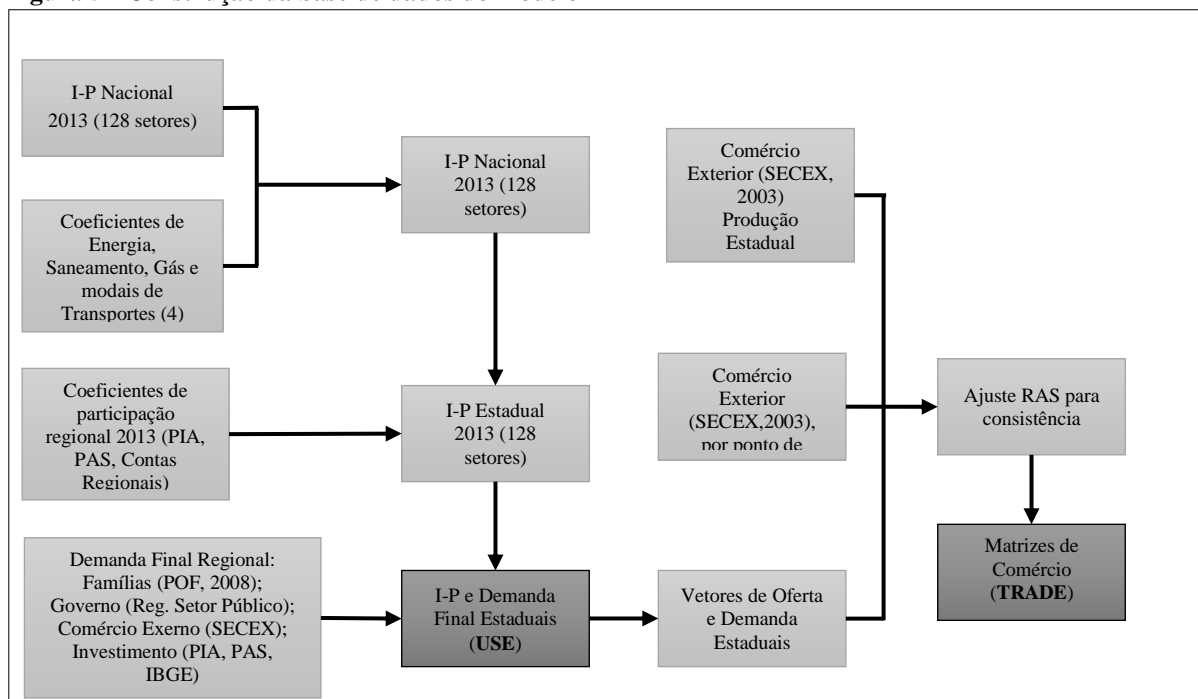
Ressalta-se que o IMAGEM-MG opera com equações de equilíbrio de mercado para todos os bens consumidos localmente (domésticos e importados) e equilíbrio no mercado de fatores (capital e trabalho) em cada região. Os preços de compra para cada um dos grupos de uso (produtores, investidores, famílias, exportadores, e governo) são compostos pela soma dos valores básicos, acrescidos de impostos (diretos e indiretos) sobre vendas e das margens. Os impostos sobre vendas são tratados como taxas *ad-valorem* sobre os fluxos básicos. As demandas por margens (transporte e de comércio) são proporcionais aos fluxos de bens aos quais as margens estão conectadas.

### **3.2.Base de Dados e Parâmetros**

O banco de dados central do modelo (FIGURA A1, ANEXO 2) é composto por dois conjuntos de matrizes representativas: uso dos produtos em cada estado e fluxos de comércio. O primeiro conjunto, relativo ao uso dos produtos, em valores de entrega (inclui valores de margem de comércio e transporte), é representado pela matriz USE. Esta matriz apresenta as relações de uso de cada produto, c, de origem doméstica ou importada, para 40 usuários nas duas regiões (Minas Gerais e Resto do Brasil) e 4 demandantes finais (famílias, investimento, exportações, governo). O segundo conjunto, relativo aos fluxos de comércio, é representado

por TRADE, mostra o valor do comércio inter-regional para os 36 bens de origem doméstica ou importada. As informações primárias utilizadas na construção deste banco de dados do modelo estão esquematicamente representadas na Figura 5.

**Figura 5 - Construção da base de dados do modelo**



Fonte: Adaptado de Magalhães (2009)

A geração do banco de dados do modelo e o teste de consistência foram implementados no GEMPACK seguindo os procedimentos propostos por Horridge (2005). A evolução dos dados neste modelo em relação ao modelo base IMAGEM-B se deu no sentido de atualizar as bases de dados para pesquisas mais recentes (Matriz de Insumo-Produto, 2013; POF, 2008; SECEX, 2003), além de desagregar 10 famílias representativas de acordo com categorias de renda.

O vetor nacional do consumo das famílias foi regionalizado a partir dos dados da Pesquisa de Orçamento Familiar - POF (2008) e da renda *per-capita*, medida em salários mínimos, obtida da Relação Anual de Informações Sociais - RAIS (2013). Para tanto, o primeiro passo consistiu na classificação das despesas da POF de acordo com a matriz do IBGE e, em seguida, calculou-se grupos de despesas a partir dos seus componentes através de uma agregação das despesas presentes na POF. Para garantir que a amostra obtida nesse procedimento fosse representativa da população brasileira, utilizou-se o fator de expansão, ou seja, os valores foram expandidos pelo peso amostral. Dessa forma, a estrutura do consumo das famílias segue a estrutura da POF estadual e a participação no consumo estadual no

consumo municipal depende da distribuição de renda. No modelo, há um conjunto de 10 famílias representativas em cada região, agrupadas por classe de renda seguindo a tipologia da Tabela 1. Assim, obteve-se a participação (*share*) de cada um dos 36 produtos do modelo no consumo de cada grupo de famílias (TABELA 2), essa informação será fundamental para compreender a variação do nível de atividade e no consumo setorial decorrente da ampliação do uso de energia solar. Porém, como o setor 18 (Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos) não apresentou consumo na POF, não foi possível obter diretamente o coeficiente de participação deste setor. Por isso utilizou-se o mesmo *share* de um setor próximo, o setor 15 (Fabricação de máquinas e equipamentos).

**Tabela 1 - Definição dos grupos de famílias por salário mínimo**

<b>Grupo</b>	<b>Salários Mínimos <i>per capita</i></b>
<b>HOU01</b>	menor que 0,5
<b>HOU02</b>	entre 0,5 e 1
<b>HOU03</b>	entre 1 e 2
<b>HOU04</b>	entre 2 e 3
<b>HOU05</b>	entre 3 e 5
<b>HOU06</b>	entre 5 e 10
<b>HOU07</b>	entre 10 e 20
<b>HOU08</b>	entre 20 e 40
<b>HOU09</b>	entre 40 e 80
<b>HOU10</b>	acima de 80

Fonte: Elaboração própria com base no banco de dados do modelo IMAGEM-MG

**Tabela 2 - Vetor de Consumo das Famílias de Minas Gerais**

Nº	Setor	HOU01	HOU02	HOU03	HOU04	HOU05	HOU06	HOU07	HOU08	HOU09	HOU10
1	Agricultura	0,0849	0,2029	0,2978	0,1358	0,1153	0,0962	0,0416	0,0151	0,0084	0,002
2	Pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	0,0968	0,2345	0,3362	0,1387	0,0846	0,0772	0,0172	0,0118	0,0013	0,0017
3	Indústrias extrativas	0,0000	0,0000	0,7399	0,0000	0,2601	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	Fabricação de produtos alimentícios	0,085	0,194	0,3252	0,1438	0,11	0,0884	0,0329	0,0153	0,0033	0,0021
5	Bebida e fumo	0,0508	0,1704	0,3111	0,1743	0,1461	0,1001	0,0306	0,0114	0,0038	0,0013
6	Fabricação de produtos têxteis	0,0478	0,144	0,2677	0,1439	0,1347	0,1423	0,0582	0,0568	0,0035	0,0011
7	Couros, artigos para viagem e calçados	0,0473	0,1575	0,2987	0,1526	0,1383	0,1179	0,0624	0,0205	0,0022	0,0025
8	Fabricação de produtos de madeira	0,0206	0,0671	0,5387	0,0544	0,1801	0,0949	0,0442	0,0000	0,0000	0,0000
9	Fabricação de celulose	0,1004	0,1924	0,3194	0,1349	0,0899	0,0978	0,0418	0,0171	0,0058	0,0006
10	Fabricação de coque, Petróleo e de biocombustíveis	0,0304	0,1185	0,2557	0,1587	0,1568	0,1489	0,0935	0,0285	0,0059	0,0032
11	Fabricação de produtos químicos e farmacêuticos	0,0581	0,1724	0,3147	0,1586	0,1149	0,1108	0,0418	0,022	0,0025	0,0042
12	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,013	0,0731	0,2647	0,1619	0,1706	0,1865	0,0761	0,0496	0,0037	0,0008
13	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,0218	0,0759	0,1585	0,1035	0,1262	0,2927	0,0438	0,1382	0,0392	0,0003
14	Metalurgia	0,0781	0,1462	0,3187	0,1412	0,1054	0,129	0,0328	0,0398	0,0086	0,0002
15	Fabricação de máquinas e equipamentos	0,057	0,1524	0,2957	0,1491	0,1338	0,1082	0,0549	0,0358	0,0081	0,0049
16	Fabricação de veículos automotores	0,0152	0,064	0,1779	0,1509	0,1965	0,2391	0,088	0,0341	0,0011	0,0332
17	Fabricação de móveis	0,044	0,1237	0,2763	0,1452	0,1288	0,1427	0,0716	0,0509	0,0156	0,0011
18	Manutenção de máquinas e equipamentos	0,057	0,1524	0,2957	0,1491	0,1338	0,1082	0,0549	0,0358	0,0081	0,0049
19	Eletricidade, gás e outras utilidades	0,0658	0,1834	0,3009	0,1563	0,1206	0,104	0,0447	0,019	0,0032	0,0021
20	Captação, tratamento e distribuição de água	0,0718	0,1985	0,3276	0,1524	0,1222	0,0762	0,0276	0,0181	0,0004	0,0052
21	Construção de edifícios	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22	Comércio e reparação de veículos automotores	0,0288	0,0896	0,2472	0,1542	0,1427	0,2302	0,068	0,0256	0,0124	0,0013
23	Comércio atacado e varejista	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24	Transportes	0,0533	0,1633	0,3205	0,1355	0,115	0,1122	0,0672	0,023	0,0039	0,0058
25	Correio e outras atividades de entrega	0,0284	0,1338	0,3196	0,0909	0,1652	0,1245	0,1094	0,0000	0,0281	0,0000
26	Alojamento	0,0058	0,0309	0,0949	0,0705	0,1407	0,1457	0,299	0,1518	0,0283	0,0323
27	Alimentação	0,0377	0,1341	0,2503	0,1507	0,1364	0,1554	0,0909	0,0287	0,0073	0,0085
28	Informação e comunicação	0,023	0,1057	0,2477	0,1631	0,1633	0,1534	0,0928	0,0338	0,0107	0,0064
29	Atividades financeiras e seguros	0,0075	0,0543	0,1455	0,1299	0,1722	0,2166	0,1363	0,0852	0,0212	0,0313
30	Atividades imobiliárias	0,0336	0,0804	0,2364	0,0869	0,1277	0,1312	0,0962	0,1611	0,0307	0,0158
31	Atividades profissionais, científicas e técnicas.	0,0026	0,0684	0,1858	0,1582	0,1816	0,1877	0,1449	0,07	0,0007	0,0000
32	Atividades administrativas	0,0101	0,0371	0,0977	0,0643	0,1116	0,3505	0,2251	0,0874	0,0141	0,0022
33	Administração pública	0,0000	0,0000	0,3371	0,0000	0,0000	0,6629	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
34	Educação	0,0049	0,0395	0,168	0,1398	0,2327	0,2205	0,1229	0,0534	0,011	0,0073
35	Saúde	0,0389	0,1092	0,2517	0,1346	0,1008	0,2187	0,0796	0,0475	0,0144	0,0047
36	Artes, cultura, esporte e recreação	0,0251	0,0835	0,2095	0,1375	0,1465	0,1766	0,1211	0,0738	0,0103	0,0162

Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da POF (2013)

Ademais, o IMAGEM-MG utiliza-se da ampla gama de parâmetros definidos em Domingues et al. (2007). Porém, para esta dissertação, foram introduzidas atualizações na base de dados relativas a três parâmetros: a elasticidade-renda (EPS) obtida por Hoffmann (2010), a Elasticidade de Substituição do comércio regional (SIGMADOMDOM) estimada por Faria e Haddad (2011) e a Elasticidade de Substituição das Importações (ARMSIGMA), calculada por Kume e Piani(2011).

#### 4. SIMULAÇÕES

Os procedimentos utilizados nas simulações de adoção de energia solar residencial são apresentados nesta seção. O mecanismo de dinâmica recursiva do modelo toma explicitamente o horizonte temporal nas simulações, em que o ajuste das variáveis endógenas, após o choque inicial e ao longo do período de análise, ocorre tanto no cenário base quanto nos cenários de política, aqui representados pela adoção de painéis fotovoltaicos ou aquecedores solares por grupos de famílias de Minas Gerais.

O cenário base é construído a partir de um conjunto de simulações anuais encadeadas, que reproduzem uma trajetória pré-estabelecida para a economia brasileira. Nesta dissertação, foram adotadas estimativas e dados nacionais observados, em termos de variação percentual, para o PIB real, exportações, consumo das famílias, investimento e consumo do governo (TABELA 3).

Como a base de dados do IMAGEM-MG é de 2013, foram coletados valores dos principais indicadores macroeconômicos apresentados para os anos de 2014 e 2015 a partir dos dados do IBGE (2016), e projeções de crescimento econômico para os anos subsequentes, de 2016 a 2036, baseadas nas projeções do Banco Central do Brasil (BCB, 2016). O período analisado, 20 anos, corresponde a uma expectativa da vida útil dos sistemas fotovoltaicos e de aquecimento de água encontrada na literatura (NAKABAYASHI, 2015; TORRES, 2012; VIANNA, 2010). No fechamento utilizado para as simulações de cenário base, os indicadores macroeconômicos, variáveis normalmente exógenas, tornam-se endógenos. Dessa forma, o modelo calcula o valor destas variáveis e as adota como exógenas para simular os cenários alternativos de interesse, ou seja, os cenários de adoção de painéis fotovoltaicos e aquecedores solares.

**Tabela 3 - Principais variáveis do cenário macroeconômico (var. % real)**

<b>Indicadores</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020 a 2036</b>
<b>PIB</b>	-0,75	-3,72	-3,87	0,53	1,64	2,06	2,18
<b>Consumo das Famílias</b>	1,3	-4	-3,87	0,53	1,64	2,06	2,18
<b>Investimento</b>	-4,5	-14,1	-3,87	0,53	1,64	2,06	2,18
<b>Consumo do Governo</b>	1,2	-1,05	-3,87	0,53	1,64	2,06	2,18
<b>Exportações</b>	-1,1	-6,09	-3,87	0,53	1,64	2,06	2,18

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE (2016) e BCB (2016)

Este cenário base busca representar as mudanças projetadas para a economia ao longo do período de estudo (2017 a 2036) na ausência de alterações no consumo de energia solar

nas residências mineiras. Na adoção de um modelo dinâmico, a elaboração do cenário base (contrafactual) é fundamental para a visualização de duas trajetórias para cada varável de interesse. Nesta dissertação, a primeira representa a trajetória da economia na ausência de mudanças na fonte de consumo de energia e a segunda mostra o comportamento decorrente da adoção de energia solar, por meio de painéis fotovoltaicos ou aquecedores solares pelas famílias de Minas Gerais.

A diferença entre a trajetória do cenário base e os dois cenários alternativos representa o efeito (desvio) decorrente das mudanças colocadas. Como os resultados das simulações são desvios em relação ao cenário base, não é necessário analisá-lo, pois indica apenas a tendência de crescimento da economia na ausência de mudanças no consumo de energia solar no setor residencial. O cenário base está ancorado num crescimento médio do PIB brasileiro de 2,18% a.a., mas o PIB de Minas Gerais cresce abaixo dessa média (2,15% a.a.). Enquanto o crescimento médio do consumo real no Brasil é de 2,18% a.a., em Minas Gerais ele cresce, em média, 2,16% a.a. no cenário base. Já o investimento cresce apenas 2,14% a.a. em Minas Gerais. O crescimento médio das importações em Minas Gerais (2,15% a.a.) também fica abaixo do crescimento médio brasileiro no cenário base (2,19% a.a.). Somente as exportações crescem acima da média brasileira, 2,63% a.a. em Minas Gerais contra 2,18% a.a. de crescimento médio no Brasil. Vale ressaltar que o desvio de trajetória obtido nas simulações independe, em grande parte, das características do cenário base, devido ao formato das simulações e da linearização do procedimento de Johansen.

No ano de 2017 são aplicadas as políticas de adoção de painéis fotovoltaicos ou aquecedores solares, compondo duas simulações distintas, conforme detalhado nas duas seções a seguir. A partir desses choques iniciais, são encadeadas novas simulações, ano a ano. Dessa forma, é possível analisar os resultados a partir de desvios acumulados em relação ao cenário base até o último ano do período estudado, 2036.

Os procedimentos para calcular os choques foram divididos em duas etapas: a primeira consistiu no dimensionamento dos sistemas (painel e aquecedor), a segunda consiste na análise de viabilidade econômica dos mesmos para cada faixa de renda, o que torna possível determinar quais faixas de renda teriam incentivos para adotá-los e a consequente variação percentual de renda em cada faixa de rendimentos diante a adoção dos dois sistemas, que corresponde ao choque adotado.



## 4.1. Dimensionamento dos Sistemas

### 4.1.1. Dimensionamento do Painel Fotovoltaico

O primeiro passo para a simulação envolvendo a adoção de sistemas fotovoltaicos para geração de eletricidade nas residências consistiu em dimensionar uma planta padrão para todas as residências. Os procedimentos para o cálculo da potência necessária e custo do sistema FV adotados seguem a metodologia proposta por Pinho e Galdino (2014). O passo inicial para dimensionar o sistema FV a ser adotado é determinar sua potência nominal em Corrente Contínua (CC) a fim de conhecer a capacidade de autonomia da edificação (utilizando apenas energia solar como fonte de geração de energia elétrica).

A potência nominal necessária para atender a demanda da edificação é dada por:

$$P_{CC} = \frac{E}{G \times R} \quad (7)$$

em que:

$P_{CC}$  representa a potência média em corrente contínua necessária (kWp)

$E$  representa o consumo médio diário durante o ano

$G$  representa a irradiação diária recebida no plano do painel fotovoltaico (kWh/m<sup>2</sup>) dividida pela irradiância de 1.000W/m<sup>2</sup>, expressa em horas (h)

$R$  é o rendimento do sistema, inversor e conexões (%)

Optou-se por considerar um consumo mensal de aproximadamente 300 kWh/mês, e um sistema com rendimento de 80%, compatível com os valores encontrados na literatura (MARINOSKI, SALAMONI e RUTHER, 2004; VIANNA, 2010; TORRES, 2012; NAKABAYASHI, 2015). Considerando, ainda, o nível de radiação solar diária de 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/dia (CEMIG, 2012) para o Estado de Minas Gerais, obtém-se a potência necessária para o sistema FV de aproximadamente 2kWp. A tecnologia fotovoltaica mais utilizada é de silício cristalino (PINHO; GALDINO, 2014), e para estas especificações definiu-se o preço de R\$ 10/Wp, com base em estudos<sup>4</sup> para a economia brasileira. Assim, o preço final do sistema

---

<sup>4</sup> Estudos que calculam o valor do Wp fotovoltaico procuram estipular um preço nacionalizado dos sistemas fotovoltaicos considerando os tributos. Ou seja, definidos os preços internacionais dos sistemas FV, a taxa de câmbio e os impostos, obtém-se o preço nacional do Wp FV. Os sistemas fotovoltaicos, por exemplo, estão na faixa de US\$ 5–7/Wp, conforme a tecnologia e o tamanho (CEMIG, 2012). O EPE (2012) considera câmbio de US\$ 1/R\$ 1,75 e impostos nacionais de 25%, chegando a um custo de investimento de R\$8,36/Wp para sistemas de até 100 kWp. Já para um sistema com potência maior ou igual a 1,0 MW, o custo estaria na faixa de 4-6 R\$/Wp instalado. Já segundo a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (2012), o custo do

seria aproximadamente R\$ 20.000,00. Para verificar a proximidade do valor encontrado com os preços de mercado efetivamente adotados, foram realizados orçamentos em empresas especializadas em sistemas solares fotovoltaicos<sup>5</sup>, em que observou-se valores condizentes com os encontrados.

Ademais, a partir da potência necessária, definida pela Equação 7, é possível calcular a área requerida para instalação do sistema fotovoltaico da seguinte forma:

$$A = \frac{P_{cc}}{P_{mod}} \times A_{mod} \quad (8)$$

em que:

$A$  é a área requerida em m<sup>2</sup>

$P_{cc}$  é a potência nominal necessária (Wp)

$P_{mod}$  é a potência do módulo (Wp)

$A_{mod}$  é a área de cada módulo (m<sup>2</sup>)

Para um sistema com potência de 2 KWp, considerando um módulo de silício policristalino que tem uma potência nominal de 150 Wp e área de 1 m<sup>2</sup> (VIANNA, 2010; TORRES, 2012), a área requerida para instalação do sistema FV é de aproximadamente 13 m<sup>2</sup>. Dadas as especificações do modelo, é possível estimar a geração de energia da seguinte forma:

$$E = D \times P_{cc} \times G \times R \quad (9)$$

em que:

$E$  é a energia mensal produzida (kWh);

$D$  é o número de dias no mês;

$P_{cc}$  é a potência nominal em corrente contínua;

$G$  é a irradiação solar média (kWh/m<sup>2</sup>.dia);

$R$  é o rendimento do sistema, inversor e conexões (%).

Portanto, em um mês de 30 dias seriam gerados 288kWh/mês. A eletricidade que não é consumida no momento da geração, é enviada à rede elétrica. Assim, a família obtém crédito

---

sistema solar fotovoltaico é da ordem de 5,73 R\$/Wp instalado. Atualizando estes valores para uma câmbio de US\$ 1/R\$ 3,25, obtém-se o valor aproximado de 10 R\$/Wp.

<sup>5</sup> Neosolar Energia (<http://www.neosolar.com.br/>) e Portal Solar (<http://www.portalsolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico.html>).

de consumo equivalente à eletricidade que envia. Ou seja, considerando que a tarifa de energia elétrica da CEMIG, incluindo impostos, seja de 0,82 centavos, o sistema dimensionado, que produz 288kWh/mês, pode gerar uma economia mensal de aproximadamente R\$236,00. Devido aos altos preços dos componentes do sistema fotovoltaico, sua instalação só se tornaria viável para as famílias que consomem mais eletricidade. Como boa parte dos custos do sistema são fixos, independente do dimensionamento do sistema (custos de instalação, inversores, etc), um sistema pequeno, que produzisse menos eletricidade, não seria economicamente viável. Por isso, optou-se por simular um sistema fotovoltaico maior, economicamente viável, com a potência instalada de 2 KWp.

#### 4.1.2. Dimensionamento do Aquecedor Solar

Para as simulações envolvendo adoção de aquecedores solares pelas famílias mineiras, utilizou-se o preço médio de mercado<sup>6</sup> de um sistema de aquecimento, R\$ 3000,00 em valores de 2016. O consumo médio mensal do chuveiro elétrico nas residências mineiras pode ser calculado a partir da seguinte fórmula:

$$C = (P_w/1000) \times T \quad (10)$$

em que:

$C$  é o consumo mensal medido em kWh;

$P_w$  é a potência do chuveiro medida em Watts;

$T$  é o número mensal de horas que o chuveiro permanece ligado.

Considerando-se o mesmo perfil de consumo do chuveiro elétrico para todas as famílias, 20 minutos por dia, e a potência média do chuveiro de 4400W, tem-se que o consumo mensal do chuveiro elétrico seria de 44kWh/mês. Sendo a tarifa R\$ 0,82, a economia com a instalação do aquecedor solar seria aproximadamente R\$ 36,00 por mês. Embora, observa-se que, em termos absolutos, o consumo das famílias de maior renda com chuveiro elétrico é maior do que das famílias de menor renda, optou-se por considerar o mesmo perfil de consumo para todas as famílias. Pois seria uma aproximação da realidade de que, nas famílias de maior renda, o percentual do consumo de eletricidade que se deve à utilização do chuveiro elétrico, em relação ao consumo total, é relativamente menor. Isto se

---

<sup>6</sup> Solar e Sol (<http://www.solaresol.com.br/loja/>) e Soletrol (<http://www.soletrol.com.br/>).

deve ao fato de que as famílias de maior renda possuem maior número de eletrodomésticos e eletrônicos, o que também contribui para justificar o maior consumo de eletricidade em relação às primeiras faixas de renda observado na Tabela 2.

#### **4.2. Análise de Viabilidade Econômica por Classe de Rendimentos**

Para definir os valores dos choques, foram consideradas informações sobre o consumo de eletricidade de cada classe de rendimento e o valor da parcela do financiamento para adoção dos painéis fotovoltaicos e dos aquecedores solares. Assim, o choque dado visa representar o ganho líquido de renda para cada grupo de famílias previamente definido. Os procedimentos realizados, bem como os valores finais dos choques são especificados nesta seção. Utilizou-se nesta dissertação o conceito de famílias adotado pelo IBGE, que coincide com o conceito de Unidades de Consumo (UC) da POF. Dessa forma, o primeiro passo consistiu em determinar o número de UC, utilizando o fator de expansão do domicílio. Assim, tem-se 57.816.604 famílias, as quais foram agrupadas em 10 classes de rendimento conforme Tabela 4.

A partir dos dados da POF obteve-se o consumo anual, por faixa de renda, relativo ao setor de Eletricidade, gás e outras utilidades<sup>7</sup> presente nas Contas Nacionais, para o ano de 2013. Dividindo o valor gasto com eletricidade em cada classe de rendimentos pelo valor total gasto com eletricidade, encontrou-se o peso relativo de cada classe no consumo total de eletricidade (TABELA 4). O valor do consumo de eletricidade por faixa de renda foi dividido pelo número de famílias para encontrar o consumo de eletricidade, por família, em cada faixa de renda. Dividindo este resultado pela tarifa de eletricidade vigente em 2013 (R\$ 0,55 por kWh), encontrou-se o consumo (kWh), por família, em cada classe de rendimento (TABELA 4). É necessário ressaltar que estes cálculos se aplicam a partir da segunda classe de renda, tendo em vista que a primeira classe (HOU01) tem direito à Tarifa Social<sup>8</sup>. Portanto, optou-se por não considerar esta classe de rendimentos. Devido ao desconto na tarifa de energia elétrica, não seria economicamente viável adotar energia solar nas condições de mercado definidas nas simulações, conforme observado na análise de viabilidade econômica realizada a seguir.

---

<sup>7</sup> Por simplificação, considerou-se todo consumo deste setor com “consumo de eletricidade”.

<sup>8</sup> Concede descontos na tarifa de energia a famílias com renda mensal de até 0,5 salário mínimo *per capita*. É regulamentada pela Lei nº 12.212 de 2010 e pelo Decreto nº 7.583 de 2011.

Supondo constante o consumo de eletricidade, considerou-se que o consumo (kWh) em 2016 seria o mesmo de 2013. Assim, multiplicando este consumo (TABELA 4) pela tarifa vigente em 2016 (R\$ 0,82 por kWh), foi obtido o consumo de eletricidade em 2016 por família. O valor da renda das famílias (somatório da renda de todas as famílias em cada classe de renda) foi inflacionado a uma taxa de 4,5% a.a., que corresponde à meta para inflação do BCB (2016), para obter renda total no ano de 2016. Dividindo o consumo anual de eletricidade por família pela renda das famílias em 2016, obtém-se a parcela de renda gasta com eletricidade em 2016 (TABELA 4).

**Tabela 4 - Consumo médio de Eletricidade em 2016**

Grupo	Número de unidades de consumo	Consumo por classe (%)	Consumo por família (kWh)	Consumo por família (R\$)	Renda por classe (milhões de reais)	Parcela da renda gasta com eletricidade (%)
HOU01	8.632.955	6,62%	-	-	21.605	4,69%
HOU02	12.594.358	14,76%	1201,69	985,39	30.607	3,22%
HOU03	16.613.637	24,81%	1531,16	1255,55	40.275	3,12%
HOU04	7.810.309	15,53%	2038,80	1671,81	61.245	2,73%
HOU05	6.040.073	15,33%	2602,62	2134,15	92.846	2,30%
HOU06	4.048.083	13,23%	3349,28	2746,41	149.633	1,84%
HOU07	1.494.334	6,18%	4239,04	3476,01	223.954	1,55%
HOU08	456.821	2,93%	6571,11	5388,31	328.088	1,64%
HOU09	99.955	0,43%	4456,55	3654,37	380.533	0,96%
HOU10	26.080	0,16%	6483,47	5316,44	531.633	1,00%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos das Contas Nacionais (2013) e POF(2013)

Sabendo quanto cada tipo de família gasta, em média, com eletricidade, é possível iniciar a análise de viabilidade econômica. Ou seja, conhecendo o custo do financiamento da adoção de energia solar (através de painel fotovoltaico ou aquecedor solar) e o valor que a família gasta com eletricidade, é possível analisar, através de um fluxo de caixa, a viabilidade do investimento.

O fluxo de caixa corresponde ao valor da redução na conta de luz proveniente da adoção de energia solar, para cada grupo de renda, subtraído do valor do financiamento. Assim, após determinar o consumo de eletricidade em 2016, o passo seguinte consistiu na realização da análise de viabilidade por meio do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), por faixa de renda. Segundo Rebelatto (2004), o VPL de um investimento é o valor das entradas de caixa (retornos de capital esperados), incluindo, se houver, o valor residual, menos o valor das saídas de caixa. Dessa forma, é possível considerar o valor do dinheiro no tempo e realizar

uma análise sofisticada de um investimento em capital. O cálculo do VPL foi realizado a partir da seguinte fórmula adaptada de Rebelatto (2004):

$$VPL = \sum_{t=1}^{t=20} \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (11)$$

em que  $FC$  é o fluxo de caixa no período  $t$ , ou seja, a diferença entre a redução na conta de eletricidade e o valor da parcela do financiamento.

$t$  é o período no tempo (20 anos)

$i$  é a taxa de retorno (6% a.a.)

Para as simulações, considerou-se que o aumento do preço da tarifa segue uma taxa de inflação projetada de 4,5% a.a. e desconsiderou-se o aumento de preços decorrente das bandeiras amarela e vermelha.

Para o caso dos painéis fotovoltaicos, supôs-se que o total investido (R\$ 20.000,00) seria pago em 20 anos, com uma taxa de juros de 1,5% a.m., que é um valor compatível com as linhas de crédito para sistemas fotovoltaicos disponíveis no mercado.<sup>9</sup> O valor corresponde a uma parcela anual de R\$ 3703,92. A redução na conta de eletricidade é, no máximo, equivalente ao total de energia gerada pelo sistema fotovoltaico. Como as famílias HOU01 a HOU05 têm um gasto com eletricidade muito inferior ao valor da parcela do financiamento, não apresentaram VPL positivo e, portanto, assumiu-se que nenhuma família destas classes de renda (até 5 salários mínimos *per capita*) adotaria energia solar fotovoltaica para autoconsumo.

As famílias HOU06 e HOU07 apresentaram consumo de eletricidade menor que o potencial de geração do sistema, apresentando excedente que, de acordo com a legislação atual de geração distribuída de energia, não poderia ser convertido em consumo de outros bens, apenas em créditos de consumo de eletricidade. Assim, como a produção de energia é constante, estas famílias não obtêm o ganho máximo de renda possível com o painel, dado que considerou-se constante também o consumo de eletricidade. Embora não retirem o máximo proveito dos painéis, estas famílias apresentaram VPL positivo. Portanto, considerou-se que as famílias destas duas classes adotam os painéis fotovoltaicos, embora o

---

<sup>9</sup> Alguns bancos apresentam linhas de crédito específicas para a compra de sistemas fotovoltaicos. Este é o caso da Caixa Econômica Federal, com juros que variam de 1,96% a 2,35% a.m. e o Banco do Brasil, cujos juros estão entre 1,53% a 2,02% a.m..

ganho líquido de renda seja menor do que as famílias que usam toda a energia do painel. Então, considerou-se que estas famílias apresentariam uma receita líquida que corresponde ao valor da conta de luz decrescido do valor do financiamento.

Enquanto isso, as famílias HOU08 a HOU10 consomem mais eletricidade do que o sistema poderia fornecer. Então considerou-se a variação de renda destas famílias seria dada pela redução do gasto com energia elétrica equivalente à geração integral de energia do sistema, em cada ano, subtraída do valor do financiamento. Ou seja, estas famílias continuam utilizando parte da eletricidade proveniente da concessionária de energia. A diferença entre o que o sistema gera de redução de gastos e a parcela do financiamento, dividida pela renda média das famílias, é a variação percentual na renda de cada grupo de famílias, em outras palavras, o choque de renda das famílias (TABELA 5).

**Tabela 5 – Benefício familiar decorrente da aquisição de painéis fotovoltaicos (% da renda familiar no ano)**

Ano	HOU06	HOU07	HOU08	HOU09	HOU10
2017	-0,6039%	-0,1018%	-0,1772%	-0,1528%	-0,1093%
2018	-0,4749%	-0,0306%	-0,1286%	-0,1109%	-0,0793%
2019	-0,3624%	0,0376%	-0,0820%	-0,0707%	-0,0506%
2020	-0,2645%	0,1028%	-0,0375%	-0,0324%	-0,0232%
2021	-0,1798%	0,1652%	0,0051%	0,0044%	0,0031%
2022	-0,1066%	0,2250%	0,0458%	0,0395%	0,0283%
2023	-0,0437%	0,2821%	0,0848%	0,0732%	0,0524%
2024	0,0102%	0,3368%	0,1222%	0,1053%	0,0754%
2025	0,0560%	0,3891%	0,1579%	0,1361%	0,0974%
2026	0,0946%	0,4392%	0,1921%	0,1656%	0,1185%
2027	0,1271%	0,4871%	0,2248%	0,1938%	0,1387%
2028	0,1540%	0,5330%	0,2561%	0,2208%	0,1580%
2029	0,1761%	0,5769%	0,2861%	0,2466%	0,1765%
2030	0,1939%	0,6189%	0,3147%	0,2714%	0,1942%
2031	0,2080%	0,6591%	0,3422%	0,2950%	0,2112%
2032	0,2189%	0,6975%	0,3684%	0,3176%	0,2274%
2033	0,2270%	0,7343%	0,3935%	0,3393%	0,2429%
2034	0,2326%	0,7695%	0,4176%	0,3600%	0,2577%
2038	0,2361%	0,8032%	0,4406%	0,3799%	0,2719%
2036	0,2378%	0,8355%	0,4626%	0,3988%	0,2855%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo IMAGEM-MG

De forma análoga, foram calculados os valores dos choques para o cenário de aquisição dos aquecedores solares. A partir do valor do investimento (R\$ 3.000,00) e considerando prazo de 20 anos do financiamento a uma taxa de juros de 1,5% a.m., tem-se o valor anual de 459,00 para parcela do financiamento. Considerando que todas as famílias tenham o mesmo

padrão de consumo de água aquecida (44kWh), todas as famílias teriam a mesma redução na conta de luz. Assim, a diferença entre a redução de gastos e a parcela do financiamento é a mesma para todas as famílias. Dividindo esta diferença pela renda média das famílias obteve-se a razão entre o ganho líquido de renda sobre a renda total de cada classe de rendimento. Este valor, que representa o choque adotado, é apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6 - Benefício familiar decorrente da aquisição de aquecedores solares (% da renda familiar no ano)**

Ano	HOU02	HOU03	HOU04	HOU05	HOU06	HOU07	HOU08	HOU09	HOU10
2017	0,0305%	0,0231%	0,0152%	0,0100%	0,0062%	0,0042%	0,0028%	0,0025%	0,0018%
2018	0,0950%	0,0722%	0,0475%	0,0313%	0,0194%	0,0130%	0,0089%	0,0076%	0,0055%
2019	0,1568%	0,1192%	0,0784%	0,0517%	0,0321%	0,0214%	0,0146%	0,0126%	0,0090%
2020	0,2160%	0,1641%	0,1079%	0,0712%	0,0442%	0,0295%	0,0202%	0,0174%	0,0124%
2021	0,2726%	0,2071%	0,1362%	0,0899%	0,0558%	0,0373%	0,0254%	0,0219%	0,0157%
2022	0,3267%	0,2483%	0,1633%	0,1077%	0,0668%	0,0447%	0,0305%	0,0263%	0,0188%
2023	0,3785%	0,2877%	0,1892%	0,1248%	0,0774%	0,0517%	0,0353%	0,0305%	0,0218%
2024	0,4281%	0,3253%	0,2140%	0,1411%	0,0876%	0,0585%	0,0399%	0,0344%	0,0247%
2025	0,4756%	0,3614%	0,2377%	0,1568%	0,0973%	0,0650%	0,0444%	0,0383%	0,0274%
2026	0,5210%	0,3959%	0,2604%	0,1717%	0,1066%	0,0712%	0,0486%	0,0419%	0,0300%
2027	0,5644%	0,4289%	0,2821%	0,1861%	0,1155%	0,0771%	0,0527%	0,0454%	0,0325%
2028	0,6060%	0,4605%	0,3029%	0,1998%	0,1240%	0,0828%	0,0565%	0,0487%	0,0349%
2029	0,6458%	0,4908%	0,3227%	0,2129%	0,1321%	0,0883%	0,0603%	0,0519%	0,0372%
2030	0,6839%	0,5197%	0,3418%	0,2255%	0,1399%	0,0935%	0,0638%	0,0550%	0,0394%
2031	0,7203%	0,5474%	0,3600%	0,2375%	0,1473%	0,0985%	0,0672%	0,0579%	0,0415%
2032	0,7552%	0,5739%	0,3774%	0,2490%	0,1545%	0,1032%	0,0705%	0,0607%	0,0435%
2033	0,7886%	0,5993%	0,3941%	0,2600%	0,1613%	0,1078%	0,0736%	0,0634%	0,0454%
2034	0,8205%	0,6235%	0,4100%	0,2705%	0,1678%	0,1121%	0,0765%	0,0660%	0,0472%
2038	0,8511%	0,6468%	0,4253%	0,2806%	0,1741%	0,1163%	0,0794%	0,0685%	0,0490%
2036	0,8803%	0,6690%	0,4399%	0,2902%	0,1801%	0,1203%	0,0821%	0,0708%	0,0507%

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo IMAGEM-MG

Em síntese, a simulação implica um choque de renda derivado da renda poupada com eletricidade. Assim, a partir desse choque, o modelo projeta as modificações no consumo das famílias e, decorrente destas, nos setores da economia de Minas Gerais. Para tanto, considerou-se fixo o consumo com eletricidade, ou seja, a renda extra gerada através da utilização de energia solar, não pode ser convertida em aumento do consumo com eletricidade. Além disso, foi considerado que a economia de energia adquirida da distribuidora é reduzida, representando para o setor de distribuição uma queda da demanda. Em outras palavras, redução na conta de luz das famílias é tida como redução de receita para o setor de energia. Portanto, aplicou-se um choque negativo no setor de energia de magnitude equivalente à soma da redução na conta de luz de todas as famílias que passam a utilizar energia solar.



## 5. RESULTADOS

### 5.1. Resultados da adoção de painéis fotovoltaicos nas residências mineiras

Nesta seção são analisados os impactos da adoção de energia solar para a geração de eletricidade pelas famílias de Minas Gerais. Os resultados aqui apresentados devem ser interpretados como desvios em relação ao cenário base no qual não ocorre a adoção de energia fotovoltaica. A Tabela 7 sumariza os principais efeitos agregados da adoção de painéis fotovoltaicos sobre a economia mineira. Cabe ressaltar que apenas as famílias dos grupos HOU06 a HOU10 adotam esta fonte de energia, conforme discutido nas simulações.

**Tabela 7 - Impactos em Minas Gerais da adoção de painéis fotovoltaicos nas residências (var % em 2036 – desvio acumulado em relação ao cenário base)**

<b>Indicadores em Minas Gerais</b>	<b>Desvio % acumulado (2017-2036)</b>
<b>PIB real</b>	0,2056
<b>Consumo das Famílias</b>	0,9139
<b>Investimento</b>	0,5138
<b>Exportações</b>	-0,0747
<b>Importações</b>	0,6754
<b>Emprego</b>	0,2097
<b>Rentabilidade do Capital</b>	0,1181

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

Segundo os mecanismos do modelo, quando as famílias realizam o investimento em painéis fotovoltaicos, ocorre redução dos gastos com eletricidade superior ao custo do financiamento. Assim, ocorre uma geração de renda líquida para estas famílias. Conforme observado na Tabela 7, ocorre pequeno aumento do PIB no estado de Minas Gerais, cujo valor acumulado em relação ao cenário base é de 0,21% em 2036. O aumento do PIB está associado ao efeito sobre o consumo das famílias e o investimento. O consumo das famílias que adotam o painéis solares aumenta devido à renda extra recebida. A variação agregada do consumo das famílias é de aproximadamente 0,91%.

Para atender o aumento da demanda, ocorre aumento do investimento de 0,51% acumulado até 2036. O aumento do investimento tem como consequência o aumento da produção. Esse resultado pode ser relacionado a rentabilidade dos fatores primários como o capital, que cresce 0,12% acumulado até 2036 em relação ao cenário base. Portanto, o aumento da rentabilidade do capital está relacionado ao aumento da demanda por este fator como decorrência do aumento da produção e da atividade econômica. Os efeitos da maior produção também implicam em maior demanda por trabalho, que aumenta 0,21% acumulado até 2036.

Como o modelo considera a hipótese de país pequeno, em que as exportações variam inversamente com os preços domésticos, o aumento do consumo eleva a demanda e os preços domésticos, o que faz com que os bens domésticos fiquem relativamente mais caros. Mas este efeito é muito pequeno e as exportações ficam praticamente estáveis. Com o aumento dos preços domésticos os bens importados tornam-se relativamente mais baratos, há um aumento das importações (0,68% em relação ao cenário base).

Apesar de observar-se aumento no consumo das famílias no agregado, é necessário compreender o que de fato ocorre em cada faixa de renda<sup>10</sup>, uma vez que apenas as famílias com renda superior a 5 salários mínimos *per capita* (HOU06 a HOU10) adotam os painéis solares nas simulações e, portanto, apenas esses grupos apresentam ganhos de renda. Além disso, verifica-se também queda de uso de eletricidade da concessionária, que representa choque negativo de demanda para esse setor. A partir dos dados da Tabela 5, essa perda corresponde a 24,3%, em média, ao longo do cenário. Dessa forma, conclui-se que a adoção de sistemas fotovoltaicos tem impactos concentrados em alguns grupos de famílias, notadamente os de renda mais elevada. A Tabela 8 representa os impactos da adoção de painéis fotovoltaicos sobre o consumo de cada família representativa.

**Tabela 8 - Impactos da adoção de painéis fotovoltaicos sobre o consumo das famílias em Minas Gerais (var % - desvio acumulado em relação ao cenário base)**

<b>Famílias</b>	<b>Consumo</b>
<b>HOU01 – HOU05</b>	0,0000
<b>HOU06</b>	0,1538
<b>HOU07</b>	8,9193
<b>HOU08</b>	3,7412
<b>HOU09</b>	3,2462
<b>HOU10</b>	2,3136

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

O aumento do consumo das famílias que apresentam ganho de renda em decorrência da adoção de painéis fotovoltaicos (HOU06 a HOU10) provoca aumento do nível de preços da economia. Assim, observa-se que a adoção de energia fotovoltaica, dados os custos atuais, seria regressiva, uma vez que as famílias das maiores classes de renda seriam as beneficiadas enquanto as famílias de menor renda sofreriam certo ônus do aumento dos preços provocado

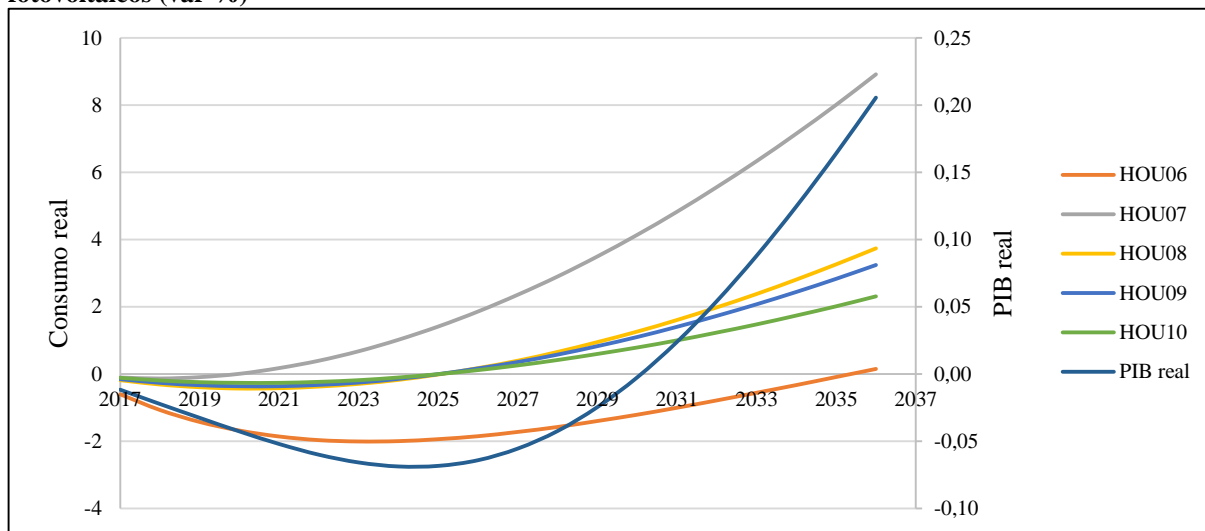
<sup>10</sup> Destaca-se que as simulações foram feitas com parâmetro de FRISCH constante para todas as famílias (-2,48). Como este parâmetro mede a razão entre gastos de subsistência e gastos de não subsistência (luxo) por produto para as famílias, seria esperado que esta razão fosse maior para as famílias pobres do que para as famílias ricas, mas como não há estimativas desagregadas por famílias na literatura, decidiu-se utilizar o mesmo parâmetro para todas as famílias (FRISCH, 1929).

pela elevação da renda com a poupança de gasto em energia. Incentivos ao desenvolvimento de tecnologias mais baratas ou subsídios para as famílias de baixa renda adquirirem os painéis solares poderiam ser adotados para modificar este cenário.

As famílias com renda entre 10 e 20 salários mínimos *per capita* (HOU07) são as mais beneficiadas pela adoção da energia fotovoltaica, em termos de ganhos de consumo. Isso ocorre porque o consumo de energia das famílias dessa classe de renda é integralmente fornecido pelo sistema FV, não tendo mais gastos com eletricidade proveniente da concessionária. Por outro lado, as famílias com renda entre 5 e 10 salários mínimos *per capita* (HOU06) consomem menos eletricidade que as demais famílias que adotam a energia fotovoltaica, a poupança de gasto com energia é menor. Portanto, o efeito positivo da adoção do sistema FV é menor.

Apesar dos ganhos de consumo para as famílias e economia, esse efeito não é linear ao longo do tempo. Observa-se que nos primeiros anos as famílias sofrem redução de renda, pois a parcela da renda gasta com financiamento dos painéis solares é superior à redução dos gastos com eletricidade. Assim, apenas após alguns anos é gerada renda líquida positiva. A evolução do consumo dos grupos de renda, ano a ano, é representada pela Figura 6, em que o eixo principal (à esquerda) representa a variação percentual no consumo real de cada classe de renda e o eixo secundário (à direita) representa a variação percentual do PIB real.

**Figura 6 - Evolução do Consumo por Classe de renda em Minas Gerais decorrente da aquisição de painéis fotovoltaicos (var %)**



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

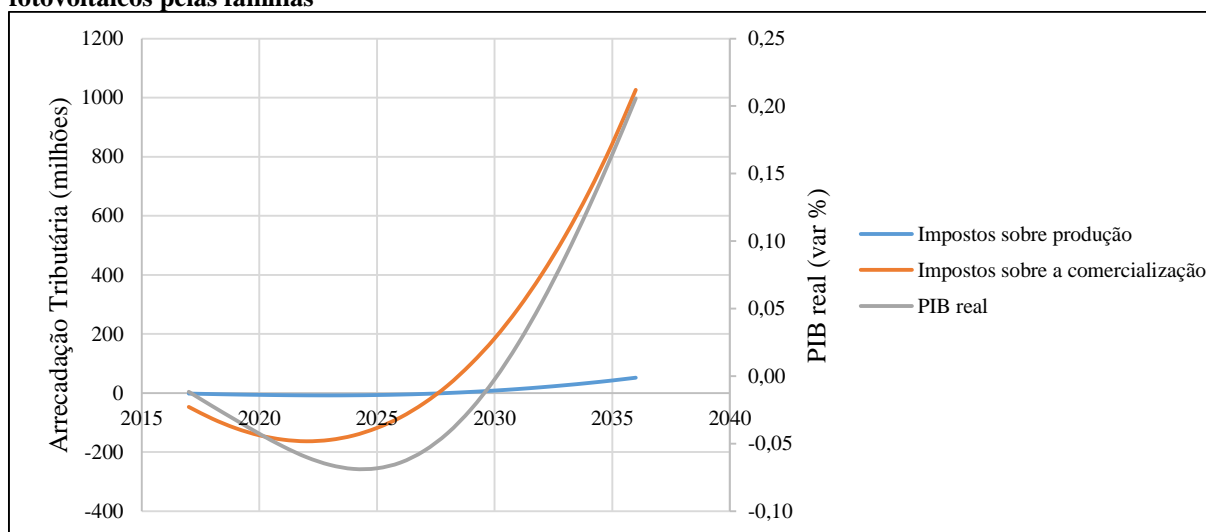
Conforme observado na Figura 6, cada tipo de família começa a ter aumento real no consumo em período diferente, em virtude do período em que começa a ter variação líquida de renda positiva. De acordo com os valores considerados nas simulações (TABELA 5) a classe HOU07, que apresenta maior ganho de consumo, começa a receber ganho líquido de renda a partir de 2019, as famílias HOU08 – HOU10, a partir de 2021, e as famílias HOU06, a partir de 2024. Essas diferenças determinam que tipo de família terá variação real positiva no consumo mais rapidamente.

As famílias HOU07 começam a ter variação real positiva no consumo a partir de 2020, as famílias HOU 08 – HOU10 a partir de 2025, dado que o diferencial de renda das três é o mesmo, mas observa-se que a variação percentual no consumo é maior na HOU08, pois é inversamente proporcional à renda da classe. A família HOU 06, como consome menos energia, tem ganho de renda menor com o sistema, por isso demora mais para obter resultados positivos. Observa-se, ainda, que o efeito negativo sobre o PIB real se extingue no momento em que as famílias HOU08 – HOU10 recebem ganho líquido de renda, começando a ser positiva a partir de 2030.

Este crescimento do consumo e do PIB gera o aumento da arrecadação de impostos que se verifica no período analisado. A Figura 7 mostra a arrecadação de impostos sobre produção e vendas (eixo principal) e a variação percentual do PIB real (eixo secundário). Assim, observa-se que, de 2017 a 2036, o governo estadual teria aumento de arrecadação acumulado de aproximadamente 1 bilhão de reais (variação do imposto sobre comercialização de bens,

que representa o ICMS estadual). Observando mais detalhadamente, percebe-se nos anos iniciais redução da arrecadação, que segue o efeito negativo sobre a atividade econômica, pois as famílias têm, nessa fase, gastos maiores com o financiamento do que redução da conta de energia. Após alguns anos, começa a ocorrer o ganho líquido de renda e o consequente aumento da atividade econômica, que gera arrecadação tributária para o governo. A arrecadação de impostos sobre as vendas começa a crescer no ano de 2030, no qual observa-se também que a variação percentual do PIB real passa a ser positiva.

**Figura 7 - Evolução da Arrecadação tributária em Minas Gerais no cenário de adoção de painéis fotovoltaicos pelas famílias**



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

O principal efeito da adoção de energia fotovoltaica para as famílias está relacionado ao aumento do consumo propiciado pela renda extra gerada. Há pequeno impacto negativo da elevação de preços sobre setores exportadores. A Tabela 9 retrata os impactos setoriais da simulação.

**Tabela 9 - Impactos setoriais em Minas Gerais da adoção de painéis solares pelas famílias (desvio % acumulado em relação ao cenário base 2017-2036)**

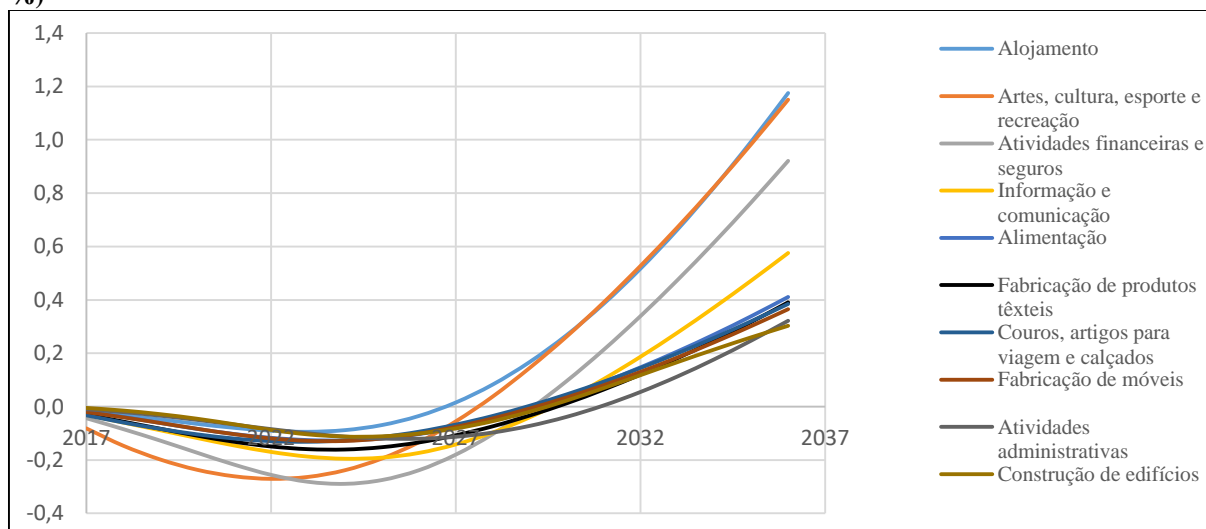
Nº	Setor	Nível de Atividade
1	Agricultura	-0,0213
2	Pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	-0,0128
3	Indústrias extrativas	-0,0986
4	Fabricação de produtos alimentícios	0,0446
5	Bebida e fumo	0,0626
6	Fabricação de produtos têxteis	0,3909
7	Couros, artigos para viagem e calçados	0,3849
8	Fabricação de produtos de madeira	0,1402
9	Fabricação de celulose	0,0394
10	Fabricação de coque, Petróleo e de biocombustíveis	-0,0071
11	Fabricação de produtos químicos e farmacêuticos	-0,0524
12	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,0863
13	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,0615
14	Metalurgia	-0,0374
15	Fabricação de máquinas e equipamentos	0,1359
16	Fabricação de veículos automotores	0,1531
17	Fabricação de móveis	0,3651
18	Manutenção de máquinas e equipamentos	-0,0104
19	Elettricidade, gás e outras utilidades	-0,2916
20	Captação, tratamento e distribuição de água	0,0514
21	Construção de edifícios	0,3030
22	Comércio e reparação de veículos automotores	0,2972
23	Comércio atacado e varejista	0,1451
24	Transportes	0,1350
25	Correio e outras atividades de entrega	0,2920
26	Alojamento	1,1752
27	Alimentação	0,4110
28	Informação e comunicação	0,5757
29	Atividades financeiras e seguros	0,9209
30	Atividades imobiliárias	0,0304
31	Atividades profissionais, científicas e técnicas.	0,1535
32	Atividades administrativas	0,3218
33	Administração pública	-0,0260
34	Educação	-0,0365
35	Saúde	-0,0396
36	Artes, cultura, esporte e recreação	1,1502

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

É necessário ressaltar que estes resultados refletem como os setores produtivos da economia são afetados, direta e indiretamente, pelo ganho líquido de renda para as famílias com renda superior a cinco salários mínimos *per capita*. Conforme observado na Tabela 9, os setores que mais crescem são os de artes, cultura e recreação, alojamento e atividades financeiras e seguros. Isso significa que uma parcela da renda extra das famílias que adotam os painéis fotovoltaicos seria consumida com esses bens e serviços. Os impactos negativos são presentes em setores pouco relacionados ao consumo das famílias e exportadores, como a indústria extrativa. Setores associados ao consumo do governo (saúde, educação e administração pública) são afetados pelo deslocamento de fatores produtivos para os demais

setores, pois como no modelo não há conexão de consumo do governo com arrecadação de impostos, não é possível supor que o aumento da arrecadação aumenta a oferta destes bens. A Figura 8 retrata as projeções dos maiores impactos setoriais (desvios acumulados em relação ao cenário base) da adoção de painéis fotovoltaicos.

**Figura 8 - Impacto nos 10 setores mais afetados pela adoção de painéis fotovoltaicos em Minas Gerais (var %)**



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

O consumo diminui nos primeiros anos, que as famílias estão pagando o investimento, e tem um ponto de inflexão a partir do qual a família começa a receber renda líquida positiva. Esse é o ponto onde começa a aumentar o consumo dos bens e serviços. Mas esse é o resultado agregado de todas as famílias. Observando por classe de renda, é possível observar que esse comportamento é determinado pelas famílias com renda superior a cinco salários mínimos *per capita* (HOU06 a HOU10), conforme a variação percentual acumulada para o consumo de bens e serviços em cada classe de rendimentos (TABELA 10).

Analisando o padrão de consumo de cada grupo de renda (TABELA A3, ANEXO 3), é possível concluir que os setores que apresentam maior variação no consumo das famílias HOU06 a HOU10 correspondem às maiores parcelas do orçamento das mesmas. Juntos, os três primeiros setores (FIGURA 8) correspondem a 24,37% do orçamento de HOU06 e 43,45% do orçamento de HOU10.

Na Tabela 10 é possível observar, novamente, que a maior variação no consumo parte dos grupos de renda entre 10 e 20 salários mínimos *per capita*. A variação negativa no consumo das famílias com menos de 5 salários mínimo per capita corresponde ao efeito negativo do aumento do nível de preços provocado pelo aumento do consumo das famílias das outras faixas de renda. Alguns dos setores que apresentam maiores variações percentuais no consumo são Setor 22 (Comércio e reparação de veículos automotores), Setor 23 (Comércio atacado e varejista), Setor 24 (Transportes) Setor 25 (Alojamento) e Setor 31 (Atividades profissionais, científicas e técnicas). Porém, ressalta-se que estes resultados devem ser interpretados como aumentos relativos ao consumo projetado no cenário base para esses setores.



**Tabela 10 - Variação no consumo, por produto, decorrente da adoção de painéis fotovoltaicos**

Nº	Setor	HOU01	HOU02	HOU03	HOU04	HOU05	HOU06	HOU07	HOU08	HOU09	HOU10
1	Agricultura	0,0064	0,0076	0,0082	0,0093	0,0101	0,1754	5,2133	2,1793	1,8368	1,2712
2	Pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	0,0021	0,0030	0,0034	0,0042	0,0047	0,1375	3,4341	1,4303	1,2026	0,8246
3	Indústrias extrativas	0,0382	0,0403	0,0413	0,0433	0,0449	0,3390	12,5471	5,2826	4,4838	3,1350
4	Fabricação de produtos alimentícios	0,0015	0,0033	0,0043	0,0058	0,0070	0,1933	6,4094	2,6795	2,2608	1,5680
5	Bebida e fumo	0,0014	0,0034	0,0044	0,0062	0,0075	0,2083	7,1616	2,9958	2,5294	1,7565
6	Fabricação de produtos têxteis	0,0016	0,0039	0,0051	0,0071	0,0087	0,2260	8,2145	3,4384	2,9062	2,0211
7	Couros, artigos para viagem e calçados	0,0013	0,0036	0,0049	0,0069	0,0085	0,2264	8,2273	3,4437	2,9108	2,0243
8	Fabricação de produtos de madeira	0,0034	0,0056	0,0068	0,0087	0,0102	0,2288	8,2106	3,4379	2,9060	2,0213
9	Fabricação de celulose	0,0063	0,0084	0,0095	0,0114	0,0128	0,2310	8,2051	3,4369	2,9054	2,0215
10	Fabricação de coque, Petróleo e de biocombustíveis	0,0196	0,0211	0,0218	0,0232	0,0243	0,2411	8,1353	3,4138	2,8864	2,0112
11	Fabricação de produtos químicos e farmacêuticos	0,0179	0,0195	0,0203	0,0218	0,0229	0,2402	8,1815	3,4324	2,9023	2,0221
12	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,0150	0,0168	0,0176	0,0192	0,0204	0,2389	8,2276	3,4505	2,9178	2,0324
13	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,0061	0,0081	0,0093	0,0111	0,0126	0,2286	8,2002	3,4342	2,9030	2,0199
14	Metalurgia	0,0077	0,0097	0,0108	0,0126	0,0140	0,2312	8,1867	3,4296	2,8991	2,0175
15	Fabricação de máquinas e equipamentos	0,0198	0,0213	0,0220	0,0235	0,0245	0,2412	8,1930	3,4379	2,9073	2,0260
16	Fabricação de veículos automotores	0,0120	0,0138	0,0148	0,0165	0,0177	0,2348	8,2111	3,4418	2,9101	2,0262
17	Fabricação de móveis	-0,0052	-0,0027	-0,0013	0,0009	0,0027	0,2185	8,1794	3,4201	2,8899	2,0080
18	Manutenção de máquinas e equipamentos	0,0088	0,0107	0,0118	0,0135	0,0149	0,2317	8,1933	3,4328	2,9019	2,0197
19	Eletricidade, gás e outras utilidades	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-4,1191	-8,4756	-4,4453	-3,8493	-2,7736
20	Captação, tratamento e distribuição de água	-0,0022	-0,0003	0,0007	0,0023	0,0036	0,1874	6,2229	2,5995	2,1925	1,5192
21	Construção de edifícios	0,0193	0,0208	0,0215	0,0229	0,0240	0,2335	8,0813	3,3895	2,8659	1,9967
22	Comércio e reparação de veículos automotores	-0,0409	-0,0360	-0,0328	-0,0286	-0,0251	0,2624	12,5313	5,2362	4,4379	3,0842
23	Comércio atacado e varejista	-0,0214	-0,0172	-0,0145	-0,0109	-0,0078	0,2790	12,5523	5,2545	4,4554	3,1011
24	Transportes	0,0005	0,0033	0,0049	0,0073	0,0092	0,2574	9,8521	4,1278	3,4937	2,4329
25	Correio e outras atividades de entrega	-0,0250	-0,0206	-0,0178	-0,0140	-0,0109	0,2855	12,6170	5,2819	4,4796	3,1176
26	Alojamento	-0,0058	-0,0021	0,0001	0,0034	0,0061	0,3017	12,5677	5,2702	4,4700	3,1153
27	Alimentação	-0,0135	-0,0113	-0,0099	-0,0080	-0,0065	0,1743	5,8835	2,4521	2,0664	1,4280
28	Informação e comunicação	-0,0296	-0,0250	-0,0221	-0,0182	-0,0150	0,2779	12,5472	5,2495	4,4503	3,0957
29	Atividades financeiras e seguros	-0,0709	-0,0649	-0,0610	-0,0559	-0,0516	0,2420	12,5067	5,2125	4,4146	3,0608
30	Atividades imobiliárias	-0,0070	-0,0045	-0,0030	-0,0008	0,0009	0,2110	7,8596	3,2847	2,7731	1,9251
31	Atividades profissionais, científicas e técnicas.	-0,0187	-0,0145	-0,0119	-0,0083	-0,0053	0,2874	12,5782	5,2678	4,4674	3,1104
32	Atividades administrativas	-0,0164	-0,0133	-0,0114	-0,0087	-0,0065	0,2262	8,9260	3,7298	3,1529	2,1901
33	Administração pública	0,0255	0,0276	0,0286	0,0305	0,0320	0,2864	10,3473	4,3489	3,6974	2,5854

Nº	Setor	HOU01	HOU02	HOU03	HOU04	HOU05	HOU06	HOU07	HOU08	HOU09	HOU10
34	Educação	-0,0009	0,0022	0,0039	0,0066	0,0088	0,2751	10,7554	4,5087	3,8216	2,6632
35	Saúde	0,0006	0,0032	0,0047	0,0070	0,0088	0,2519	9,3935	3,9354	3,3306	2,3188
36	Artes, cultura, esporte e recreação	-0,0189	-0,0156	-0,0136	-0,0108	-0,0086	0,2265	9,0014	3,7606	3,1796	2,2083

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

## 5.2. Resultados da adoção de aquecedores solares nas residências mineiras

Nesta seção são analisados os impactos da adoção de energia solar para aquecimento de água para o banho pelas famílias de Minas Gerais. Novamente, os resultados aqui apresentados devem ser lidos como desvios em relação à trajetória padrão representada pelo cenário base no qual não ocorre a adoção de energia solar. A Tabela 11 sumariza os principais efeitos agregados da adoção de painéis solares pelas famílias mineiras. Destaca-se, ainda, que as famílias das classes HOU02 a HOU10 adotariam esta fonte de energia, conforme discutido nas simulações. Os valores são consideravelmente superiores aos da simulação de painéis fotovoltaicos.

**Tabela 11 - Impactos em Minas Gerais da adoção de aquecedores solares nas residências (var % em 2036 – desvio acumulado em relação ao cenário base)**

<b>Indicadores em Minas Gerais</b>	<b>Desvio % acumulado (2017-2036)</b>
<b>PIB real</b>	1,3295
<b>Consumo das Famílias</b>	5,1777
<b>Investimento</b>	2,1897
<b>Exportações</b>	-0,2627
<b>Importações</b>	3,1837
<b>Emprego</b>	1,2090
<b>Rentabilidade do Capital</b>	0,9733

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

Ao contrário do que ocorre na aquisição de painéis FV, quando as famílias realizam o investimento em aquecedores solares, desde o primeiro ano ocorre variação positiva na renda, de acordo com as simulações realizadas (TABELA 6). Assim, observa-se aumento acumulado no PIB em relação ao cenário base de 1,33% em 2036. Em outras palavras, o crescimento do PIB em Minas Gerais passaria de 2,15% ao ano em 2017 para cerca de 2,18 % em média até 2036.

Como o aumento do PIB está associado ao comportamento do consumo das famílias e do investimento, tem-se que o consumo das famílias que adotam a energia solar aumenta em 5,18% e estimula o aumento dos investimentos em 2,19% acumulado até 2036. Assim, ocorre aumento do nível de produção que, por sua vez, aumenta a rentabilidade dos fatores primários. Como observado na Tabela 11, o uso do capital cresce 0,97% acumulado em relação ao cenário base. Além disso, o aumento da atividade econômica também gera aumento no nível de emprego em 0,13% acumulado até 2036. A aquisição de aquecedores solares tem pouco impacto sobre as exportações no agregado (0,26%), mas no acumulado até 2036 aumenta as importações em 3,18% em decorrência do aumento relativo dos preços domésticos.

É interessante analisar detalhadamente o que ocorre com o consumo de cada tipo de família representativa, pois os mesmos são heterogêneos. Ressalta-se que, ao considerar o mesmo padrão de consumo de aquecimento de água para banho para todas as famílias, conforme adotado nas simulações, todas as classes de rendimento apresentam o mesmo ganho líquido de renda com a adoção dos aquecedores solares. A diferença está no fato de que esse ganho, em proporção à renda da família, é relativamente maior nas primeiras faixas de renda. Assim, deve haver mudança relativamente maior no consumo desses grupos. A Tabela 12 representa os impactos da adoção de aquecedores solares sobre o consumo de cada tipo de família representativa. Há também a queda de consumo de eletricidade distribuída, que representa choque negativo de demanda para esse setor. A partir dos dados da Tabela 6, essa perda é de 32,3% em média ao longo do cenário.

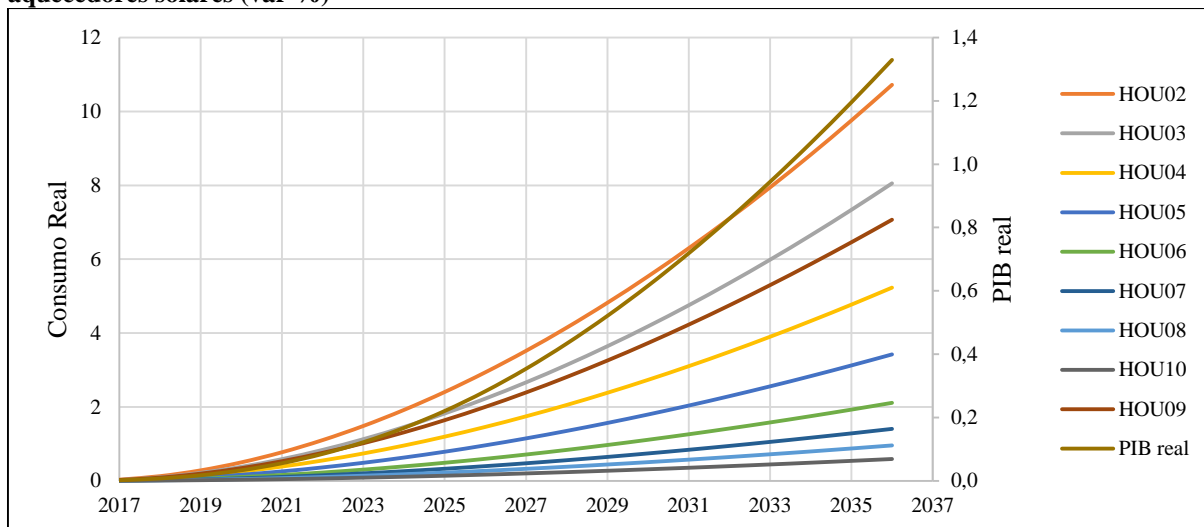
**Tabela 12 - Impactos da adoção de aquecedores solares sobre o consumo das famílias em Minas Gerais (var % - desvio acumulado em relação ao cenário base)**

<b>Famílias</b>	<b>Consumo</b>
<b>HOU01</b>	0,0000
<b>HOU02</b>	10,7210
<b>HOU03</b>	8,0531
<b>HOU04</b>	5,2299
<b>HOU05</b>	3,4218
<b>HOU06</b>	2,1105
<b>HOU07</b>	1,4053
<b>HOU08</b>	0,9573
<b>HOU09</b>	0,8247
<b>HOU10</b>	0,5899

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

Como o primeiro grupo, das famílias que recebem até meio salário mínimo *per capita*, não adotam aquecimento solar de água para banho, esse grupo sofreria com o ônus do aumento do preços. Por outro lado, observa-se que a classe HOU02, de famílias que recebem entre 0,5 e 1 salário mínimo *per capita*, apresentou o maior ganho de consumo, pois possui o maior ganho relativo de renda. A evolução do consumo dos grupos de renda ao longo do tempo é representada pela Figura 9, em que o eixo principal (à esquerda) representa a variação percentual no consumo real de cada classe de renda e o eixo secundário (à direita) representa a variação percentual do PIB real.

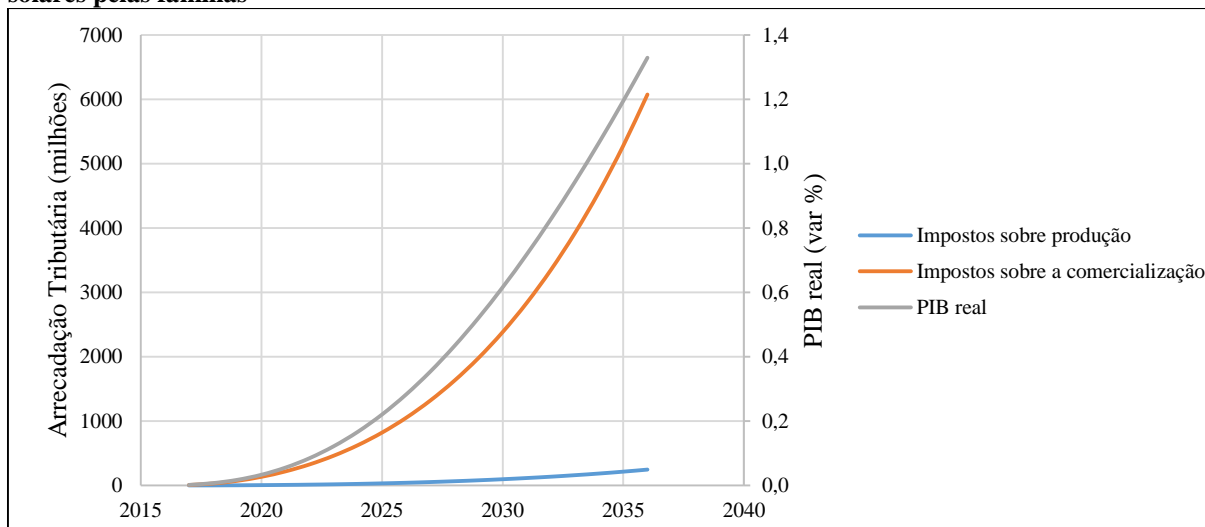
**Figura 9 - Evolução do Consumo por Classe de renda em Minas Gerais decorrente da aquisição de aquecedores solares (var %)**



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

De acordo com a Figura 9, já a partir do primeiro ano, as famílias têm aumento no consumo. Assim, em contraste com os resultados para a aquisição de painéis fotovoltaicos, o investimento em aquecedores solares garantiria variação positiva no consumo em todo o período analisado. Observa-se o mesmo comportamento para a variação percentual no PIB, que se faz positiva desde o ano da aquisição dos aquecedores. Em decorrência do aumento do consumo, observou-se aumento do nível de atividade, e ambos os efeitos contribuiriam para o aumento da arrecadação tributária. A Figura 10 apresenta a arrecadação de impostos sobre produção e vendas (eixo principal) e PIB real (eixo secundário). É possível observar que, no cenário de adoção de aquecedores solares nas residências, o governo estadual teria aumento acumulado na arrecadação impostos sobre a comercialização de bens de aproximadamente seis bilhões de reais acumulados de 2017 a 2036.

**Figura 10 - Evolução da Arrecadação tributária em Minas Gerais no cenário de adoção de aquecedores solares pelas famílias**



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

É interessante ainda identificar os setores mais beneficiados com a adoção dos aquecedores, já que dependem de como as famílias alocam a renda extra proporcionada pela utilização da energia solar. Assim, como a renda extra gerada pela aquisição de aquecedores solares se distribui de forma diferente entre as classes de rendimentos. Em relação aos painéis FV, que são concentrados nas faixas de maior renda, a variação do nível de atividade setorial também apresentou comportamento distinto nos dois cenários. A Tabela 13 retrata esses impactos setoriais.

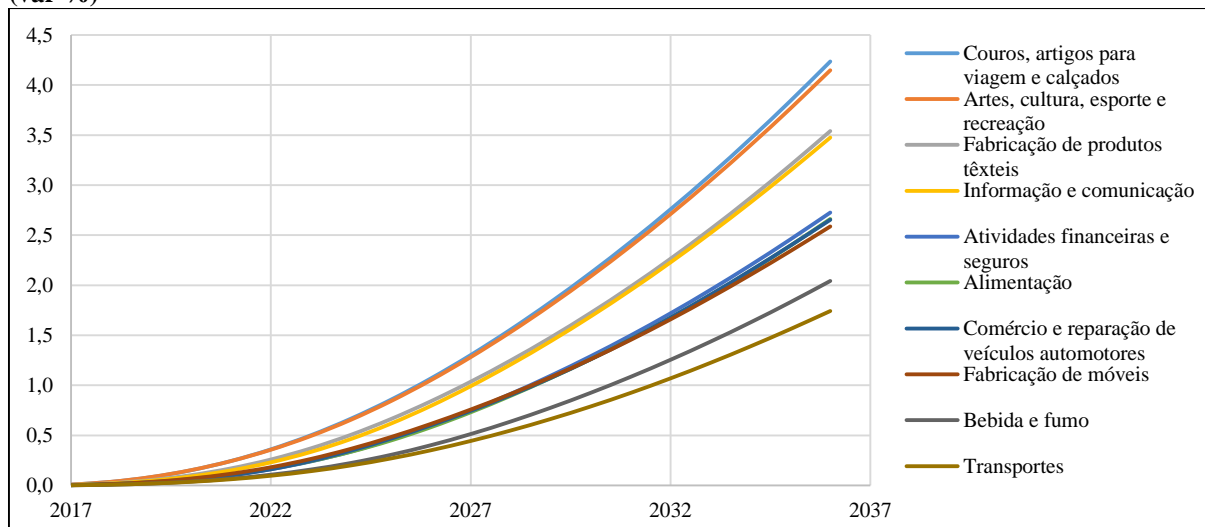
**Tabela 13 - Impactos setoriais em Minas Gerais da adoção de aquecedores solares pelas famílias (desvio % acumulado em relação ao cenário base 2017-2036)**

Nº	Setor	Nível de Atividade
1	Agricultura	0,6417
2	Pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	0,8285
3	Indústrias extrativas	-0,1840
4	Fabricação de produtos alimentícios	1,5837
5	Bebida e fumo	2,0429
6	Fabricação de produtos têxteis	3,5405
7	Couros, artigos para viagem e calçados	4,2357
8	Fabricação de produtos de madeira	1,4347
9	Fabricação de celulose	0,8774
10	Fabricação de coque, Petróleo e de biocombustíveis	0,3114
11	Fabricação de produtos químicos e farmacêuticos	0,7559
12	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	1,0371
13	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,4887
14	Metalurgia	0,1849
15	Fabricação de máquinas e equipamentos	1,5899
16	Fabricação de veículos automotores	0,9500
17	Fabricação de móveis	2,5874
18	Manutenção de máquinas e equipamentos	0,4162
19	Eletricidade, gás e outras utilidades	-1,4042
20	Captação, tratamento e distribuição de água	1,7226
21	Construção de edifícios	1,3962
22	Comércio e reparação de veículos automotores	2,6538
23	Comércio atacado e varejista	1,6562
24	Transportes	1,7425
25	Correio e outras atividades de entrega	1,7360
26	Alojamento	1,4384
27	Alimentação	2,6621
28	Informação e comunicação	3,4757
29	Atividades financeiras e seguros	2,7264
30	Atividades imobiliárias	0,3164
31	Atividades profissionais, científicas e técnicas.	1,0810
32	Atividades administrativas	1,0175
33	Administração pública	-0,0685
34	Educação	-0,0866
35	Saúde	-0,1082
36	Artes, cultura, esporte e recreação	4,1481

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

No caso dos aquecedores solares, esses resultados são agregados para grupos de renda mais diversificados que os painéis fotovoltaicos. Os resultados indicam o que ocorre com o nível de atividade dos setores produtivos se as famílias obtivessem ganho líquido de renda em decorrência da utilização de energia solar para aquecimento de água para banho. A Figura 11 retrata as projeções dos impactos mais relevantes, sobre a produção setorial, decorrentes da adoção de aquecedor solar ao longo de vida útil dos mesmos.

**Figura 11 - Impacto nos 10 setores mais afetados pela adoção de aquecedores solares em Minas Gerais (var %)**



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

Conforme observado na Figura 11, os setores que mais crescem são relativos à fabricação de couros, artes e cultura, e fabricação de produtos têxteis. Ou seja, parte da renda extra gerada pelas famílias está estimulando a atividade desses setores. É interessante observar, por exemplo, que os setores de couro e de têxteis apresentam variação relativa no nível de atividade superior à observada na adoção de painéis fotovoltaicos. Este resultado pode ser explicado pelo padrão de consumo de cada grupo de renda (TABELA A1, ANEXO 3). No caso dos painéis fotovoltaicos, como somente os grupos de renda mais elevada adotam o sistema, não ocorre um aumento tão elevado do consumo desses bens. Ou seja, famílias das classes de renda menores são as principais responsáveis pelo aumento do nível de atividade destes dois setores. De fato, é possível verificar que participação relativa destes setores no consumo total das famílias é maior para as famílias com renda de até cinco salários mínimos *per capita*.

De forma análoga, os setores de bebidas e fumo e o setor de fabricação de produtos alimentícios apresentaram aumentos relativamente maiores no cenário de adoção de aquecedores solares, pois são as famílias das primeiras faixas de renda que elevam o consumo destes setores, uma vez que tais bens representam uma parcela maior do orçamento destas famílias (TABELA A1, ANEXO 3).

Inversamente, observa-se que o setor de atividades financeiras e seguros tem aumento no seu nível de atividade relativamente maior na simulação com painéis fotovoltaicos. Ou seja, as famílias de maior renda consomem relativamente mais desses serviços com o aumento da renda. É possível notar que nas famílias com renda superior a cinco salários mínimos *per capita* esses serviços representam maior parcela do consumo (TABELA A1, ANEXO 3). Nas



duas simulações realizadas o setor de Artes, cultura, esporte e recreação é um dos que apresenta maior crescimento. As famílias com renda superior a cinco salários mínimos *per capita* são as que apresentam maior gasto com esses bens e serviços. Este setor representa o segundo maior gastos das famílias dessas classes de rendimentos, perdendo apenas para o setor de atividades financeiras e seguros. Assim, conclui-se que, apesar desse setor apresentar elevação relativamente alta do nível de atividade nos dois cenários, são as famílias de maior renda as principais responsáveis pelo aumento da demanda do setor.

A Tabela 14 apresenta a variação de consumo de cada faixa de renda para todos os produtos. É possível observar que a maior variação no consumo parte dos grupos de renda entre 0,5 e 2 salários mínimos *per capita* ( HOU02 e HOU03). A variação negativa no consumo das famílias com menos de meio salário mínimo *per capita* (HOU01) corresponde ao efeito negativo do aumento do nível de preços em geral. As maiores variações percentuais no consumo são as mesmas observadas na simulação da aquisição de painéis fotovoltaicos: comércio, transporte, alojamento e atividades científicas.

Por fim, destaca-se a existência de alto potencial para adoção de Aquecedores Solares de Baixo Custo, o que permitiria que as famílias da primeira faixa de renda adotassem o aquecimento solar de água. Além disso, implicaria maior geração de renda para todas as famílias, dada a redução do valor do gasto com a adoção do sistema.

**Tabela 14 - Variação no consumo, por produto, decorrente da adoção de aquecedores solares**

Nº	Setor	HOU01	HOU02	HOU03	HOU04	HOU05	HOU06	HOU07	HOU08	HOU09	HOU10
1	Agricultura	0,0054	7,7647	5,5635	3,4814	2,1768	1,3062	0,8327	0,5638	0,4767	0,3308
2	Pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	-0,0043	5,2497	3,7365	2,3330	1,4456	0,8597	0,5429	0,3631	0,3055	0,2082
3	Indústrias extrativas	0,1320	17,9411	13,0233	8,2271	5,2426	3,2120	2,1019	1,4674	1,2614	0,9113
4	Fabricação de produtos alimentícios	-0,0039	9,4241	6,7691	4,2368	2,6545	1,5932	1,0155	0,6866	0,5804	0,4016
5	Bebida e fumo	-0,0106	10,4619	7,5231	4,7089	2,9528	1,7722	1,1292	0,7628	0,6447	0,4452
6	Fabricação de produtos têxteis	0,0004	11,9209	8,5907	5,3858	3,3879	2,0403	1,3058	0,8866	0,7514	0,5227
7	Couros, artigos para viagem e calçados	-0,0049	11,9304	8,5968	5,3882	3,3879	2,0386	1,3033	0,8836	0,7483	0,5193
8	Fabricação de produtos de madeira	0,0103	11,9253	8,5960	5,3921	3,3948	2,0477	1,3132	0,8942	0,7589	0,5302
9	Fabricação de celulose	0,0219	11,9288	8,6011	5,3988	3,4024	2,0561	1,3217	0,9031	0,7675	0,5390
10	Fabricação de coque, Petróleo e de biocombustíveis	0,0665	11,8799	8,5735	5,3941	3,4120	2,0763	1,3465	0,9314	0,7958	0,5691
11	Fabricação de produtos químicos e farmacêuticos	0,0587	11,9298	8,6092	5,4150	3,4234	2,0808	1,3476	0,9302	0,7941	0,5662
12	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,0521	11,9817	8,6469	5,4374	3,4362	2,0866	1,3497	0,9300	0,7934	0,5642
13	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,0269	11,9295	8,6026	5,4013	3,4054	2,0596	1,3253	0,9068	0,7712	0,5427
14	Metalurgia	0,0313	11,9160	8,5934	5,3966	3,4036	2,0599	1,3267	0,9088	0,7733	0,5452
15	Fabricação de máquinas e equipamentos	0,0664	11,9508	8,6266	5,4285	3,4344	2,0901	1,3556	0,9377	0,8013	0,5730
16	Fabricação de veículos automotores	0,0438	11,9557	8,6257	5,4212	3,4233	2,0760	1,3405	0,9216	0,7854	0,5566
17	Fabricação de móveis	-0,0201	11,8620	8,5424	5,3485	3,3577	2,0151	1,2838	0,8663	0,7321	0,5044
18	Manutenção de máquinas e equipamentos	0,0372	11,9302	8,6052	5,4059	3,4114	2,0665	1,3326	0,9144	0,7786	0,5503
19	Eletricidade, gás e outras utilidades	0,0000	-9,7420	-7,4879	-4,9855	-3,3155	-2,0696	-1,3870	-0,9488	-0,8184	-0,5867
20	Captação, tratamento e distribuição de água	-0,0201	9,1496	6,5657	4,1039	2,5652	1,5337	0,9727	0,6532	0,5504	0,3768
21	Construção de edifícios	0,0703	11,8095	8,5235	5,3641	3,3942	2,0668	1,3414	0,9289	0,7941	0,5689
22	Comércio e reparação de veículos automotores	-0,1249	17,6956	12,7895	8,0012	5,0224	2,9934	1,8903	1,2553	1,0551	0,7059
23	Comércio atacado e varejista	-0,0843	17,7455	12,8355	8,0431	5,0614	3,0307	1,9256	1,2902	1,0889	0,7392
24	Transportes	-0,0026	14,1604	10,2264	6,4172	4,0453	2,4391	1,5634	1,0626	0,9016	0,6274
25	Correio e outras atividades de entrega	-0,0517	17,8457	12,9210	8,1105	5,1160	3,0753	1,9643	1,3252	1,1224	0,7705
26	Alojamento	0,0798	17,9382	13,0141	8,2079	5,2163	3,1794	2,0673	1,4301	1,2248	0,8734
27	Alimentação	-0,0470	8,6600	6,2032	3,8675	2,4068	1,4289	0,8978	0,5950	0,4983	0,3340
28	Informação e comunicação	-0,0757	17,7578	12,8465	8,0528	5,0703	3,0389	1,9334	1,2977	1,0962	0,7464
29	Atividades financeiras e seguros	-0,0968	17,7331	12,8237	8,0317	5,0504	3,0198	1,9151	1,2797	1,0787	0,7291
30	Atividades imobiliárias	0,0033	11,4856	8,2676	5,1790	3,2547	1,9595	1,2533	0,8514	0,7213	0,5020
31	Atividades profissionais, científicas e técnicas.	-0,0328	17,8273	12,9087	8,1066	5,1181	3,0825	1,9736	1,3365	1,1337	0,7829
32	Atividades administrativas	-0,0061	12,9061	9,3098	5,8381	3,6748	2,2127	1,4159	0,9604	0,8139	0,5651

Nº	Setor	HOU01	HOU02	HOU03	HOU04	HOU05	HOU06	HOU07	HOU08	HOU09	HOU10
33	Administração pública	0,0945	14,6331	10,6408	6,7397	4,2981	2,6315	1,7235	1,1984	1,0309	0,7426
34	Educação	0,0121	15,3411	11,1047	6,9840	4,4159	2,6708	1,7197	1,1737	0,9989	0,6993
35	Saúde	0,0148	13,5293	9,7729	6,1388	3,8741	2,3411	1,5053	1,0272	0,8732	0,6116
36	Artes, cultura, esporte e recreação	-0,0266	12,9741	9,3572	5,8630	3,6854	2,2127	1,4106	0,9516	0,8045	0,5537

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do modelo Imagem-MG

### 5.3. Discussão dos Resultados

Os efeitos de mecanismos de incentivo à produção de energia renovável, tais como RPS e políticas CAP, analisados por Morris, Reilly e Paltsev (2010), implicam em elevadas perdas de bem-estar, devido ao alto custo dessas políticas. Dessa forma, a geração de energia por fontes renováveis torna-se onerosa e com baixa atratividade, e sua utilização se justificaria apenas pela necessidade de suprir o aumento da demanda energética e combater a degradação ambiental associada às fontes poluentes. Böhringer e Löschel (2006) também observaram reduções do bem-estar em decorrência do incentivo à geração de energia renovável, porém mais discretas.

Por outro lado, se for possível considerar o cenário de aumento da produção de energia renovável sem incentivos governamentais, ou seja, sem política fiscal, que é responsável pelo elevado custo de bem-estar, os resultados podem modificar significativamente. Nesse sentido, o presente estudo destoa desses trabalhos ao desconsiderar quaisquer subsídios para a produção de energia renovável, eliminando os efeitos negativos de bem-estar associados a eles. Conforme Boeters e Koornneef (2011), apesar dos subsídios para a produção de ER terem elevados custos sociais, isso pode mudar em decorrência da disponibilidade de energia renovável de baixo custo. O Brasil, e em especial Minas Gerais, apresentam elevado potencial para utilização de energia solar, inclusive no setor residencial. A vantagem desta utilização no setor residencial, para autoconsumo, deve-se ao fato de que não há gastos com transmissão de energia. E por ser ligada à rede, também não apresenta gastos com armazenamento de energia, que corresponde a parcela expressiva dos custos de geração de energia elétrica. Assim, foi possível observar elevação na renda e no consumo dos grupos de famílias que adotam a energia solar, divergindo dos resultados destacados na literatura.

Além disso, a implementação de subsídios à ER traz consigo a possibilidade de aumento do desemprego (KÜSTER; ELLERSDORFER; FAHL, 2007, RIVERS; 2013, BÖHRINGER ET AL., 2012). Isso porque o estímulo à utilização de fontes renováveis (consideradas mais caras que as tradicionais) implica em aumento no preço da eletricidade e consequente retração no nível de atividade econômica. Fortes e Seixas (2015) destacam também, além do desemprego, a redução no PIB em cenários de incentivo à ER. O presente estudo difere desses trabalhos ao considerar que a energia renovável (solar) apresenta-se como alternativa mais barata do que as tradicionais.

Isso porque a análise foi realizada do ponto de vista das famílias. Dada a tarifa de energia elétrica cobrada pela concessionária de energia e o valor dos sistemas fotovoltaicos e de aquecimento de água, observou-se que a energia solar já representa alternativa economicamente viável para muitas famílias. Ou seja, considerando que a redução da utilização de energia por fontes poluentes parte da iniciativa das famílias de consumir energia solar, tem-se aumento do nível de atividade e, conseqüentemente, do nível de emprego.

A elevação no nível de emprego diante da maior utilização de fontes renováveis na matriz energética também é verificada por Arndt et al. (2009), Cansino et al. (2013), Cansino et al. (2014) e Dai et al. (2016), que simulam efeitos de aumento da utilização de fontes renováveis no setor industrial, através de aumento da capacidade produtiva. Nesse sentido, pode-se considerar que a presente pesquisa representa aproximação da discussão desses trabalhos. Porém, leva-se em consideração que o aumento da capacidade produtiva ocorre no setor residencial, que apresenta grande potencial para redução das emissões de CO<sub>2</sub>, conforme destacam Acar e Yeldan (2016).

Ademais, atenta-se ao fato destacado por Rausch e Mowers (2014), que políticas de incentivo à produção de energia renovável apresentam elevados custos de eficiência e aumentam os preços de energia, afetando desproporcionalmente as famílias de baixa renda, pois estas consomem maior fração do seu orçamento em eletricidade. Os impactos distributivos da ampliação do uso de energia solar são preocupação central o presente trabalho. O destaque principal se refere a diferença entre os tipos de sistemas adotados: como o sistema FV é dispendioso, apenas as famílias de maior renda o adotariam. Em contrapartida, os aquecedores solares são economicamente viáveis para mais famílias, então as famílias de menor renda teriam ganhos de consumo relativamente maiores mediante a adoção dessa fonte de energia. Devido a essa diferença no perfil das famílias que adotam cada tecnologia, observou-se diferentes impactos setoriais nos dois cenários (adoção de painel e de aquecedor). Assim, a concessão de linhas de crédito para a compra de painéis FV, por exemplo, poderia ser medida concentradora de renda, dado que, nas condições atuais, somente famílias com consumo elevado de eletricidade e renda alta seriam beneficiadas pelo incentivo. Por outro lado, incentivos ao desenvolvimento de aquecedores solares de baixo custo, amortecendo o custo da instalação dos mesmos, poderiam fazer com que os ganhos das famílias decorrentes do uso de energia solar fossem ampliados. Dessa forma, os impactos setoriais também se elevariam.

## 6. CONCLUSÃO

A demanda crescente por energia, associada às pressões ambientais enfrentadas pela sociedade moderna, torna necessário discutir novas fontes limpas de energia, visando diversificar a matriz energética e garantir a segurança de seu fornecimento. Assim, o presente trabalho procurou analisar os impactos da ampliação do uso de energia solar em Minas Gerais para autoconsumo das famílias. Em contraste com os outros trabalhos que utilizam EGC para analisar questões energéticas, o presente trabalho se propôs a analisar os impactos do maior uso de energia solar a partir da iniciativa das famílias. Em outras palavras, analisou-se os impactos distributivos da geração de energia para autoconsumo. Para tanto, utilizou-se um conjunto de 10 famílias representativas, divididas por classes de rendimento, o que tornou possível comparar as mudanças no padrão de consumo entre diferentes classes.

Apesar de verificar-se enorme potencial para a utilização de energia solar em Minas Gerais, tanto devido aos níveis de irradiação solar, quanto ao elevado preço das tarifas de energia elétrica no estado, faz-se necessário discutir, além do retorno esperado ao investimento em energia solar, através de painéis fotovoltaicos ou coletores solares, outros mecanismos de incentivo para que as famílias de fato adotem essa fonte de energia. Como as famílias, em geral, apresentam elevadas taxas de desconto intertemporal, a possibilidade de retorno futuro do investimento pode não ser incentivo suficiente para sua realização. Assim, há espaço para que se discuta a possibilidade de um mecanismo de incentivo governamental, como subsídios e isenções de impostos.

Porém, a condução de uma política que estimule a adoção de energia solar residencial pode culminar em piora na distribuição de renda, apresentando efeitos perversos. No caso dos painéis fotovoltaicos, dados os preços de mercado, sua adoção é economicamente viável apenas para famílias de elevado consumo de eletricidade, que são as famílias das faixas mais elevadas de renda. Assim, uma política que incentive a adoção de painéis fotovoltaicos teria como principais beneficiários as famílias de maior renda. Ou seja, as famílias de maior renda teriam um ganho líquido de renda em decorrência da redução dos gastos com eletricidade.

Ao mesmo tempo, quando se verifica a possibilidade de política para estímulo do uso de aquecedores solares, os resultados são diferentes. Isso ocorre, em primeiro lugar, porque o aquecedor é acessível a mais faixas de renda e, em segundo, devido ao percentual de energia elétrica utilizado para aquecimento de água ser superior nas primeiras faixas de renda. Ou seja, o

ganho relativo de renda decorrente da adoção de aquecedores solares é maior nas famílias de baixa renda. Nesse sentido, mecanismos de incentivo à adoção de aquecedores solares podem atuar como uma política de distribuição de renda.

Os resultados mostraram que, devido a adoção de painéis fotovoltaicos, os setores mais beneficiados de forma indireta seriam os de Artes e cultura, Alojamento e Atividades financeiras e seguros. No caso da adoção de aquecedores solares, Artigos de couro, Têxteis e Artes e cultura apresentariam maior variação de consumo real. Estes resultados podem ser explicados pelo padrão de consumo de cada grupo de renda. No caso dos painéis fotovoltaicos, como somente os grupos de renda mais elevada adotariam o sistema, ocorreria aumento relativamente maior no consumo de serviços financeiros, cuja participação no orçamento é relativamente maior nas famílias com renda superior a cinco salários mínimos *per capita*. Inversamente, a variação no consumo dos setores de couro e têxteis mostra-se superior no cenário de adoção de aquecedores solares, tendo em vista que as famílias das primeiras faixas de renda são as principais responsáveis pelo consumo destes setores. Em suma, a adoção de painéis fotovoltaicos gera impactos setoriais distintos da adoção de aquecedores solares devido a composição do consumo das famílias que adotam cada tecnologia.

Cabe destacar que os setores que apresentaram maior crescimento referem-se àqueles intensivos em trabalho, que além de engendrarem maior crescimento de empregos, estão associados a baixos níveis de poluição. Assim, o aumento do consumo das famílias não estaria associado a maiores emissões, que reduziriam o ganho ambiental decorrente do uso de energia solar pelas famílias. Ou seja, a adoção de energia solar implicaria aumento do nível de atividade em setores com relativamente maior capacidade de gerar empregos e também pouco intensivos em energia.

Porém, é necessário ressaltar que o nível de agregação dos setores do modelo impede a análise mais robusta dos resultados setoriais. Assim, destaca-se a possibilidade de que em trabalhos futuros sejam considerados dados mais desagregados para os setores, permitindo analisar os encadeamentos provocados pela indústria de energia solar. Além disso, também seria interessante incluir um número maior de regiões e informações técnicas mais precisas sobre o potencial de geração de energia solar regional. Apesar desses fatores, acredita-se que os resultados encontrados no presente trabalho são uma aproximação crível das possibilidades de

expansão da utilização de energia solar no presente, pois a utilização de energia solar corresponde a uma parcela muito pequena da demanda de energia residencial. Portanto, a indústria que fornece estes bens e serviços ainda é pequena. Além disso, apesar do enorme potencial para produção nacional, os serviços atualmente disponíveis no mercado para aquisição de painéis fotovoltaicos utilizam componentes importados. Ou seja, ao projetar impactos da ampliação do uso de energia solar, atualmente, é razoável supor que os efeitos positivos encadeados são reduzidos devido ao pequeno porte da indústria nacional de energia solar.

Por fim, além dos resultados discutidos neste trabalho, a ampliação da utilização de energia solar traz benefícios sociais ao reduzir a dependência por fontes de energia poluidoras, reduzindo indiretamente as emissões de gases de efeito estufa e diversificando a matriz energética. Ressalta-se, ainda, que estes ganhos poderiam ser potencializados por políticas energéticas que estimulassem o aproveitamento de energia solar residencial. Em especial a adoção de ASBC. Como observado, os aquecedores solares a preço de mercado já trazem resultados positivos. Investir em aquecedores com menores custos tornaria o investimento mais atrativo a todas as faixas de renda e, principalmente, o tornaria viável para a primeira faixa, permitindo ganho de renda às famílias de menor renda *per capita*.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNEE, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. São Paulo: ABINEE, 2012

ACAR, S.; YELDAN, A. E. Environmental impacts of coal subsidies in Turkey: A general equilibrium analysis. **Energy Policy**, v. 90, p. 1-15, 2016.

ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D.; CARLO, J. C. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 75-87, 2012.

AMARAL, R. M.; MONTEIRO, M. V. D. A demanda por energia elétrica residencial no Brasil: Estimativa das elasticidades renda e preço após o apagão. **Anais do XXX ENEGEP-Encontro Nacional De Engenharia De Produção**. São Carlos, 2010.

ANEEL, 2016. **Ranking das Tarifas**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>

ANEEL, **Tarifa Social de Energia Elétrica – TSEE**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-social-baixa-renda>>

ARNDT, Channing et al. Biofuels, poverty, and growth: a computable general equilibrium analysis of Mozambique. **Environment and Development Economics**, v. 15, n. 01, p. 81-105, 2010.

BCB - BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Focus - Relatório de mercado**. Brasília – DF. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/pec/GCI/PORT/readout/readout.asp>. Acesso em: maio de 2016.

BÖHRINGER, C.; KELLER, A.; VAN DER WERF, E. Are green hopes too rosy? Employment and welfare impacts of renewable energy promotion. **Energy Economics**, v. 36, p. 277-285, 2013.

BÖHRINGER, C.; LÖSCHEL, A. Computable general equilibrium models for sustainability impact assessment: Status quo and prospects. **Ecological economics**, v. 60, n. 1, p. 49-64, 2006.

BÖHRINGER, C.; RIVERS, N. J.; RUTHERFORD, T. F.; WIGLE, R. Alternative designs for tariffs on embodied carbon: A global cost-effectiveness analysis. **Energy Economics**, v. 34, p. S143-S153, 2012.

BOETERS, S.; KOORNNEEF, J. Supply of renewable energy sources and the cost of EU climate policy. **Energy Economics**, v. 33, n. 5, p. 1024-1034, 2011.

BRASIL. **Decreto nº 7.583, de 13 de outubro de 2011**. Regulamenta a aplicação da Tarifa Social de Energia Elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2011.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa Aneel nº 482, de 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2012.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa Aneel nº 547, de 16 de abril de 2013.** Estabelecer os procedimentos comerciais para aplicação do sistema de bandeiras tarifárias. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2013.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa Aneel nº 687, de 24 de novembro de 2015.** Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2015.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. **Convênio ICMS 16, de 22 de abril de 2015.** Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Brasília, 2015.

BRASIL, CONGRESSO NACIONAL. **Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003.** Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS" e dá outras providências. Brasília, 2003.

BRASIL. CONGRESSO NACIONAL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.** Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Brasília, 2002.

BRASIL. CONGRESSO NACIONAL. **Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010.** Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nºs 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. Brasília, 2010.

BRASIL. SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei nº 168/2013.** Determina o uso de energias alternativas na geração de calor em edificações novas de propriedade da União. Brasília, 2013.

BRASIL. SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei nº 475/2013.** Dispõe sobre a concessão de subvenção econômica nas operações de crédito para financiamento da aquisição de equipamentos de geração de energia eólica e fotovoltaica de capacidade reduzida. Brasília, 2013.

BRASIL. SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei nº 317/2013.** Isenta do Imposto sobre a Importação os equipamentos e componentes de geração elétrica de fonte solar. Brasília, 2013.

BRASIL. SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei nº 48/2014**. Altera a Lei 10.438, de 26 de abril de 2002, para garantir incentivos à autoprodução de energia elétrica a partir da microgeração e minigeração distribuída, que utilizem fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada. Brasília, 2014.

CABELLO, A. F.; POMPERMAYER, F. M. **Energia fotovoltaica ligada à rede elétrica: atratividade para o consumidor final e possíveis impactos no sistema elétrico**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: Rio de Janeiro, 2013. (Texto para discussão 1812)

CANSINO, J. M.; CARDENETE, M. A.; GONZÁLEZ-LIMÓN J.M.; ROMÁN, R. The economic influence of photovoltaic technology on electricity generation: A CGE (computable general equilibrium) approach for the Andalusian case. **Energy**, v. 73, p. 70-79, 2014.

CANSINO, J. M.; CARDENETE, M. A.; GONZÁLEZ-LIMÓN J.M.; ROMÁN, R. Economic impacts of biofuels deployment in Andalusia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 274-282, 2013.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2012.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **30º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais – BEEMG 2015: ano base 2014**. Belo Horizonte: Cemig, 2016.

CHIANG, A. **Fundamental methods of mathematical economics**. New York: McGrawHill, 1974.

COSTA, R. N. A. **Viabilidades térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais**. 2007. 78 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

DAI, H.; XIE X.; XIE Y. ;LIU J.; MASUI T. Green growth: The economic impacts of large-scale renewable energy development in China. **Applied Energy**, v. 162, p. 435-449, 2016.

DEUTSCHE BANK. Industry Solar. **Global Markets Research**, 2015.

DINIZ, A. S. A. C.; MACHADO NETO, L. V. B.; CAMARA, C. F.; MORAIS, P.; CABRAL, C.V.T.; OLIVEIRA FILHO, D.; RAVINETTI, R. F.; FRANC, E. D.; CASSINI, D. A.; SOUZA, M.E.M.; SANTOS, J. H.; AMORIM, M. Review of the photovoltaic energy program in the state of Minas Gerais, Brazil. Renewable and Sustainable. **Energy Reviews**, v. 15, n. 6, p. 2696–2706, 2011.

DIXON, P. B. **Orani, a multisectoral model of the Australian economy**. Amsterdam: North-Holland Pub, 1982.

DIXON, P.B.; RIMMER, M. **Forecasting and Policy Analysis with a Dynamic CGE Model of Australia**. Working Paper, 1998.

DOMINGUES, E. P.; LEMOS, M. B.; RUIZ, R. M.; MORO, S.; MARTINS, R. S.; FERREIRA, J. B. S.; RIBEIRO, L. C. Redução das desigualdades regionais no Brasil: os impactos de investimentos em transporte rodoviário. In: **Anais do XXXV Encontro Nacional de Economia**. ANPEC, 2007.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Nota Técnica da EPE, Rio de Janeiro, 2012.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Demanda de Energia 2050**. Nota Técnica DEA 13/14, Rio de Janeiro, 2014a.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Nota Técnica DEA 19/14, Rio de Janeiro, 2014b.

FARIA, W. R. **Efeitos regionais de investimentos em infra-estrutura de transporte rodoviário**. 2009. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FARIA, W. R.; HADDAD E. A. **Estimação das elasticidades de substituição do comércio regional do Brasil**. NEREUS: Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2011.

FOCHEZATTO, A. **Construção de um modelo de equilíbrio geral computável regional: aplicação ao rio Grande do Sul**. Brasília: IPEA, 2003 (Texto para Discussão: 944)

FORTES, P.; SEIXAS, J.; PROENÇA, S. How renewable energy promotion impacts the Portuguese economy?. In: **12th International Conference on the European Energy Market (EEM)**. IEEE, 2015.

HOFFMANN, R. Estimativas das elasticidades-renda de várias categorias de despesa e de consumo, especialmente alimentos, no Brasil, com base na POF de 2008-2009. **Revista de Economia Agrícola**, v. 57, n. 2, p. 49-62, 2010.

HOLDERMANN, C.; KISSEL, J.; BEIGEL, J. Distributed photovoltaic generation in Brazil: An economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and commercial sectors. **Energy Policy**, v. 67, p. 612-617, 2014.

HORRIDGE, M. **ORANI-G: a generic single-country computable general equilibrium model**. Australia: Centre of Policy Studies and Impact Project. Monash University, 2001.

HORRIDGE, M. Preparing a TERM bottom-up regional database. Preliminary Draft. Centre of Policy Studies, Monash University, 2006.

HORRIDGE, M.; MADDEN, J.; WITTEWER, G. The impact of the 2002–2003 drought on Australia. **Journal of Policy Modeling**, v. 27, n. 3, p. 285-308, 2005.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Download. Estatísticas. **Contas Nacionais Trimestrais**. 2016. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/pib/defaultcnt.shtm>. Acesso em: maio de 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014–Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects**. Cambridge University Press, 2014.

JANNUZZI, G. G.; GOMES, R. D. M.; VARELLA, F. K. O. M. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação**. Campinas: International Energy Initiative, 2009.

JARDIM, C. S.; RÜTHER, R.; SALAMONI, I. T.; VIANA, T. S.; REBECHI, S. H.; KNOB, P. J. The strategic siting and the roofing area requirements of building-integrated photovoltaic solar energy generators in urban areas in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 3, p. 365-370, 2008.

KANCS, D. Applied general equilibrium analysis of renewable energy policies. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 26, n. 1, p. 31-50, 2007.

KUME, H.; PIANI, G. **Elasticidades de Substituição das importações no Brasil**. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: Brasília, 2011. (Texto para discussão 1678)

KÜSTER, R.; ELLERSDORFER, I. R.; FAHL, U. **A CGE-Analysis of Energy Policies Considering Labor Market Imperfections and Technology Specifications**, 2007. (FEEM Working Paper n. 7.2007)

LACERDA, J. S.; VAN DEN BERGH, J. C. J. M. Mismatch of wind power capacity and generation: causing factors, GHG emissions and potential policy responses. **Journal of Cleaner Production**, v. 128, p. 178-189, 2016.

LEE, D. Toward the clean production of hydrogen: Competition among renewable energy sources and nuclear power. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, n. 20, p. 15726-15735, 2012.

LIMA, M. T. S. L.; SOUZA, M. C. Discorrendo Sobre o Uso das Termelétricas no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 17-23, 2015.

MAGALHÃES, A. S. **O comércio por vias internas e seu papel sobre crescimento e desigualdade regional no Brasil**. 134 f. 2009. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. In: **Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável**. São Paulo, Brasil. 2004.

MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; PEREIRA, E. B. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. **Energy Policy**, v. 48, p. 640-649, 2012.

MARTINS, F. R.; RÜTHER, R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L. Solar energy scenarios in Brazil. Part two: Photovoltaics applications. **Energy Policy**, v. 36, n. 8, p. 2865-2877, 2008.

- MILHOMEM, P. M.; SANTOS, M. R.; FONSECA, W. S.; SILVA, S. N. Construção de um aquecedor solar de água sustentável na Amazônia: usando a metodologia PBL para interação entre cursos de engenharia e escola de ensino médio. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 1, n. 3, p. 131-139, 2015.
- MINAS GERAIS. **Lei nº. 20824, de 31 de julho de 2013**. Altera as Leis nºs 6.763, de 26 de dezembro de 1975, 14.937, de 23 de dezembro de 2003, e 14.941, de 29 de dezembro de 2003, revoga dispositivo da Lei nº 15.424, de 30 de dezembro de 2004, concede incentivo a projetos esportivos e dá outras providências. Belo Horizonte, 2013.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira**. Brasília, 2015.
- MITSCHER, M.; RÜTHER, R. Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. **Energy Policy**, v. 49, p. 688-694, 2012.
- MOGAWER, Tamer; SOUZA, Teófilo Miguel de. Sistema solar de aquecimento de água para residências populares. **Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004.
- MORRIS, J.; REILLY, J. M.; PALTSEV, S. **Combining a renewable portfolio standard with a cap-and-trade policy: a general equilibrium analysis**. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 2010. (Report n. 187)
- MOURA, M. R.; OLIVEIRA, R. A. Consumo De Energia Elétrica: uma análise de fonte alternativa de coletor solar de baixo custo. **Humanas Sociais & Aplicadas**, v. 5, n. 13, 2015.
- NAKABAYASHI, R. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica**. 2015. Dissertação de Mestrado, (Instituto de Energia e Ambiente da USP) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- NIETERS A.; KNAACK J.; RODRIGUES, D. Alemanha e outras experiências no uso da energia solar térmica. In: VASCONCELLOS L. E. M.; LIMBERGER M. A. C. (Orgs). In: **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil: Contribuições da Eletrobras Procel e Parceiros**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.
- ORDENES, M.; MARINOSKI, D. L.; BRAUN, P.; RÜTHER, R. The impact of building-integrated photovoltaics on the energy demand of multi-family dwellings in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 6, p. 629-642, 2007.
- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PBMC. **Relatório de Avaliação Nacional**, Brasília: PMBC, 2013.
- PAUL, A.; PALMER, K.; WOERMAN, M. Modeling a clean energy standard for electricity: Policy design implications for emissions, supply, prices, and regions. **Energy Economics**, v. 36, p. 108-124, 2013.
- PENEREIRO, J. C.; MELO, L. P.; CORADI, T. B. Construção de um aquecedor solar de baixo custo sem cobertura: análise experimental da eficiência térmica para vários ensaios. **Ciência & Tecnologia**, Nova Iguaçu , v.10, n.1, p. 18-34, 2010.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R., ABREU, S. L., RÜTHER, R., **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PEREIRA E. M. D.; SOUZA S. V.; SILVA S. M. Aquecimento solar: panorama da evolução do mercado. In: **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil: Contribuições da Eletrobras Procel e Parceiros**. VASCONCELLOS L. E. M.; LIMBERGER M. A. C. (Orgs). Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012. p. 15-26.

PEREIRA, M. A. S.; SANTOS, C. R. B. Protótipo de um sistema de aquecimento de água para população de baixa renda usando energia solar e elétrica, com reaproveitamento de calor. **ForScience**, v. 3, n. 2, p. 56-72, 2016.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

RAUSCH, S.; MOWERS, M. Distributional and efficiency impacts of clean and renewable energy standards for electricity. **Resource and Energy Economics**, v. 36, n. 2, p. 556-585, 2014.

REBELATTO, Daisy. **Projeto de investimento**. Editora Manole Ltda, 2004.

RISPOLI, I. A. G. **O aquecedor solar brasileiro: teoria e pratica em prol de uma transferencia de tecnologia sustentavel**. 2008. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

RIVERS, N. Renewable energy and unemployment: A general equilibrium analysis. **Resource and Energy Economics**, v. 35, n. 4, p. 467-485, 2013.

RÜTHER, R.; ZILLES, R. Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 3, p. 1027-1030, 2011.

SALAMONI, I.; RUTHER, R.; KNOB, P.; ZOMER, C.; DINIZ, A. S. C. **O Potencial dos sistemas fotovoltaicos integrados à rede edificação e interligados à rede elétrica em centros urbanos do Brasil: Dois estudos de caso**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

SANDÉN, B. A. The economic and institutional rationale of PV subsidies. **Solar energy**, v. 78, n. 2, p. 137-146, 2005.

SCARAMUCCI, J. A. Perin C.; Pulino P.; Bordoni O. F. J. G.; Cunha M. P. Geração distribuída de eletricidade a partir de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil: um modelo computável de equilíbrio geral. In: **Anais do 4º Encontro de Energia no Meio Rural**. Campinas, 2002.

SILVEIRA, J. L.; TUNA, C. E.; LAMAS, W. Q. The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 133-141, 2013.

SIQUEIRA, D. A. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo**. 2009. 125 f. Dissertação de Mestrado( Programa de pós-graduação em Engenharia Química) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

SOLANGI K. H.; ISLAM M. R.; SAIDUR R.; RAHIM N. A.; FAYAZ H. A review on global solar energy policy. **Renewable and sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 2149-2163, 2011.

SOUZA, R. C.; SALVADOR, E.; LOMELINO, M. V. Aquecimento de água para banho no Brasil. In: VASCONCELLOS L. E. M.; LIMBERGER M. A. C. (Orgs). In: **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil: Contribuições da Eletrobras Procel e Parceiros**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012. p. 27-34.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164 p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. C. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta da física**, v. 29, 2006.

VARELLA, F. K. O M. **Tecnologia solar residencial: inserção de aquecedores solares de água no Distrito de Barão Geraldo-Campinas**. 2004. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos) Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

VARELLA, F. K. O. M.; CAVALIERO, C. K. N.; SILVA, E. P. Sistemas fotovoltaicos no Brasil: estimativa do índice de nacionalização. **Revista Brasileira de Energia**, v. 17, n. 2, p. 193-216, 2011.

VIANNA, E. O. **Integração de tecnologia fotovoltaica em edifícios públicos: estudo de caso do Fórum de Palmas-TO**. 2010. 143 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

WOELZ, A. T. Aquecedor solar de baixo custo (ASBC): uma alternativa custo-efetiva. In: **Anais do IV Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.



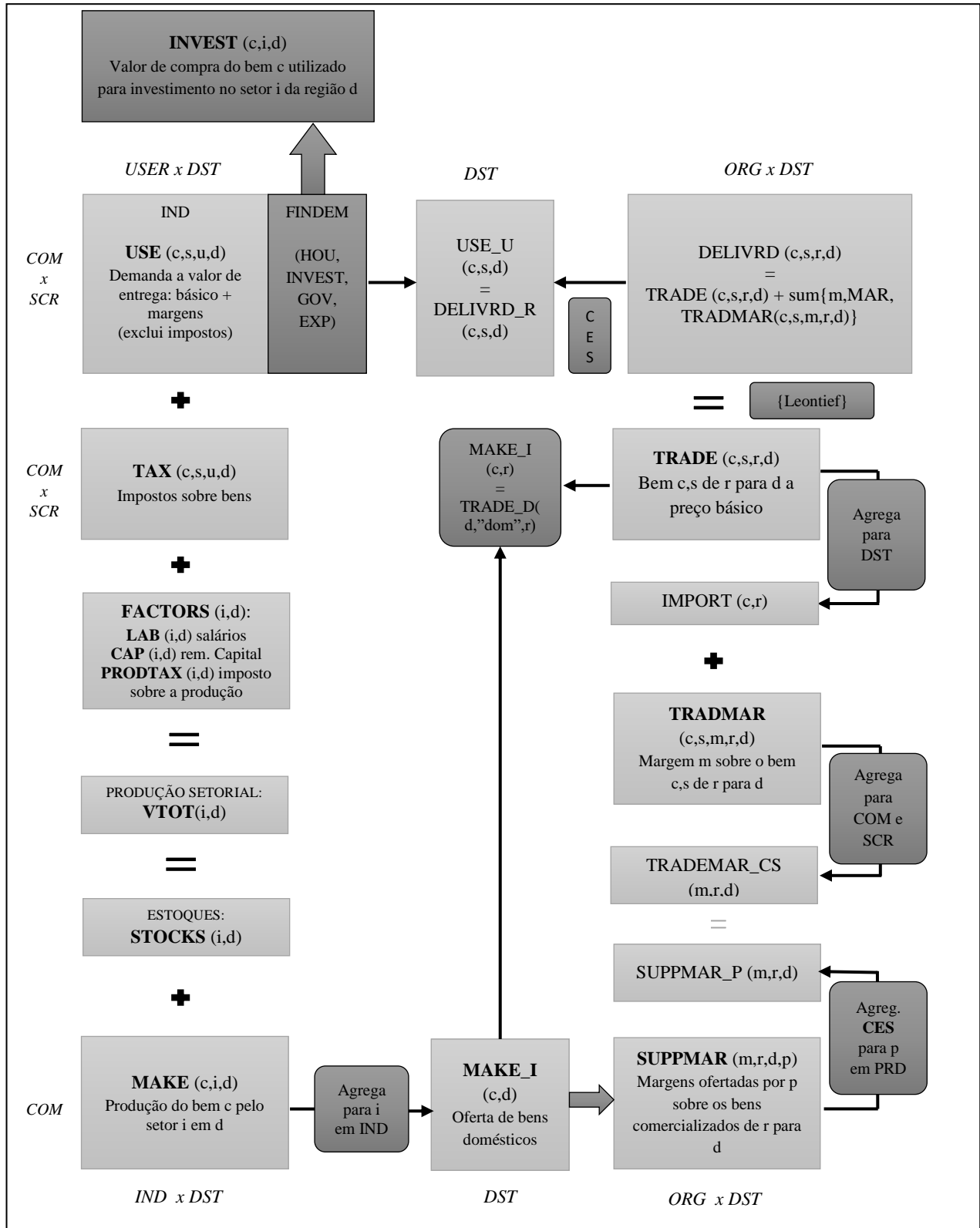
## ANEXO 1 - Estrutura Teórica do Modelo IMAGEM-MG

**TABELA A1: Principais conjuntos do Modelo IMAGEM-MG**

<b>Índice</b>	<b>Conjunto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Dimensão</b>
<b>s</b>	<b>SRC</b>	Origem doméstica ou importada (ROW)	2
<b>c</b>	<b>COM</b>	Bens	36
<b>m</b>	<b>MAR</b>	Margens (comércio e transporte)	4
<b>i</b>	<b>IND</b>	Setores	36
<b>d</b>	<b>DST</b>	Regiões de uso (destino)	2
<b>r</b>	<b>ORG</b>	Regiões de origem	2
<b>p</b>	<b>PRD</b>	Regiões de produção de margens	2
<b>f</b>	<b>FINDEM</b>	Demandantes finais (HOU, INV, GOV, EXP)	4
<b>u</b>	<b>USER</b>	Usuários (IND mais FINDEM)	40

Fonte: Elaboração própria com base no banco de dados do modelo IMAGEM-MG

FIGURA A1: Fluxos do Banco de Dados do Modelo IMAGEM-MG



Fonte: Adaptado de Horridge (2005)

Figura A1 representa o banco de dados de insumo-produto do modelo, em que as dimensões das matrizes, que são definidas por índices (s, c, m, i, d, r, p, f, u), correspondem aos conjuntos da Tabela A1. Os conjuntos DST, ORG e PRD, que representam as regiões de uso, de origem e de produção, respectivamente, são as mesmas: Minas Gerais e Resto do Brasil, porém cada uma com seu significado próprio. As matrizes apresentam os valores dos fluxos de acordo com 3 métodos:

- Valores básicos = preços de produção (para bens produzidos domesticamente), ou preços CIF (importações)
- Valores de entrega = básicos + margens
- Valores de compra = básicos + margens + impostos = entrega + impostos

Dessa forma, torna-se possível capturar o efeito das margens de transporte por fluxo e região de produção das margens.

Conforme observado na Tabela A1, o conjunto USER compreende os setores, IND, e os quatro componentes da demanda final (famílias, HOU, investimento, INV, governo, GOV, e exportações, EXP). A matriz USE representa o valor de entrega (inclui valores de margem de comércio e transporte) da demanda de cada bem (c em COM) de origem doméstica ou importada (s em SRC) para cada região de destino (DST) para cada tipo de uso (conjunto USER). Assim, matriz USE representa as relações de uso dos produtos. Os elementos da matriz USE podem ser lidos de acordo com os seguintes exemplos:

- USE ("Eletricidade, gás e outras utilidades", "dom", "HOU", "MG"): Eletricidade, gás e outras utilidades produzidos domesticamente e consumidos pelas famílias em Minas Gerais;
- USE ("Bebida e fumo", "imp", "HOU", "MG"): bebidas importadas consumidas pelas famílias em Minas Gerais;
- USE ("Bebida e fumo", "dom", "EXP", "RestoBR"): bebidas produzidas domesticamente (nas duas regiões – MG e RestoBR) e exportadas a partir de um porto no Resto do Brasil.

Assim, destaca-se que a matriz USE não possui informação sobre a origem regional dos bens.

- USE (“Couros, artigos para viagem e calçados”, "imp", "EXP", "RestoBR"): artigos de couro importados reexportados a partir de um porto no Resto do Brasil. Ou seja, a estrutura do modelo IMAGEM-MG permite a existência de reexportações.

A matriz TAX representa a receita de impostos para cada bem, apresentando um elemento correspondente a cada elemento da matriz USE. Já a matriz FACTORS representa os custos com a remuneração dos fatores primários. Assim, conforme representado na Figura A1, a soma das matrizes USE, TAX e FACTORS gera o custo de produção de cada setor regional (matriz VTOT).

A matriz MAKE representa o valor de produção de cada bem,  $c$ , por cada setor,  $i$ , em cada região de destino,  $d$ . Como o modelo IMAGEM-MG foi construído com a correspondência bem = setor, a matriz MAKE é quadrada e diagonal em cada região. Adicionando o valor dos estoques (matriz STOCKS), tem-se o total de produção setorial (VTOT). Agregando a matriz MAKE pelos  $i$  setores, tem-se o total da produção de cada bem ( $c$  em COM) em cada região de destino  $d$ , que é representado pela matriz MAKE\_I.

O modelo IMAGEM-MG trata as variações de estoque de forma bastante simplificada, ignorando variações de estoque de importações. Para a produção doméstica, variações de estoque são tomadas como um destino da produção setorial, e o restante da produção vai para a matriz MAKE. Enquanto as matrizes do lado esquerdo do diagrama na Figura A1 representam as matrizes convencionais de insumo-produto regionais, no lado direito, tem-se o mecanismo de oferta regional.

A matriz TRADE mostra o valor do comércio inter-regional por origem ( $r$  em ORG) e destino ( $d$  em DST) para cada bem ( $c$  em COM) doméstico ou importado ( $s$  em SRC). Assim, diagonal dessa matriz ( $r = d$ ) mostra o valor do uso local que é ofertado localmente.

Agregando a parcela de importações de TRADE em regiões de destino (DST), obtém-se a matriz IMPORT, que representa a entrada total de importações em cada porto. Enquanto isso, matriz TRADMAR indica, para cada elemento da matriz TRADE, o valor da margem de cada

bem (m em MAR) que é requerida para facilitar aquele fluxo. Como o subscrito r refere-se à fonte do fluxo básico subjacente, a matriz TRADMAR não assume nenhuma hipótese sobre em que região o fluxo de margem é produzido.

A soma das matrizes TRADE e TRADMAR gera a matriz DELIVRD, que mostra o valor de entrega (básico + margens) de todos os fluxos intra e inter-regionais. Ou seja, esta soma equivale-se à matriz USE\_U, que é a agregação da matriz USE por usuário (u em USER). Já a matriz TRADMAR\_CS é o subtotal de TRADMAR (na soma de c em COM e s em SCR).

Por fim, a matriz SUPPMAR exhibe os locais onde as margens são produzidas (p em PRD). Como não possui subscrito c (COM) e s (SRC), para todo o uso do bem de margem m utilizado na comercialização e no transporte da região r para a região d, a mesma proporção de m é produzida na região p. Agregando SUPPMAR para o subscrito p (em PRD) obtém-se a matriz SUPPMAR\_P, que equivale à matriz TRADMAR\_CS. Ou seja, TRADMAR\_CS também é uma agregação CES de SUPPMAR: margens (para um determinado bem e rota) são fornecidas de acordo com o preço daquela margem nas diversas regiões (p em PRD).

## ANEXO 2 - Equações Comportamentais do IMAGEM-MG

As equações comportamentais subjacentes à teoria do IMAGEM-MG, apresentadas nesta seção, são embasadas nas especificações do modelo ORANIG (Horridge, 2001). A descrição dos principais conjuntos do modelo encontra-se na Tabela A1 (ANEXO 1). As seções 2.1 a 2.14 apresentam as equações em nível, enquanto que o modelo é codificado no GEMPACK como equações linearizadas. As seções 2.1 a 2.10, 2.13 e 2.14, são relativamente padronizadas, aplicadas a qualquer número de modelos na escola ORANI (Dixon et al., 1982).

### 2.1. Escolha dos usuários entre produtos nacionais e importados

A demanda é composta de produtos nacionais e importados utilizados pelos produtores, famílias e investidores na região  $d$ . Cada usuário minimiza custo utilizando uma CES (elasticidade de substituição constante) aninhada. Vários aninhamentos seguem este padrão. Cada aninhamento abrange uma equação de quantidade e uma de preço.

A demanda intermediária dos produtores do setor  $i$ , de origem  $s$  com destino a região  $d$ ,  $XINT(c,s,i,d)$ , é proporcional ao total de bens compostos,  $c$ , demandados pelo setor  $i$  com destino a  $d$ ,  $XINT_{S(c,i,d)}$ , e por um termo de preço elevado às elasticidades de substituição entre produtos nacionais e bens importados do bem  $c$ ,  $SIGMADOMIMP(c)$ . O termo de preço é relativo aos preços de compra do bem  $c$  com destino a  $d$ ,  $PPUR(c,s,i,d)$ , e aos preços médios de compra na origem,  $PPUR_{S(c,i,d)}$ . Mudanças nos preços relativos dos produtos nacionais e importados induzem substituição em favor de bens relativamente mais baratos.

$$\frac{XINT(c,s,i,d)}{XINT_{S(c,i,d)}} = \left[ \frac{PPUR(c,s,i,d)}{PPUR_{S(c,i,d)}} \right]^{-[SIGMADOMIMP(c)]} \quad (1)$$

Os preços médios de compra ao longo de todas as fontes,  $PPUR_{S(c,i,d)}$ , multiplicado pela quantidade composta do bem  $c$  pelo setor  $i$  em  $d$ ,  $XINT_{S(c,i,d)}$ , iguala o valor da soma ao longo das fontes de  $PPUR(c,s,i,d)$  multiplicada por  $XINT(c,s,i,d)$ .

$$PPUR_{S(c,i,d)} * XINT_{S(c,i,d)} = \sum \{s, SRC, PPUR(c,s,i,d) * XINT(c,s,i,d)\} \quad (2)$$

Da mesma forma, a demanda por produtos domésticos e importados das famílias na região  $d$ ,  $XHOU(c,s,d)$ , é proporcional ao total de bens compostos,  $c$ , demandados pelas famílias na região  $d$ ,  $XHOU_{S(c,d)}$ , e ao termo de preço elevado às elasticidades de substituição entre bens domésticos e importados,  $SIGMADOMIMP(c)$ . O termo de preço é o preço relativo de compra do bem  $c$  demandados pelas famílias com origem  $s$  na região de destino  $d$ ,  $PPUR(c,s,"Hou",d)$ , e os preços do bem  $c$  ao consumidor em  $d$  é  $PHOU(c,d)$ .

$$\frac{XHOU(c,s,d)}{XHOU_{S(c,d)}} = \left[ \frac{PPUR(c,s,"Hou",d)}{PHOU(c,d)} \right]^{-SIGMADOMIMP(c)} \quad (3)$$

Analogamente, o termo de preço  $PPUR_{S(c,hou,d)}$  multiplicado pela quantidade composta do bem  $c$  das famílias em  $d$ ,  $XHOU_{S(c,d)}$ , é igual a soma ao longo das fontes de  $PPUR(c,s,"Hou",d)$ , multiplicado por  $XHOU(c,s,d)$ .

$$PPUR_{S(c,hou,d)} * XHOU_{S(c,d)} = \sum \{s, SRC, PPUR(c,s,"Hou",d) * XHOU(c,s,d)\} \quad (4)$$

Na Equação 5, a demanda por produtos domésticos e importados dos investidores na região  $d$ ,  $XINV(c,s,d)$ , é proporcional à demanda composta de bens dos investidores totais,  $XINV_{S(c,d)}$ , e ao preço elevado às elasticidades de substituição entre produtos domésticos e importados do bem  $c$ ,  $SIGMADOMIMP(c)$ . O termo de preço é o preço de compra por origem dos bens de investimento.

$$\frac{XINV(c,s,d)}{XINV_{S(c,d)}} = \left[ \frac{PPUR(c,s,INV,d)}{PINVEST(c,d)} \right]^{-SIGMADOMIMP(c)} \quad (5)$$

O preço agregado do bem  $c$  no setor de  $PPUR_{S(c,"inv",d)}$ , multiplicado pela quantidade de investimento composto,  $XINV_{S(c,d)}$ , é igual à soma das origens de  $PPUR(c,s,"inv",d)$  multiplicado por  $XINV(c,s,"inv",d)$ .

$$PPUR_{S(c,"inv",d)} * XINV_{S(c,d)} = \sum \{s, SRC, PPUR(c,s,"inv",d) * XINV(c,s,d)\} \quad (6)$$

## 2.2. Substituição de trabalho qualificado

Em seguida, considerou-se os tipos de trabalho para minimizar os custos do fator trabalho. Este aninhamento é expresso pelas equações que determinam a demanda por trabalho da indústria  $i$  empregando diferentes ocupações,  $XLAB(i,o,d)$ , e os salários por indústria, ocupação e região,  $PLAB(i,o,d)$ .  $XLAB(i,o,d)$  é proporcional ao insumo trabalho efetivo,  $XLAB_{O(i,d)}$ , e um termo de salário elevado às elasticidades de substituição entre o trabalho em cada indústria  $i$ ,  $SIGMALAB(i)$ . O termo salário é composto de taxas de salário,  $PLAB(i,o,d)$ , em relação ao preço composto do trabalho,  $PLAB_{O(i,d)}$ . Mudanças nos preços relativos dos diferentes tipos de trabalho induzem substituição em favor de ocupações relativamente mais baratas.

$$\frac{XLAB(i,o,d)}{XLAB_{O(i,d)}} = \left[ \frac{PLAB(i,o,d)}{PLAB_{O(i,d)}} \right]^{-SIGMALAB(i)} \quad (7)$$

Obtém-se a solução dos salários a partir da equação salarial, que representa o rendimento composto do trabalho,  $PLAB_{O(i,d)}$ .

$$PLAB_{O(i,d)} * XLAB_{O(i,d)} = \sum \{o, OCC, PLAB(i,o,d) * XLAB(i,o,d)\} \quad (8)$$

## 2.3. Demanda por fatores primários

Após calcular as demandas por trabalho aninhadas, o próximo passo consiste em explicar as demandas por fatores primários baseadas na minimização de custo. Utilizando uma função CES, são combinados trabalho efetivo, capital, custo e terra.  $XLAB_O$  é proporcional à demanda global por fatores primários,  $XPRIM(i,d)$ , e ao termo de preço elevado à elasticidade de substituição dos fatores primários,  $SIGMAPRIM(i)$ . Dividiu-se também a quantidade e multiplicou-se o preço pelo termo de mudança tecnológica no trabalho,  $ALAB_{O(i,d)}$ , para obter a demanda por trabalho efetivo. O termo de preço é composto do preço relativo do trabalho,  $PLAB_{O(i,d)}$ , e pelo preço dos fatores compostos,  $PPRIM(i,d)$ . Mudanças nos termos de preços induzem substituição em favor dos fatores relativamente mais baratos (Equação 9).



$$\frac{XLAB_{O(i,d)}}{[XPRIM(i,d) * ALAB_{O(i,d)}]} = \left[ \frac{[PLAB_{O(i,d)} * ALAB_{O(i,d)}]}{PPRIM(i,d)} \right]^{-SIGMAPRIM(i)} \quad (9)$$

As mesmas equações de otimização se aplicam a demanda por capital (Equação 10) e a demanda por terra (Equação 11).

$$\frac{XCAP(i,d)}{[XPRIM(i,d) * ACAP(i,d)]} = \left[ \frac{[PCAP(i,d) * ACAP(i,d)]}{PPRIM(i,d)} \right]^{-SIGMAPRIM(i)} \quad (10)$$

$$\frac{XLND(i,d)}{[XPRIM(i,d) * ALND(i,d)]} = \left[ \frac{[PLND(i,d) * ALND(i,d)]}{PPRIM(i,d)} \right]^{-SIGMAPRIM(i)} \quad (11)$$

Os preços dos fatores primários são determinados pela soma do valor dos componentes. Isso resolve para o preço dos fatores compostos,  $PPRIM(i,d)$ .

$$\begin{aligned} PPRIM(i,d) * XPRIM(i,d) \\ &= PLAB_{O(i,d)} * XLAB_{O(i,d)} + PCAP(i,d) * XCAP(i,d) + PLND(i,d) \\ &\quad * XLND(i,d) \end{aligned} \quad (12)$$

## 2.4. Demanda por fatores primários agregados e insumos intermediários

O produto é produzido usando uma combinação de insumos primários  $XPRIM(i,d)$  e de bens intermédios  $XINT_{S(c,i,d)}$  com uma tecnologia Leontief (tecnologia de proporções constantes). A demanda da indústria pelos fatores primários agregados é proporcional à produção total e aos termos de mudança tecnológica ( $ATOT(i,d)$  e  $APRIM(i,d)$ ).

$$XPRIM(i,d) = XTOT(i,d) * ATOT(i,d) * APRIM(i,d) \quad (13)$$

A demanda por bens compostos,  $XINT_{S(c,i,d)}$ , também é proporcional à produção total e aos termos tecnológicos, multiplicada pelos preços relativos  $[PPUR_{S(c,I,D)}/PINT(i,d)]$  elevado a um parâmetro CES. São reconhecidos três diferentes termos tecnológicos:  $ATOT(i,d)$ ,  $APRIM(i,d)$ , e  $AINT_{S(c,i,d)}$ . A mudança tecnológica implica mudança no insumo requerido por unidade de produto. Quando estes termos tecnológicos mudam, como quando ocorre uma queda de magnitude, o mesmo nível de produção é produzido utilizando menos fatores primários  $XPRIM(i,d)$  ou intermediários  $XINT_{S(c,i,d)}$ .

$$XINT_{S(c,i,d)} = ATOT(i,d) * AINT_{S(c,i,d)} * XTOT(i,d) * \left[ PPUR_{S(c,I,D)} * \frac{AINT_{S(c,I,D)}}{PINT(i,d)} \right]^{-SIGINT(i,d)} \quad (14)$$

Tem-se que o custo total de produção (Equação 15), na condição de equilíbrio de mercado, se iguala ao produto das receitas totais (valoradas ao preço de produção),  $PCST(i,d)$ , pela quantidade  $XTOT(i,d)$ .

$$\begin{aligned} PCST(i,d) * XTOT(i,d) &= \sum \{c, COM, PPUR_{S(c,i,d)} * XINT_{S(c,i,d)}\} \\ &+ \sum \{o, OCC, PLAB(i,o,d) * XLAB(i,o,d)\} + PCAP(i,d) * XCAP(i,d) \\ &+ PLND(i,d) * XLND(i,d) \end{aligned} \quad (15)$$

## 2.5. Impostos de produção

O modelo IMAGEM-MG possui impostos de produção para os custos setoriais. De acordo com a Equação 16, os impostos diretos da produção,  $PTX(i,d)$ , são calculados com a alíquota  $PTXRATE(i,d)$  multiplicado pelo valor da produção ( $PCST(i,d) * XTOT(i,d)$ ).

$$PTX(i,d) = PtxRATE(i,d) * PCST(i,d) * XTOT(i,d) \quad (16)$$

Assim, os preços do produto da indústria,  $PTOT(i,d)$ , são determinados pela combinação das Equações 15 e 16, conforme Equação 17.

$$PTOT(i,d) * XTOT(i,d) = PCST(i,d)[1 + PTXRATE(i,d)] * XTOT(i,d) \quad (17)$$

## 2.6. A matriz multi-produtos

O modelo considera a possibilidade de que cada setor tenha capacidade multi-produto. A oferta de bens pelos setores,  $XMAKE(c,i,d)$ , é explicada usando uma função de elasticidade de transformação constante (CET). Os  $c$  bens ofertados do setor  $i$  na região  $d$ ,  $XMAKE(c,i,d)$ , são proporcionais a  $XTOT(i,d)$  e ao termo de preço elevado a  $SIGMAOUT(i)$ , multiplicado pelo termo tecnológico,  $AMAKE(c,i,d)$ . Um termo de preço é composto pelo preço base dos bens domésticos em relação ao preço do produto da indústria. Como  $SIGMAOUT(i)$  tem um sinal positivo, este induz indústrias a produzirem mais de um bem quando seu preço aumenta em relação ao preço composto do setor. Esta equação não é efetivamente atuante no IMAGEM-MG, uma vez que cada indústria produz uma única mercadoria, resultando em uma matriz MAKE em que todos os elementos fora de diagonal principal são iguais a zero.

$$XMAKE(c,i,d) = AMAKE(c,i,d) * XTOT(i,d) * \left\{ \left[ \frac{PDOM(c,d)}{PTOT(i,d)} \right]^{SIGMAOUT(i)} \right\} \quad (18)$$

Na Equação 19, o valor do produto de um setor em  $d$  ( $PTOT(i,d)*XTOT(i,d)$ ) é igual à soma do valor dos bens ofertados pelo setor, calculado utilizando os preços domésticos do bem  $c$  em  $d$ ,  $PDOM(c,d)$ .

$$PTOT(i,d) * XTOT(i,d) = \sum \{c, COM, PDOM(c,d) * XMAKE(c,i,d)\} \quad (19)$$

## 2.7. Preços de importação

Como assume-se que a oferta de importações é infinitamente elástica, o preço das importações do bem  $c$  da região de origem  $r$ ,  $PIMP(c,r)$ , é determinado pelos preços estrangeiros de importação,  $PFIMP(c,r)$  multiplicado pela taxa de câmbio nominal  $PHI$  conforme Equação 20.

$$PIMP(c, r) = PFIMP(c, r) * PHI \quad (20)$$

## 2.8. Demanda das famílias

As demandas das famílias são retomadas nessa subseção, conforme discutido na metodologia, elas seguem um LES (também chamado de *Stone-Geary* ou *Klein-Rubin*). O Sistema Linear de Gastos é adequado para amplos agregados de bens onde substituições específicas não são consideradas. Ou seja, as elasticidades de preços-cruzados são iguais ao efeito renda dado na equação de Slutsky sem qualquer contribuição dos efeitos de preço-cruzado [ver Chiang (1974)]. Dessa forma, todos os bens são complementares fracos. Ademais, sistema de gastos não permite a inclusão de bens inferiores. Faria (2009) destaca que o sistema linear de gastos é formalizado nas equações do IMAGEM-MG de demanda das famílias, enquanto no modelo original ORANI ou o modelo que sucedeu o MONASH, os parâmetros de restrições do LES foram impostos em uma equação adicional de demanda geral das famílias.

Define-se os preços dos bens para famílias em  $d$ ,  $PHOU(c, d)$ , como a composição por origem dos preços de compra das famílias,  $PPUR_{S(c,hou,d)}$ .

$$PHOU(c, d) = PPUR_{S(c,hou,d)} \quad (21)$$

Enquanto isso, o nível agregado de gastos de subsistência das famílias,  $WSUBSIST(d)$ , é o produto do número de famílias,  $NHOU(d)$ , e a soma dos preços dos bens,  $PHOU(c, d)$ , multiplicado pela quantidade de famílias que gastam apenas com bens de subsistência,  $XSUBSIST(c, d)$ .

$$WSUBSIST(d) = \sum\{c, COM, PHOU(c, d) * NHOU(d) * XSUBSIST(c, d)\} \quad (22)$$

A demanda total das famílias por bens compostos,  $XHOU\_S(c, d)$  é proporcional à participação marginal no orçamento,  $BEM(c, d)$ , multiplicada pelo gasto de não subsistência ou de luxo, dada por  $[WHOUTOT(d) - WSUBSIST(d)]$ , conforme Equação 23.

$$XHOU_{S(c,d)} * PHOU(c,d) = MBS(c,d) * [WHOUTOT(d) - WSUBSIST(d)] \quad (23)$$

Já a despesa nominal das famílias  $WHOUTOT(d)$  é dada pelo preço correspondente multiplicado pelos termos de gasto real das famílias.

$$WHOUTOT(d) = PHOUTOT(d) * XHOUTOT(d) \quad (24)$$

Por fim, índice de preços ao consumidor,  $PHOUTOT(d)$ , é a soma do produto dos preços ao consumidor,  $PHOU(c,d)$ , e participações no orçamento,  $BUDGSHR(c,d)$ .

$$PHOUTOT(d) = \sum\{c, COM, BUDGSHR(c,d) * PHOU(c,d)\} \quad (25)$$

## 2.9. Demanda por investimento e índices

A equação de criação de novo capital no setor  $i$  é obtida através da tecnologia de Leontief (combinação dos insumos intermediários em proporções fixas). A quantidade do bem  $c$  demandado pelo setor  $i$  na região  $d$ ,  $XINVI(c,i,d)$ , é proporcional ao nível de investimento pelo setor  $i$ ,  $XINVITOT(i,d)$ , multiplicado pelo termo tecnológico,  $AINVI(c,i,d)$ .

$$XINVI(c,i,d) = AINVI(c,i,d) * XINVITOT(i,d) \quad (26)$$

Definiu-se, também, o preço de compra do bem  $c$  para o investimento em  $d$ ,  $PINVEST(c,d)$  como o preço de compra do investidor,  $PPUR_{S(c,"INV",d)}$ .

$$PINVEST(c,d) = PPUR_{S(c,"INV",d)} \quad (27)$$

O índice de preço do investimento do setor  $i$ ,  $PINVITOT(i,d)$ , multiplicado pelo investimento do setor, pode ser calculado como a soma dos investimentos para todos os produtos.

$$PINVITOT(i,d) * XINVITOT(i,d) = \sum\{c, COM, PINVEST(c,d) * XINVI(c,i,d)\} \quad (28)$$

A Equação 29 exhibe a demanda de investimento por compostos domésticos e importados,  $XINV_{S(c,d)}$ , como a soma das demandas de todos os setores por bens de investimento,  $XINVI(c, i, d)$ .

$$XINV_{S(c,d)} = \sum \{i, IND, XINVI(c, i, d)\} \quad (29)$$

## 2.10. Demandas por investimento de setores específicos

Nesta seção, consideram-se as demandas por investimento de setores específicos. A taxa de retorno bruta,  $GRET(i, d)$ , é determinada como a razão entre a rentabilidade do capital (aluguel) e o índice de preço do investimento no setor (preço de novas unidades de capital na abordagem de estática comparativa determinada pelo modelo).

$$GRET(i, d) = \frac{PCAP(i, d)}{PINVITOT(i, d)} \quad (30)$$

A taxa de crescimento bruto de capital,  $GGRO(i, d)$ , por sua vez, é uma razão entre o investimento pelo setor,  $XINVITOT(i, d)$ , e o uso ou estoque de capital,  $XCAP(i, d)$ .

$$GGRO(i, d) = \frac{XINVITOT(i, d)}{XCAP(i, d)} \quad (31)$$

Em que  $GGRO(i, d)$  é determinado pela regra de investimento proposta em Dixon et al. (1982):

$$GGRO(i, d) = FINV1(i, d) * \left[ \frac{GRET(i, d)^2}{INVSLACK} \right]^{0.33} \quad (32)$$

## 2.11. Demanda por exportações, do governo e estoques

Nesta seção, examinaram-se as demandas do governo, exportações e estoques. A demanda do governo é independente de preços e proporcional a termos de deslocamento, que consiste no deslocamento da função de demanda em diferentes dimensões: por  $d$ , termo de deslocamento da

demanda total do governo,  $FGOVTOT(d)$ , por  $c$  e  $d$ , termo de deslocamento da demanda agregada do governo,  $FGOV_{S(c,d)}$ ; e por  $c$ ,  $d$  e  $s$ , termo de deslocamento da demanda do governo,  $FGOV(c, s, d)$ .

$$XGOV(c, s, d) = FGOVTOT(d) * FGOV(c, s, d) * FGOV_{S(c,d)} \quad (33)$$

A demanda por bens de exportação,  $XEXP(c, s, d)$ , é proporcional a uma variável de deslocamento de quantidade exportada,  $FQEXP(c, s)$ , multiplicada pelo termo de preço elevado a elasticidade de demanda por exportação,  $EXP\_ELAST(c)$ . O termo de preço é composto pelos preços de exportação,  $PPUR(c, s, "EXP", d)$ , pela variável de deslocamento do preço de exportação,  $FPEXP(c, s)$ , e pela taxa de câmbio,  $PHI$ .

$$\frac{XEXP(c, s, d)}{FQEXP(c, s)} = \left[ \frac{PPUR(c, s, "EXP", d)}{\left( \frac{FPEXP(c, s)}{PHI} \right)} \right]^{-EXP\_ELAST(c)} \quad (34)$$

A Equação 35 define a demanda por estoques,  $XSTOCKS(i, d)$  como proporcional à produção do setor  $i$ ,  $XTOT(i, d)$  multiplicado pelo termo de deslocamento  $FSTOCKS(i, d)$ .

$$XSTOCKS(i, d) = FSTOCKS(i, d) * XTOT(i, d) \quad (35)$$

## 2.12. Demanda por margens

A presente subseção representa uma especificidade do IMAGEM-MG em relação ao modelo ORANIG, portanto, está embasada em nas equações comportamentais do modelo IMAGEM-B (FARIA, 2009; MAGALHÃES 2009). Primeiramente, somam-se as demandas por região. Pela notação,  $XTRAD_{R(c,s,d)}$ , demanda total pelo bem  $(c, s)$  em  $d$ , é a soma através das origens  $r$  de  $XTRAD(c, s, r, d)$ , variável que fornece o detalhamento da especificação da origem de cada um dos usos: intermediário,  $XINT(c, s, i, d)$ ; famílias,  $XHOU(c, s, d)$ ; investimento,  $XINV(c, s, d)$ ; governo,  $XGOV(c, s, d)$ ; e exportação  $XEXP(c, s, d)$ . O pressuposto de origem comum, independente do uso, permite que se omita a dimensão do usuário de  $XTRAD(c, s, r, d)$ .

Assim, a demanda total pelo composto regional  $(c,s)$  em  $d$ ,  $XTRAD_{R(c,s,d)}$ , é uma soma da demanda de todos os usos.

$$\begin{aligned} XTRAD_{R(c,s,d)} = & \sum\{i, IND, XINT(c, s, i, d)\} + XHOU(c, s, d) + XINV(c, s, d) \\ & + XGOV(c, s, d) + XEXP(c, s, d) \end{aligned} \quad (36)$$

Além disso, a utilização de demandas por margens que facilitam o fluxo de mercadorias provenientes da região de origem  $r$  com destino a  $d$ . Utilizando uma função de Leontief, a demanda por margens  $XTRADMAR(c,s,m,r,d)$  é uma proporção de  $XTRAD(c,s,r,d)$  multiplicado por um termo de mudança tecnológica no uso da margem,  $ATRADMAR(c,s,m,r,d)$ .

$$XTRADMAR(c, s, m, r, d) = ATRADMAR(c, s, m, r, d) * XTRAD(c, s, r, d) \quad (37)$$

O preço de entrega a todos os usuários do bem  $c$ ,  $s$  de  $r$  para  $d$ ,  $PDELIVRD(c,s,r,d)$ , é determinado usando a Equação 38. O lado direito da equação é composto dos preços básicos acrescidos das margens utilizadas.

$$\begin{aligned} PDELIVRD(c, s, r, d) * XTRAD(c, s, r, d) \\ = PBASIC(c, s, r) * XTRAD(c, s, r, d) \\ + \sum\{m, MAR, PSUPPMAR_{P(m,r,d)} * XTRADMAR(c, s, m, r, d)\} \end{aligned} \quad (38)$$

A Equação 39 detalha o preço de entrega do bem regional composto,  $c$ , de origem  $s$ , com destino  $d$ ,  $PUSE(c,s,d)$ . Para cada bem e região de destino, o usuário escolhe um recurso regional baseado nos preços de entrega,  $PDELIVRD(c,s,r,d)$  e no valor  $[PDELIVRD(c,s,r,d)*XTRAD(c,s,r,d)]$ . O valor de entrega  $[PUSE(c,s,d)*XTRAD_{R(c,s,d)}]$  é igual à soma através das origens do valor dos bens entregues.

$$PUSE(c, s, d) * XTRAD_{R(c,s,d)} = \sum\{r, ORG, PDELIVRD(c, s, r, d) * XTRAD(c, s, r, d)\} \quad (39)$$



Determinou-se, também, a demanda do bem  $c$ , doméstico e importado, da região de origem  $r$  para a de destino  $d$ ,  $XTRAD(c, s, r, d)$  através da multiplicação de  $XTRAD_{R(c, s, d)}$  pela participação no comércio,  $STRAD(c, s, r, d)$ , e pelo termo de preço relativo  $[PDELIVRD(c, s, r, d)/PUSE(c, s, d)]$  elevado ao parâmetro CES,  $SIGMADOMDOM(c)$ , elasticidade de substituição entre origens.

$$\begin{aligned}
 XTRAD(c, s, r, d) &= STRAD(c, s, r, d) * XTRAD_{R(c, s, d)} \\
 &\quad * \left[ \frac{PDELIVRD(c, s, r, d)}{PUSE(c, s, d)} \right]^{-SIGMADOMDOM(c)}
 \end{aligned} \tag{40}$$

### 2.13 Fontes regionais

A demanda pela margem  $m$ , produzida em  $p$  nos bens de  $r$  para  $d$ ,  $XSUPPMAR_{P(m, r, d)}$ , é a soma para todos os produtos e fontes de margens  $m$  do bem  $c$ , fonte  $s$  da região  $r$  para  $d$ ,  $XTRADMAR(c, s, m, r, d)$ .

$$XSUPPMAR_{P(m, r, d)} = \sum \{c, COM, \sum [s, SRC, XTRADMAR(c, s, m, r, d)]\} \tag{41}$$

O produto de  $XSUPPMAR_{P(m, r, d)}$  pelo o preço da margem composta,  $m$ , dos bens  $r$  para  $d$ ,  $PSUPPMAR_{P(m, r, d)}$ , equivale à soma de todos os fornecedores  $p$  das margens  $XSUPPMAR(m, r, d, p)$  multiplicada pelo seu preço,  $PDOM(m, p)$ .

$$\begin{aligned}
 XSUPPMAR_{P(m, r, d)} * PSUPPMAR_{P(m, r, d)} &= \sum \{p, PRD, XSUPPMAR(m, r, d, p) * PDOM(m, p)\}
 \end{aligned} \tag{42}$$

Conforme Equação 43,  $XSUPPMAR(m, r, d, p)$  é proporcional a  $XSUPPMAR_{P(m, r, d)}$  multiplicado pelo termo correspondente ao preço, que é a razão entre  $PDOM(m, p)$  e

$PSUPPMAR_{P(m,r,d)}$  elevada a elasticidade de substituição entre as origens da margem  $m$ ,  $SIGMAMAR(m)$ .

$$XSUPPMAR(m, r, d, p) = XSUPPMAR_{P(m,r,d)} * \left[ \frac{PDOM(m, p)}{PSUPPMAR_{P(m,r,d)}} \right]^{-SIGMAMAR(m)} \quad (43)$$

Assim, torna-se possível determinar  $XSUPPMAR_{D(m,r,p)}$  e  $XSUPPMAR_{RD(m,p)}$  por meio de  $XSUPPMAR(m, r, d, p)$  somada sobre o destino e a origem, respectivamente.

$$XSUPPMAR_{D(m,r,p)} = \sum \{d, DST, XSUPPMAR(m, r, d, p)\} \quad (44)$$

$$XSUPPMAR_{RD(m,p)} = \sum \{r, ORG, XSUPPMAR_{D(m,r,p)}\} \quad (45)$$

## 2.14. Equações de demanda e oferta

A demanda total pelo bem  $(c,s)$  consumido em  $r$  é igual à demanda total de  $(c,s)$  em  $r$  de todas as origens,  $d$ .

$$TOTDEM(c, s, r) = \sum \{d, DST, XTRAD(c, s, r, d)\} \quad (46)$$

Especificamente para fontes domésticas, esta demanda,  $TOTDEM(c, "dom", r)$ , é igual à oferta de bens não-margens,  $XCOM(c, r)$ .

$$XCOM(c, r) = TOTDEM(c, "dom", r) \quad (47)$$

As margens de serviços,  $XCOM(m,p)$ , são compostas pelas demandas diretas por bens produzidos domesticamente em  $p$ ,  $TOTDEM(m, "dom", p)$ , acrescidas da demanda por margens produzidas em  $p$ ,  $XSUPPMAR_{RD(m,p)}$ .

$$XCOM(m, p) = TOTDEM(m, "dom", p) + XSUPPMAR_{RD(m,p)} \quad (48)$$

A equação de preços mostra que  $PBASIC(c, "dom", r)$  e  $PDOM(c, r)$  são idênticos:

$$PBASIC(c, "dom", r) = PDOM(c, r) \quad (49)$$

Para importações,  $PBASIC(c, "imp", r)$  é igual a  $PIMP(c, r)$ .

$$PBASIC(c, "imp", r) = PIMP(c, r) \quad (50)$$

Então,  $PPUR(c, s, u, d)$  é calculado através do produto de  $PUSE(c, s, d)$  pelo “poder” dos impostos sobre produtos,  $TUSER(c, s, u, d)$ .

$$PPUR(c, s, u, d) = PUSE(c, s, d) * TUSER(c, s, u, d) \quad (51)$$

Por fim, tem-se que a receita com imposto sobre produtos em  $d$ ,  $COMTAXREV(d)$ , é obtida a partir do valor total dos bens utilizados multiplicado pela taxa de imposto do produto, sendo que esta taxa é definida como  $TAX(c, s, u, d)/USE(c, s, u, d)$  ou  $[TUSER(c, s, i, d) - 1]$ , conforme Equação 52.

$$\begin{aligned} COMTAXREV(d) &= \sum\{c, COM, \sum\{s, SRC, \sum\{i, IND, [TUSER(c, s, i, d) - 1] * PUSE(c, s, d) \\ &\quad * XINT(c, s, i, d)\} + [TUSER(c, s, "hou", d) - 1] * PUSE(c, s, d) \\ &\quad * XHOU(c, s, d) + [TUSER(c, s, "gov", d) - 1] * PUSE(c, s, d) \\ &\quad * XGOV(c, s, d) + [TUSER(c, s, "inv", d) - 1] * PUSE(c, s, d) \\ &\quad * XINV(c, s, d) + [TUSER(c, s, "exp", d) - 1] * PUSE(c, s, d) \\ &\quad * XEXP(c, s, d)\}\} \end{aligned} \quad (52)$$

### ANEXO 3 - Consumo por Família

**Tabela A1: Representatividade do bem no Consumo por família de cada classe de rendimento**

Nº	Setor	HOU01	HOU02	HOU03	HOU04	HOU05	HOU06	HOU07	HOU08	HOU09	HOU10
1	Agricultura	0,0554	0,0457	0,0341	0,0281	0,0247	0,0194	0,0161	0,0104	0,0315	0,0060
2	Pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	0,0282	0,0236	0,0172	0,0128	0,0081	0,0070	0,0030	0,0036	0,0021	0,0023
3	Indústrias extrativas	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	Fabricação de produtos alimentícios	0,2822	0,2224	0,1893	0,1512	0,1198	0,0908	0,0648	0,0534	0,0635	0,0322
5	Bebida e fumo	0,0365	0,0423	0,0392	0,0397	0,0344	0,0222	0,0130	0,0086	0,0157	0,0042
6	Fabricação de produtos têxteis	0,0705	0,0733	0,0692	0,0672	0,0652	0,0650	0,0509	0,0880	0,0293	0,0076
7	Couros, artigos para viagem e calçados	0,0231	0,0266	0,0256	0,0236	0,0222	0,0178	0,0181	0,0105	0,0063	0,0055
8	Fabricação de produtos de madeira	0,0004	0,0005	0,0019	0,0003	0,0012	0,0006	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000
9	Fabricação de celulose	0,0158	0,0105	0,0088	0,0067	0,0047	0,0048	0,0039	0,0028	0,0053	0,0004
10	Fabricação de coque, Petróleo e de biocombustíveis	0,0109	0,0147	0,0161	0,0180	0,0184	0,0165	0,0199	0,0107	0,0122	0,0053
11	Fabricação de produtos químicos e farmacêuticos	0,0743	0,0761	0,0705	0,0642	0,0482	0,0438	0,0317	0,0295	0,0185	0,0247
12	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,0021	0,0040	0,0073	0,0081	0,0088	0,0091	0,0071	0,0083	0,0033	0,0006
13	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,0009	0,0011	0,0012	0,0014	0,0017	0,0038	0,0011	0,0061	0,0095	0,0001
14	Metalurgia	0,0136	0,0088	0,0098	0,0078	0,0060	0,0070	0,0034	0,0073	0,0086	0,0002
15	Fabricação de máquinas e equipamentos	0,0435	0,0401	0,0396	0,0361	0,0335	0,0256	0,0248	0,0288	0,0357	0,0173
16	Fabricação de veículos automotores	0,0275	0,0399	0,0563	0,0863	0,1164	0,1337	0,0942	0,0648	0,0116	0,2778
17	Fabricação de móveis	0,0366	0,0355	0,0403	0,0383	0,0351	0,0368	0,0353	0,0445	0,0745	0,0042
18	Manutenção de máquinas e equipamentos	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19	Eletricidade, gás e outras utilidades	0,0351	0,0337	0,0281	0,0264	0,0211	0,0172	0,0141	0,0107	0,0099	0,0051
20	Captação, tratamento e distribuição de água	0,0177	0,0169	0,0141	0,0119	0,0099	0,0058	0,0040	0,0047	0,0001	0,0060
21	Construção de edifícios	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22	Comércio e reparação de veículos automotores	0,0017	0,0019	0,0026	0,0030	0,0028	0,0043	0,0024	0,0016	0,0043	0,0004
23	Comércio atacado e varejista	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0001
24	Transportes	0,0468	0,0495	0,0494	0,0377	0,0331	0,0305	0,0350	0,0213	0,0199	0,0237
25	Correio e outras atividades de entrega	0,0004	0,0006	0,0007	0,0004	0,0007	0,0005	0,0008	0,0000	0,0020	0,0000
26	Alojamento	0,0007	0,0013	0,0020	0,0028	0,0057	0,0056	0,0218	0,0196	0,0200	0,0184

<b>Nº</b>	<b>Setor</b>	<b>HOU01</b>	<b>HOU02</b>	<b>HOU03</b>	<b>HOU04</b>	<b>HOU05</b>	<b>HOU06</b>	<b>HOU07</b>	<b>HOU08</b>	<b>HOU09</b>	<b>HOU10</b>
<b>27</b>	Alimentação	0,0531	0,0652	0,0618	0,0672	0,0630	0,0678	0,0759	0,0425	0,0587	0,0552
<b>28</b>	Informação e comunicação	0,0270	0,0428	0,0509	0,0605	0,0628	0,0557	0,0645	0,0417	0,0722	0,0348
<b>29</b>	Atividades financeiras e seguros	0,0128	0,0318	0,0433	0,0699	0,0959	0,1138	0,1372	0,1520	0,2069	0,2456
<b>30</b>	Atividades imobiliárias	0,0223	0,0184	0,0275	0,0183	0,0278	0,0269	0,0378	0,1123	0,1166	0,0486
<b>31</b>	Atividades profissionais, científicas e técnicas.	0,0003	0,0030	0,0041	0,0063	0,0074	0,0073	0,0107	0,0092	0,0005	0,0000
<b>32</b>	Atividades administrativas	0,0034	0,0043	0,0057	0,0068	0,0122	0,0362	0,0445	0,0307	0,0269	0,0033
<b>33</b>	Administração pública	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>34</b>	Educação	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>35</b>	Saúde	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
<b>36</b>	Artes, cultura, esporte e recreação	0,0570	0,0655	0,0835	0,0990	0,1092	0,1243	0,1631	0,1762	0,1339	0,1705

Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados da POF (2013)