

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Diego Lilargem Rocha

PROJEÇÃO DA DEMANDA POR PLACAS FOTOVOLTAICAS
RESIDENCIAIS NO BRASIL 2010-2040: DEMOGRAFIA E CONSUMO
DE ENERGIA ELÉTRICA

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ
Abril de 2019

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Diego Lilargem Rocha

PROJEÇÃO DA DEMANDA POR PLACAS FOTOVOLTAICAS
RESIDENCIAIS NO BRASIL 2010-2040: DEMOGRAFIA E CONSUMO
DE ENERGIA ELÉTRICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Candido Mendes – Campos/RJ, como parte das exigências para obtenção para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. João José de Assis Rangel, D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ
Abril de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca da **UCAM – CAMPOS** 012/2019

Rocha, Diego Lilargem.

Projeção da demanda por placas fotovoltaicas residenciais no Brasil 2010 – 2040 : demografia e consumo de energia elétrica. / Diego Lilargem Rocha. – 2019.
62 f.

Orientador: João José de Assis Rangel.

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Candido Mendes – Campos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.
Referências: f. 57-62.

1. Energia elétrica. 2. Energia fotovoltaica. I. Universidade Candido Mendes – Campos. II. Título.

CDU – 621.3:697.329

Bibliotecária Responsável: Flávia Mastrogiramo CRB 7ª-6723

PROJEÇÃO DA DEMANDA POR PLACAS FOTOVOLTAICAS RESIDENCIAIS NO BRASIL 2010-2040: DEMOGRAFIA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Diego Lilargem Rocha

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Candido Mendes – Campos/RJ, como parte das exigências para obtenção para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovado em 05/04/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. João José de Assis Rangel, D.Sc. - Orientador
Universidade Candido Mendes (UCAM)

Prof. Gustavo Henrique Naves Givisiez, D.Sc.
Universidade Candido Mendes (UCAM)

Prof. Elzira Lúcia Oliveira, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense (UFF)

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Abril de 2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho para os próximos alunos de cursos de Mestrado que utilizem esse trabalho como referência.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a Deus, minha fonte de inspiração e fé. A minha família e amigos que sempre estiveram comigo e me apoiaram. E ao meu orientador João José de Assis Rangel pelos ensinamentos e auxílio durante essa caminhada.

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo avaliar a desigualdade do consumo de energia elétrica no Brasil e projetar o número de residências com placas fotovoltaicas. Para tal, utilizou-se um conjunto de técnicas e métodos comuns à demografia, economia e estatística. Dentre eles, o coeficiente de Gini foi aplicado para calcular a desigualdade do consumo de energia por domicílio no Brasil e em grandes regiões; e um conjunto de técnicas da demografia aplicada foi utilizado para projetar as residências com energia fotovoltaica até 2040, no país. Para calcular o coeficiente de Gini usou-se os dados do consumo de energia elétrica das famílias brasileiras, fornecida pela Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Já o número de residências foi baseado na quantidade de domicílios que instalaram painéis FV entre 2010 e 2018, e a partir disso foi projetado a taxa de crescimento anual em três cenários: um otimista, um básico e um conservador. Os resultados da aplicação do coeficiente de Gini demonstraram as desigualdades do consumo de energia elétrica dentro do país e em cada região separada. Os valores de Gini para energia elétrica estabelecem informações a respeito de um local, quando comparados ao Gini de renda, ao Produto Interno Bruto (PIB) per capita e ao consumo de eletricidade total da região. Nas análises do país como um todo, os resultados demonstraram ainda que 20% dos domicílios brasileiros mais ricos são responsáveis por 48,2% do consumo de energia. Por outro lado, 20% dos domicílios mais pobres juntos consomem menos de 5% da energia elétrica distribuída no Brasil. Os resultados da projeção demonstraram o elevado potencial de geração de energia solar futura no país. Se confirmadas as hipóteses da projeção, o número de domicílios com conexões FV pode atingir 20 milhões até 2040, considerando o cenário básico de projeção. O número de geradores continuaria crescendo no país, até chegar em um momento que pode se estabilizar. O Brasil pode chegar a uma capacidade de geração de até 100GW, considerando apenas o setor residencial. Toda essa energia inserida na rede elétrica brasileira pode reduzir a demanda por energia que necessitaria ser gerada de forma que agride o meio ambiente.

Palavras-chave: Consumo de energia. Gini. Renda. Fotovoltaica. Residências.

ABSTRACT

This dissertation aims to project the number of residences with photovoltaic panels and to evaluate the inequality of electric energy consumption in Brazil. For this, a set of techniques and methods common to demography, economics and statistics was used. Among them, the Gini coefficient was applied to calculate the inequality of energy consumption per household in Brazil and in large regions; and a set of applied demography techniques was used to design homes that can make use of photovoltaic energy by 2040 in the country. In order to calculate the Gini coefficient, the data of the Brazilian families' electricity consumption, provided by the Household Budgets Survey (POF) by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), was used. The number of residences was based on the number of homes that installed FV panels between 2010 and 2018, and from this the annual growth rate was projected in three scenarios: an optimist, a baseline and a conservative. The results of the application of the Gini coefficient showed the inequalities of electric energy consumption within the country and in each separate region. The Gini values for electric energy establish information about a place, when compared to income Gini, to the Gross Domestic Product (GDP) per capita and to the total electricity consumption of the region. In the analysis of the country as a whole, the results also showed that 20% of the richest Brazilian households are responsible for 48.2% of the energy consumption. On the other hand, 20% of the poorest households together consume less than 5% of the electricity distributed in Brazil. The results of the linear regression projection showed the high potential for future solar energy generation in the country. If the hypotheses of the projection are confirmed, the number of households with PV connections can reach 20 million by 2040, considering an average of the projection scenarios. The number of generators would continue growing in the country, until arriving at a moment that can stabilize. Brazil can reach a generation capacity of up to 100GW, considering only the residential sector. All this energy inserted in the Brazilian electricity grid can reduce the demand for energy that would need to be generated in a way that harms the environment.

Keywords: Energy consumption. Gini. Income. Photovoltaic. Residences.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de Venn dos artigos identificados.....	16
Figura 2: Número de artigos entre 2000 e 2019 usando como palavras chave: “energy” e “gini coefficient”	17
Figura 3: Números de artigos dos principais periódicos usando como palavras chave: “energy” e “gini coefficient”	18
Figura 4: Número de artigos por publicações por país usando como palavras chave: “energy” e “gini coefficient”	19
Figura 5: Número de publicações por área de conhecimento usando como palavras chave: “energy” e “gini coefficient”	19
Figura 6: Diagrama de Venn dos artigos identificados.....	20
Figura 7: Número de artigos entre 2000 e 2019 usando como palavras chave: “growth” “solar energy” e “households”	21
Figura 8: Número de artigos por publicações por país usando como palavras chave: “growth” “solar energy” e “households”	21
Figura 9: Números de artigos dos principais periódicos usando como palavras chave: “growth” “solar energy” e “households”	22
Figura 10 Número de publicações por área de conhecimento usando como palavras chave: “growth” “solar energy” e “households”.....	22
Figura 11 - Curva de Lorenz.	32
Figura 12: Crescimento do número de domicílios no Brasil entre 2010 e 2040.....	34
Figura 13: Número de casas e apartamentos no Brasil entre 2010 e 2040.	35
Figura 14: Crescimento residencial por classe de renda entre 2010 e 2040.	37
Figura 15: Organograma dos métodos utilizados. Fonte: Elaborado pelo autor.....	40
Figura 16: Curvas de Lorenz para eletricidade em residências no Brasil e regiões...	41
Figura 17 - Consumo Residencial de eletricidade das regiões do Brasil em 2009. ...	43
Figura 18 - Consumo de energia elétrica por domicílios no Brasil.	46
Figura 19 - Percentual de consumo de energia por decil do percentual de residências. Coluna da esquerda: porcentagem de cada decil separado. Coluna da direita: porcentagem de decil acumulados.	48
Figura 20: Projeção de residências com painel solar FV até 2040.	49
Figura 21: Percentual de investimento familiar em geradores FV até 2040.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais países geradores de energia elétrica solar FV.....	29
Tabela 2: Países com maior irradiação solar.....	30
Tabela 3: Percentual de moradias no Brasil em 2010.....	34
Tabela 4: Proporção de casas e apartamentos construídos no Brasil no período de 2015, 2020, 2025, 2030, 2035 e 2040.	35
Tabela 5: Número acumulado de residências com painel solar no Brasil de 2010 até 2018.	38
Tabela 6: Relação do Gini de Energia 2009, Gini de Renda 2009 e Gini de Energia antigo para as diferentes regiões geográficas do Brasil.	42
Tabela 7: Relação entre o Gini de energia, consumo per capita and PIB per capita das regiões do Brasil.....	44
Tabela 8: Relação do consumo de energia elétrica por cada parcela dos domicílios do Brasil.....	46

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1:Fórmula do Coeficiente de Gini.....	33
Equação 2: Função do valor observado de acordo com os valores mínimo e máximo.	38
Equação 3: Função do valor padrão de acordo.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CO₂ – Dióxido de Carbono

DF – Distrito Federal

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FV - Fotovoltaica

GD – Geração Distribuída

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MCMV – Minha Casa Minha Vida

PIB – Produto Interno Bruto

POF – Pesquisa de Orçamentos Familiares

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivos Específicos	13
1.2	QUESTÕES DE PESQUISA	13
1.3	MÉTODO DE PESQUISA DE TRABALHO	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	REVISÃO BIBLIOMÉTRICA	16
2.2	POBREZA ENERGÉTICA E COEFICIENTE DE GINI	22
2.3	MÉTODOS DEMOGRÁFICOS APLICADOS À DEMANDA POR PLACAS FOTOVOLTAICAS EM RESIDÊNCIAS	26
2.4	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E PRODUTO INTERNO BRUTO	27
2.5	GERAÇÃO E INCIDÊNCIA DE ENERGIA SOLAR	28
3	METODOLOGIA	31
3.1	ANÁLISE DESCRITIVA DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO COEFICIENTE DE GINI	31
3.2	MÉTODO PARA PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DE RESIDÊNCIAS COM PAINÉIS FV	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	DESIGUALDADE DE CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL E REGIÕES	41
4.2	CONSUMO DE ENERGIA POR PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO	45
4.3	PROJEÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA DE PLACAS FV	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5.1	CONCLUSÕES	52
5.2	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	54
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
5.4	PRODUÇÕES ORIGINADAS NESTE TRABALHO	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica residencial constitui uma parcela significativa do uso total de energia em um país. Muitos estudos e pesquisas visam mensurar e projetar o fornecimento de energia elétrica utilizada em residências a partir de modelos matemáticos (SOKOLOVA, 2019). Dentre eles, métodos demográficos são muitas vezes aplicados em questões energéticas (MCCAFFERY et al., 2014). A relação entre as duas áreas não ocorre por acaso. Algumas características observadas em demografia também são utilizadas para informar aspectos a respeito de consumo de energia elétrica, como: renda, tamanho da residência, número de pessoas na habitação, localização geográfica, dentre outros. (ZHANG et al., 2017). Portanto, é possível adaptar métodos usualmente utilizados pela economia, estatística e demografia para analisar, mensurar ou projetar dados relacionados ao consumo e a geração de energia elétrica.

Nesta dissertação, foram utilizados dois métodos diferentes: para avaliar a desigualdade do consumo de energia elétrica residencial do Brasil usou-se o Coeficiente de Gini. Este é um método estatístico que demonstra o quão distribuído está alguma variável em um determinado território. Atribuiu valores de Gini para o país e suas regiões. Após isso, o trabalho estima a capacidade de geração de energia por placas fotovoltaicas (FV), instaladas nos domicílios brasileiros, a partir de uma curva logística utilizando valores observados e os projetando para os próximos anos.

As duas metodologias se complementam, uma vez que, conhecendo as diferenças no consumo de energia pela população, a capacidade de geração futura por uma fonte de energia limpa e em expansão, poderia solucionar o consumo desigual de energia no país.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação é avaliar a desigualdade do consumo de energia elétrica no Brasil e projetar o número de residências com placas FV no país até 2040.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1. Mensurar a desigualdade do consumo de energia elétrica no país e nas cinco regiões geográficas,
2. Analisar as diferenças de consumo energético entre as habitações de maior renda para as de menor renda,
3. Projetar a potência gerada pela fonte solar FV em três cenários distintos: conservador, básico e otimista.

1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

- a) Qual região do Brasil tem maior diferença no consumo de energia elétrica entre a população?
- b) Que tipos de políticas públicas foram adotados para reduzir a desigualdade nos últimos anos?
- c) Qual poderá ser o número máximo de residências com painel solar no Brasil nos próximos 20 anos? E a potência gerada?
- d) Qual parcela do PIB nacional pode ser utilizada em investimento em placas FV nas residências?

1.3 MÉTODO DE PESQUISA DE TRABALHO

Um trabalho científico consiste na comunicação de uma pesquisa realizada ao público em geral, de padrões específicos que visem a fácil compreensão dos resultados. As metodologias utilizadas nos trabalhos científicos podem ser divididas quanto à natureza da pesquisa, a abordagem do problema e quanto aos pontos de vistas do objetivo.

Em relação à natureza da pesquisa, esta pode ser dividida em básica e aplicada. A pesquisa básica objetiva gerar conhecimentos novos para avanço da ciência sem aplicação prática prevista. Enquanto a pesquisa aplicada busca gerar conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas específicos.

A forma de abordagem do problema se classifica em quantitativa e qualitativa. A pesquisa quantitativa considera que tudo é quantificável, o que significa traduzir

opiniões e números em informações as quais serão classificadas e analisadas. Já a pesquisa qualitativa considera que existe uma relação entre o mundo e o sujeito que não pode ser traduzida em números; a pesquisa é descritiva, o pesquisador tende a analisar seus dados indutivamente.

Quanto ao objetivo a pesquisa pode ser exploratória, descritiva e explicativa. A exploratória objetiva gerar novas hipóteses para pesquisas posteriores. A pesquisa descritiva objetiva descrever as características de certa população ou fenômeno, ou estabelecer relações entre variáveis. Envolve técnicas de coleta de dados padronizadas (questionário, observação). A pesquisa explicativa objetiva identificar os fatores que determinam fenômenos, explica o porquê das coisas. Esta normalmente assume em geral a forma de pesquisa experimental.

Diante das metodologias apresentadas, pode-se classificar este trabalho como uma pesquisa com natureza aplicada, abordagem quantitativa e descritiva. Os dois métodos utilizados podem ser entendidos como descritivos, pois fazem descrições do comportamento passado para extrapolar para o futuro. Os métodos utilizados são estatísticas descritivas da distribuição do consumo de energia. Descrevendo o comportamento passado e projetando para os próximos anos a partir de modelos matemáticos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo está a introdução do trabalho e segundo capítulo apresenta a revisão da literatura a respeito do tema apresentando os principais trabalhos que utilizaram os mesmos métodos utilizados nesta dissertação. Além disso, também apresenta a importante relação entre consumo de energia e renda, e tabelas referentes geração e irradiação solar.

O terceiro capítulo é constituído pela metodologia da pesquisa. Neste capítulo são apresentados os principais métodos utilizados: o Coeficiente de Gini e a projeção demográfica. É apresentada a base de dados, o software utilizado, fórmula e o passo-a-passo que levou a construção da curva de Lorenz e a obtenção do Coeficiente Gini. Assim como a base de dados, as extrapolações matemáticas e as fórmulas do método de projeção da demanda por placas fotovoltaicas.

O quarto capítulo apresenta os resultados das duas análises. Os resultados são apresentados em forma de figuras e tabelas, de forma a facilitar a compreensão da informação que se deseja transmitir.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as considerações finais, abordando as conclusões a respeito dos resultados. Ele apresenta as limitações e as sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Estudos abrangendo métodos demográficos em conjunto com o setor energético são recentes. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo bibliométrico, a partir do modelo proposto por Jesus e Costa (2015). É apresentado um diagrama de Venn, na Figura 1, com as palavras chave utilizadas para a pesquisa dos artigos, assim como a quantidade de trabalhos encontrados. O total de trabalhos encontrados são demonstrados nessa seção a partir do ano de publicação, os periódicos que mais publicam sobre o tema em questão, os países onde este é discutido e as áreas de conhecimento mais aderentes ao assunto.

Para pesquisa de artigos em periódicos, foi utilizado a base SCOPUS, pois esta é considerada referência, uma vez que possui um grande volume de trabalhos científicos indexados. Assim, esta possibilita observar a quantidade de trabalhos publicados em cada ano. Como a presente dissertação fez uso de duas abordagens metodológicas distintas, optou-se por fazer duas pesquisas, uma para cada um dos dois métodos aplicados.

As palavras chaves de busca utilizadas na primeira pesquisa foram "*energy*" e "*Gini coefficient*", resultando em 107 trabalhos científicos, como pode ser observado no diagrama de Venn, representado na Figura 1.

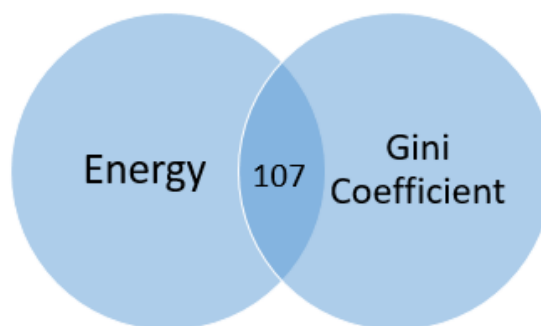


Figura 1: Diagrama de Venn dos artigos identificados
Fonte: Elaboração própria com os dados da Base Scopus

Observa-se que a utilização do método do Coeficiente de Gini com o setor energético gerou uma quantidade considerável de artigos, entretanto, observa-se na Figura 2 que a maioria desses artigos são publicações recentes.

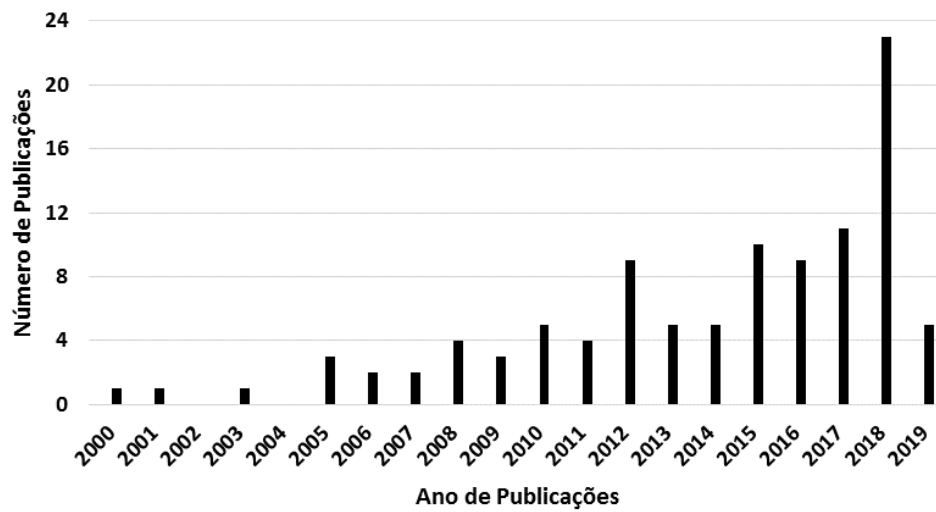


Figura 2: Número de artigos entre 2000 e 2019 usando como palavras chave: “energy” e “gini coefficient”

Fonte: Elaboração própria com os dados da Base Scopus.

É demonstrado, na Figura 2, que a discussão do tema vem aumentando em número de publicações nos anos mais recentes. Esse comportamento já é esperado, devido a ampla discussão do tema de fontes energéticas sustentáveis atualmente.

Já a Figura 3 representa os periódicos que mais publicaram artigos acadêmicos relacionados a este tema. Dos 107 trabalhos encontrados, seguem listadas as revistas com maior número de publicações:

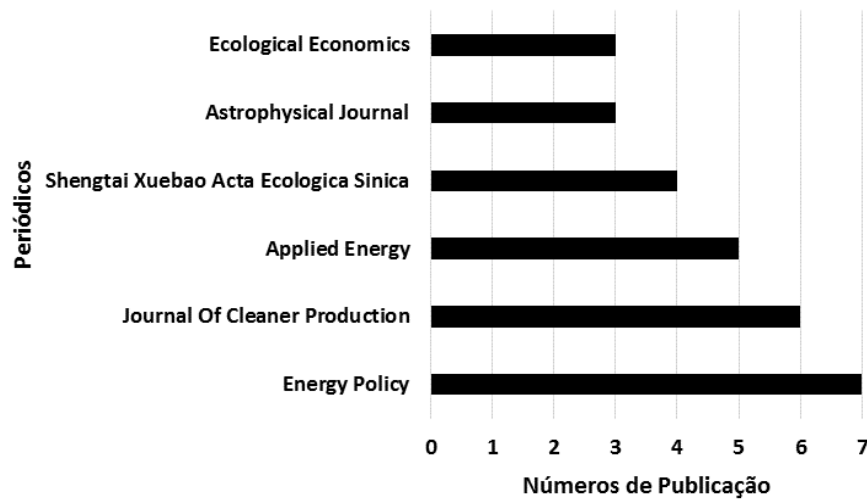


Figura 3: Números de artigos dos principais periódicos usando como palavras chave: “energy” e “gini coefficient”

Fonte: Elaboração própria com os dados da Base Scopus.

Dentro deste amplo espectro, os tópicos de particular interesse incluem a regulação energética e ambiental, a segurança do abastecimento de energia, a qualidade e a eficiência dos serviços energéticos, a eficácia de abordagens baseadas no mercado e intervenções governamentais, inovação e difusão tecnológica e iniciativas voluntárias, nas quais as implicações de políticas mais amplas podem ser reconhecidas.

A Figura 4 destaca os 10 países com mais publicações. A China é destaque com 58 publicações, quase metade do total encontrado, demonstrando o quanto esse país vem investindo em pesquisa científica na área de energia.

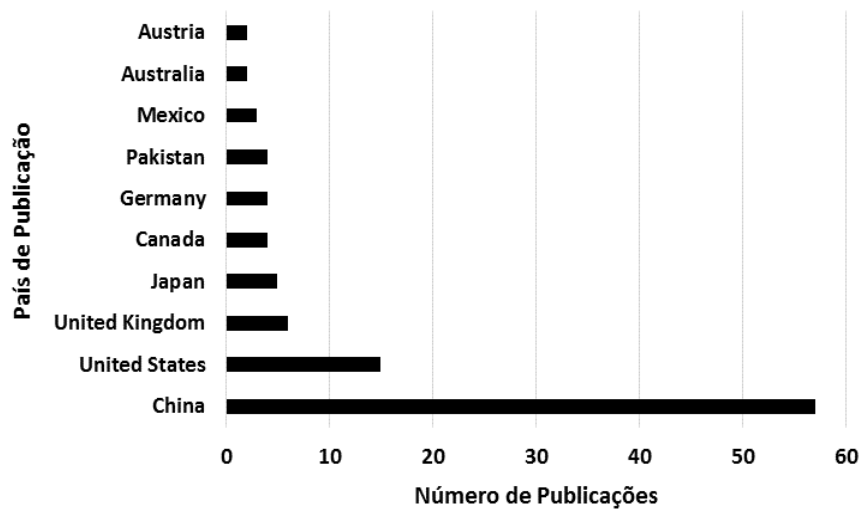


Figura 4: Número de artigos por publicações por país usando como palavras chave: “energy” e “gini coefficient”

Fonte: Elaboração própria com os dados da Base Scopus.

A China lidera a pesquisa com um número de publicações muito superior aos EUA, segundo com mais publicações. Para a execução desta dissertação diversos periódicos chineses foram consultados.

Dos artigos selecionados, três áreas de conhecimento aparecem com mais publicações: Ciência Ambiental, Energia e Engenharia, conforme mostra a Figura 5:

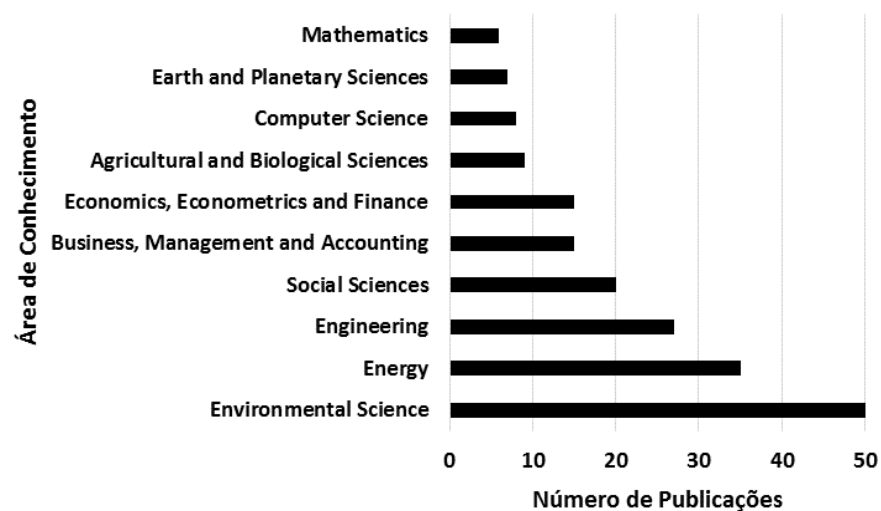


Figura 5: Número de publicações por área de conhecimento usando como palavras chave: “energy” e “gini coefficient”

Fonte: Elaboração própria com os dados da Base Scopus

Prosseguindo a análise bibliométrica, foi feita uma segunda pesquisa utilizando como palavras-chave, aquelas essenciais para a segunda abordagem metodológica utilizada neste trabalho. Utilizou-se as palavras-chave “*growth*”, “*solar energy*” e “*households*”, conforme demonstrado na Figura 6.

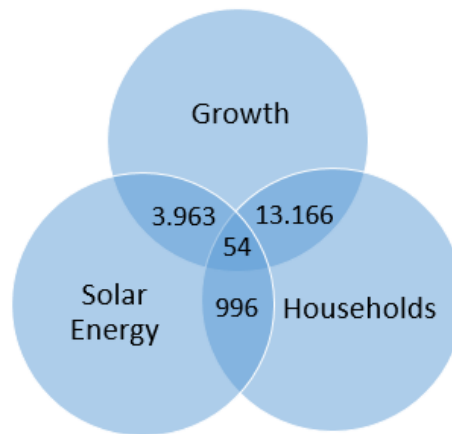


Figura 6: Diagrama de Venn dos artigos identificados.
Elaboração própria com os dados da Base Scopus.

Percebe-se que existe uma quantidade elevada de trabalhos acadêmicos quando essas palavras-chave são analisadas de duas em duas, entretanto, na interseção entre elas o número de trabalhos é bem menor, chegando a 54 trabalhos apenas.

Assim como foi feito na pesquisa bibliométrica anterior, neste caso também é apresentado a distribuição dos artigos na interseção quanto ao ano e país de publicação nas Figuras 7 e 8, e os periódicos e as áreas de conhecimento mais ligadas ao tema da pesquisa nas Figuras 9 e 10 respectivamente. Interessante observar, que assim como a primeira pesquisa, alguns fatores se mantêm como: uma quantidade maior de artigos nos anos mais recentes e a China ser o principal país em número de publicações:

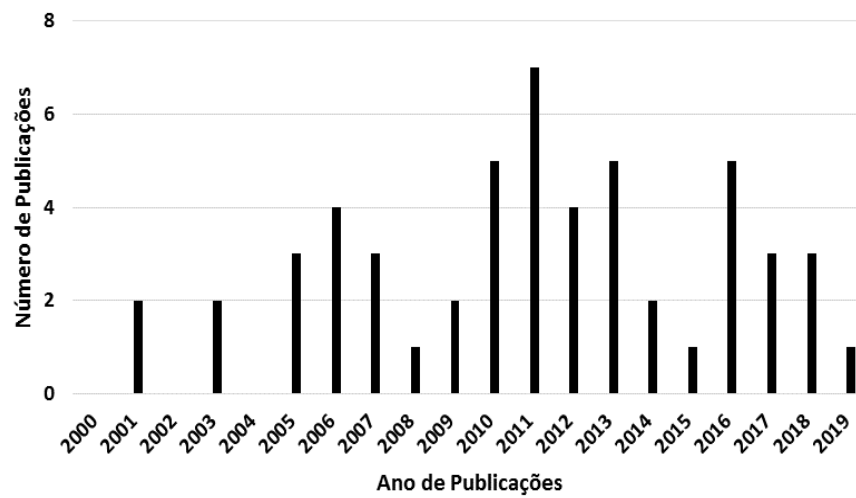


Figura 7: Número de artigos entre 2000 e 2019 usando como palavras chave: “*growth*” “*solar energy*” e “*households*”

Fonte: Elaboração própria com os dados da Base Scopus.

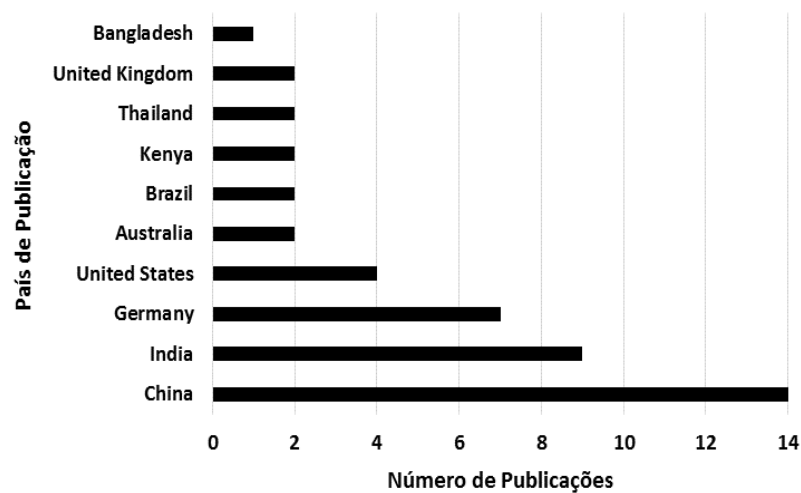


Figura 8: Número de artigos por publicações por país usando como palavras chave: “*growth*” “*solar energy*” e “*households*”

Fonte: Elaboração própria com os dados da Base Scopus.

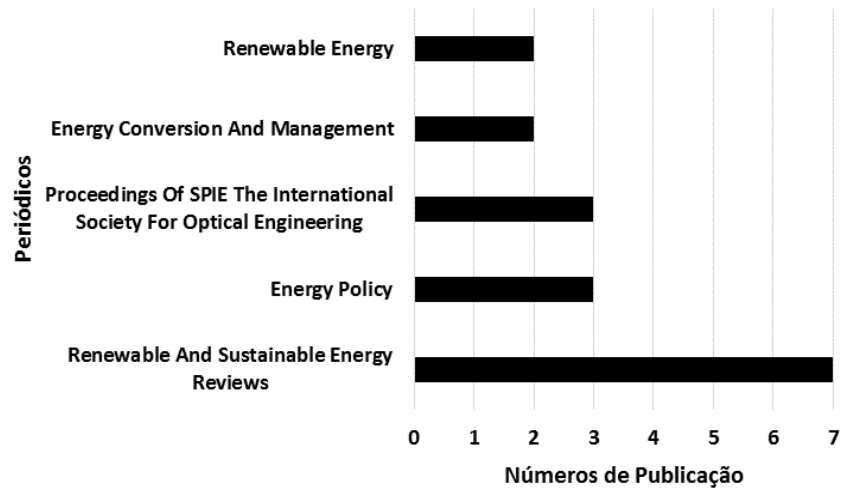


Figura 9: Números de artigos dos principais periódicos usando como palavras chave: “*growth*” “*solar energy*” e “*households*”

Fonte: Elaboração própria com os dados da Base Scopus.

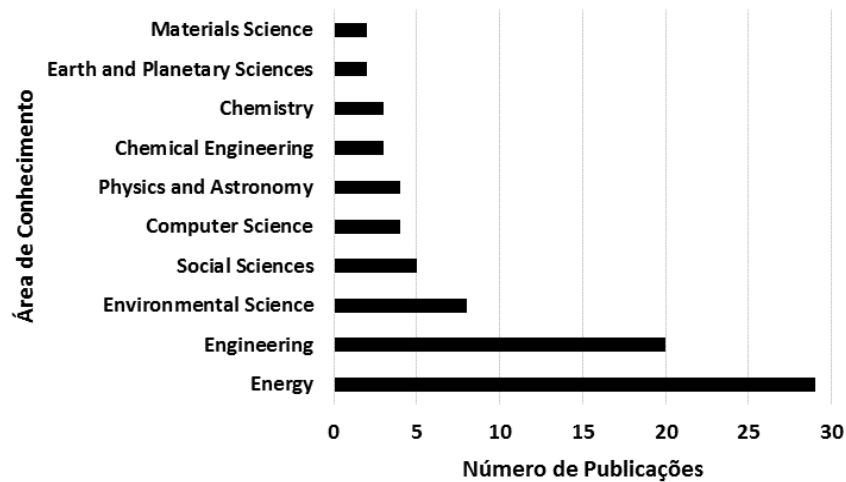


Figura 10 Número de publicações por área de conhecimento usando como palavras chave: “*growth*” “*solar energy*” e “*households*”

Fonte: Elaboração própria com os dados da Base Scopus.

2.2 POBREZA ENERGÉTICA E COEFICIENTE DE GINI

O relatório World Energy Outlook 2017 mostra que quase 1 bilhão de pessoas no mundo ainda não têm acesso à eletricidade em suas moradias (WORLD ECONOMIC OUTLOOK DATABASE, 2019). Em outro trabalho, Coelho & Goldemberg (2013) ressaltam que além de comunidades sem acesso às principais formas de energia, existem 2,7 bilhões de pessoas que usam combustíveis primitivos em seus domicílios, como lenha e carvão vegetal para atender às

necessidades básicas, como cozinhar e aquecer a residência. Desse ponto de vista, pode-se ressaltar que muitas pessoas pertencentes a famílias de baixa renda não têm acesso a fontes básicas e regulares de energia e, portanto, sofrem com a pobreza de energia (LAHIMER et al., 2013; PACHAURI et al., 2004).

Pobreza energética é a escassez de fontes energéticas básicas para suprir as necessidades humanas básicas (GONZÁLEZ-EGUINO, 2015), isto é, pessoas que não têm acesso regular à energia elétrica, sem condições mínimas para um meio de subsistência decente (SINGH et al., 2015). Tarefas como iluminação e comunicação ficam muito limitadas sem energia elétrica. Este é um problema que dificulta o desenvolvimento econômico em uma sociedade e, consequentemente, o crescimento igualitário, uma vez que não oferece a todas as pessoas o acesso a serviços elementares relacionados ao conforto e, por que não dizer, à sobrevivência com dignidade (BAZILIAN et al., 2011; BIROL, 2007; SOVACOOOL, 2013).

Em países de clima frio esta questão pode ser ainda mais crítica. Ou seja, a pobreza energética pode dificultar o aquecimento das residências e, consequentemente, prejudicar ainda mais as condições de sobrevivência dos seus moradores (BUZAR, 2007; TORGAL, 2013). A chegada da eletricidade a essas sociedades pode elevar para um grau mais alto a economia, a sustentabilidade e a uma melhor qualidade de vida. Tratar deste problema pode ser uma questão de vida ou morte para muitas pessoas no planeta (PEREIRA; FREITAS; DA SILVA, 2010).

Diante desses fatos, é claramente possível notar que existe uma relação entre pobreza energética e desigualdade social (BOUZAROVSKI; PETROVA; SARLAMANO, 2012; BOUZAROVSKI; THOMSON, 2017). Essas duas questões devem ser tratadas para que ocorra um desenvolvimento mais justo e igualitário entre as diferentes pessoas. Sendo assim, conhecer o nível de desigualdade em relação a uma população específica pode ser uma das primeiras etapas para poder reduzi-la (ANDRADE ARAUJO; CABRAL, 2015).

Jacobson et al. (2005) examinaram a distribuição do consumo residencial de eletricidade em cinco países: Noruega, Estados Unidos, El Salvador, Tailândia e Quênia. Para mensurar a desigualdade energética fez uso do Coeficiente de Gini aplicado ao setor energético. Esses valores de Gini de energia foram usados para fins de comparação com os valores encontrados neste trabalho. Os autores associaram ao Coeficiente de Gini de energia, outras características dos países como: população, PIB per capita, Gini de renda. Esses indicadores apresentam mais

informações sobre a condição da distribuição de energia do país, algo que será realizado também no presente estudo. Por fim, os autores concluem que o Coeficiente de Gini é uma ferramenta importante para posicionar os países em níveis de desenvolvimento, e sugerem ainda que outros trabalhos devam se aprofundar na análise de distribuição interna de energia dentro de um determinado país.

Saboohi (2001) analisou as consequências da eliminação do subsídio de energia no Irã de forma a utilizar essa verba para aumentar o poder aquisitivo da parcela mais pobre da população, uma vez que a energia subsidiada não funcionou da maneira como esperada no país. O artigo fez uso do coeficiente de Gini e das curvas de Lorenz para se mensurar a desigualdade de distribuição da energia.

Em outro estudo, uma análise do consumo de energia para as regiões geográficas do Brasil foi realizada por Mayol et al. (2000). Os autores fizeram uma análise socioeconômica e energética do país abordando os principais aspectos do consumo residencial por classe de renda. Apesar de ter sido realizado antes do trabalho de Jacobson et al (2005), os coautores utilizaram de forma simplificada o Coeficiente de Gini para mensurar valores para as regiões do Brasil. Eles compararam os valores do Gini de energia com o Gini de renda, e observaram uma maior igualdade na distribuição de energia. Isto significa dizer que a distribuição de renda no Brasil era mais desigual que o acesso à energia, já no início do século 21. Porém os autores frisam que tal comportamento não se repete para o país inteiro, nas regiões Norte e Nordeste ocorre uma maior desigualdade do consumo de energia do que da renda, que é explicado no pouco uso de energias convencionais nessas regiões. Essa diferença de consumo dentro do Brasil, demonstra que as análises internas proposta por Jacobson et al. (2005) são importantes para se conhecer a pobreza energética específica em alguns locais num mesmo país.

Giannini Pereira et al. (2011) e Obermaier et al. (2012) investigaram a pobreza energética em uma região do Brasil, avaliando os impactos sobre a eletrificação rural no interior do Norte e Nordeste a partir de 2003. A política de eletrificação nessas regiões resultou em uma redução significativa no nível de pobreza energética e, conseqüentemente, em um acesso mais igualitário à eletricidade. Com base nisso, os autores afirmaram que mais programas governamentais deveriam ser aplicados a regiões com maior desigualdade.

Wada et al. (2012) avaliou os efeitos das mudanças comportamentais do

consumidor sobre o uso e disposição de eletrodomésticos. Foram avaliados seis parâmetros referentes aos consumidores e dos produtos, que são: a urbanização, o tamanho do agregado familiar, o coeficiente de Gini, a vida útil do produto, a taxa de seleção do produto usado e o produto de alta eficiência energética. Neste trabalho, o coeficiente de Gini não é utilizado para verificar desigualdade energética, entretanto o Gini de renda avaliado com características de uso de eletrodomésticos também indicaram informações a respeito da equidade do uso de energia.

Yang et al. (2016) utilizou o método do coeficiente de Gini para encontrar desvios na geração e transmissão de energia elétrica. Tal medida visa a garantir a equidade na implementação de energia elétrica, ou seja, que não ocorram desperdícios de transmissão nas linhas. Este artigo difere um pouco dos analisados, uma vez que este não usa o coeficiente de Gini para verificar desigualdade de consumo da população, e sim a desigualdade de fornecimento de energia.

Malakar, Mishra e Patwardhan (2017) demonstrou o uso do coeficiente de Gini para a desigualdade no uso doméstico de água no mundo. Semelhante aos artigos de desigualdade energética, este demonstra que os países mais ricos tem menos desigualdade no uso de água. Os autores propuseram soluções para contribuir com o planejamento de políticas sustentáveis de gerenciamento e desenvolvimento de água nos países menos desenvolvidos.

Chen, Cheng e Song (2017) avaliou a desigualdade espacial da China em emissões de dióxido de carbono (CO_2) relacionadas à energia. Os autores estudam a desigualdade de emissão entre o setor produtivo e o residencial, utilizando o coeficiente de Gini. Os autores concluíram que a desigualdade do setor residencial é maior do que o setor produtivo, entretanto este último é o maior responsável pelas grandes quantidades de gases emitidos na atmosfera. Este artigo usou o coeficiente de Gini para a emissão de CO_2 , comprovando que essa ferramenta pode ser usada nas mais diversas variáveis.

Outros artigos fizeram análises internas de um país no consumo energético residencial utilizando Gini de energia. Rosas-Flores et al. (2010) avaliou a distribuição de diferentes combustíveis utilizados para a geração de energia no México. Mirnezami (2014) avaliou as diferenças das províncias do Canadá e encontra valores de Gini de energia e Gini de renda para cada província e as compara. O autor concluiu que as províncias com agregados familiares com maiores rendimentos gastam mais energia do que famílias com rendimentos mais baixos. Os

mesmos resultados foram encontrados nos trabalhos de Pineau (2008) e Sovacool (2011). Kim et al. (2016) avaliou a desigualdade de energia em Seul, na Coreia do Sul, e compara seus dados com o trabalho de Jacobson et al. (2005).

2.3 MÉTODOS DEMOGRÁFICOS APLICADOS À DEMANDA POR PLACAS FOTOVOLTAICAS EM RESIDÊNCIAS

O Brasil é um país com um dos maiores potenciais do mundo para geração de energia a partir de fontes limpas e renováveis (OLIVEIRA et al., 2017). Isso se deve ao fato de o país ser o quinto maior em extensão territorial e apresentar uma posição geográfica com alta irradiação solar (LAHIMER et al., 2013; ROCHA et al., 2017). A elevada incidência solar proporciona a geração de energia pela conversão da luz do sol em eletricidade, através de placas FV e, também, das diversas outras formas de energia menos agressivas ao meio ambiente, como hídrica, biomassa e eólica (SCHMIDT; CANCELLA; PEREIRA, 2016; VAZQUEZ; HALLACK, 2018).

A fonte de energia hídrica tem sido, por muitos anos, a mais usada para geração de eletricidade no Brasil. Já fonte solar FV, que era pouco utilizada, vêm aumentando a sua participação na geração de energia nos últimos anos, decorrente da redução dos custos (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018). Esta economia de escala dos valores das placas FV vem tornando o investimento mais atrativo, e devido a isso, existe uma estimativa de crescimento nos próximos anos desta tecnologia (BREYER et al., 2017; CASTELLANOS et al., 2018; VIANA; RAMOS, 2018). O Brasil é, atualmente, o décimo no ranque de países que mais investem em energia FV, e se a estimativa de aumento do número de conexões se concretizar, o país pode chegar entre os principais geradores de energia FV no mundo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2018).

A energia FV pode ser utilizada para abastecer sistemas de alta ou de baixa capacidade, desde parques solares de 80MW, até sistemas de micro e mini Geração Distribuída (GD) para alimentar uma residência apenas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017; JANNUZZI; MELO, 2013). Como existe um crescimento esperado no número de residências brasileiras nos próximos anos, estima-se que a expansão da geração FV no país ocorrerá por meio da quantidade de moradias contendo painéis instaladas (GIVISIEZ; OLIVEIRA; GUIMARÃES, 2018; PALM;

ERIKSSON, 2018). Esses painéis deverão abastecer o consumo residencial da população, e assim aumentar a capacidade de potência solar FV instalada no Brasil (WOLSKE et al., 2018).

Domicílios particulares que usam energia fotovoltaica para produzir eletricidade têm aumentado nos países ocidentais. Países como Alemanha e Reino Unido intensificaram o uso de energia limpa como estratégia para a descarbonização de sua matriz energética (HÅKON et al., 2018). Outros países como China, EUA e Japão já se apresentam como primeiro, segundo e terceiro países, respectivamente, com maior geração solar no mundo (DIXIT et al., 2018).

Garcia; Nogueira e Betini (2018) apresentaram que o Brasil indica valores tímidos na geração de energia solar FV. Entretanto, os autores chamam a atenção que o potencial de crescimento para os próximos anos é elevado. Mishra e Behera (2016) apresentaram que a geração de energia FV em áreas remotas pode solucionar problemas como o consumo desigual de energia elétrica e elevar o crescimento econômico de uma região, algo que pode ser adaptado no Brasil.

A eletrificação solar vem ganhando cada vez mais importância como fonte de energia ambientalmente limpa e economicamente eficiente para as pessoas que vivem em áreas mais humildes. Portanto o crescimento de energia solar no mundo é uma das principais medidas adotadas busca pelo desenvolvimento sustentável nos últimos anos.

A respeito dessa relação de crescimento de energia FV e desenvolvimento, Usman et al. (2013) abordou que quase todos os países dependem da eletricidade para manter um padrão de vida. O autor aborda que o PIB de qualquer nação depende em grande parte do consumo de energia per capita, o que afeta diretamente o crescimento da macroeconomia. Portanto é necessário abordar nesta dissertação a respeito da relação consumo de energia elétrica e PIB.

2.4 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E PRODUTO INTERNO BRUTO

Nesta seção será apresentada a relação entre consumo de energia elétrica e o PIB do Brasil. Historicamente, o consumo de energia ocorre em maior proporção nos países com mais renda (ANTONAKAKIS; CHATZIANTONIOU; FILIS, 2017; LI; OBERHEITMANN, 2009; N) O aumento de renda per capita influencia no estilo de vida, mudando o padrão de consumo da sociedade, e aumentando a quantidade de

energia consumida pela população.

No Brasil o consumo de energia mantém uma tendência de crescimento desde a década de 90, assim como o seu PIB. O consumo de energia variou de 68 mil GW, em 1996, para 136 mil GW, em 2016 (EPE, 2017). Nesse mesmo intervalo de vinte anos o PIB do país também variou positivamente, de US\$ 1,418 bilhões para US\$ 2,248 bilhões. O crescimento de uma variável impulsionou o crescimento da outra no país, da mesma forma que em momentos que uma delas estagnava a outra repetia o comportamento.

Os órgãos governamentais do Brasil como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), estimam um aumento do PIB do país até 2026. Portanto, é possível estimar que também ocorra uma elevação do consumo energético por parte da população, devido a relação das duas variáveis. O cenário energético atual do país não comportaria esse tipo de avanço no consumo de energia, já que a projeção do EPE é de que o consumo chegue a 194 mil GW até 2026. O Brasil necessitaria gerar essa quantidade de energia de forma a minimizar os riscos ambientais e honrar o Acordo de Paris, assinado em 2015, onde os países signatários se comprometeram a não aumentar a quantidade de gases nocivos na atmosfera. Para isso, seriam necessários implementações de novas geradoras de energia limpa, a exemplo da FV, eólica, biomassa para abastecer as residências de uma forma sustentável (VIANA; RAMOS, 2018).

Carvalho et al. (2017) analisou os impactos que ocorreram em Minas Gerais, após um grande número de residências adquirirem painéis FV. A geração de energia supriu o consumo residencial, reduzindo o valor pago nas contas de luz. Segundo os autores, notou-se um aumento na renda das famílias com geradores FV. Após terem arcados com os custos do investimento, o valor economizado nas contas de luz foi utilizado para consumo de outros aparelhos no comércio local.

Por todo o descrito nesta etapa, percebe-se que o consumo de energia e o PIB estão diretamente ligados entre si e são fundamentais para o aumento do número de residências com painéis FV. O crescimento econômico do país aumentaria a geração e o consumo de eletricidade. Da mesma forma, a GD por parte das residências, elevariam a geração de energia elétrica e permitiria um aumento no familiar PIB.

2.5 GERAÇÃO E INCIDÊNCIA DE ENERGIA SOLAR

Outro fator a ser analisado no estudo do potencial de geração de energia solar FV no Brasil é a respeito da capacidade atual de geração comparada com a incidência por metro quadrado. A Tabela 1 mostra a listagem dos 10 principais geradores de energia FV no mundo:

Tabela 1: Principais países geradores de energia elétrica solar FV.

Posição	País	Potência Gerada FV (GW)
1º	China	131
2º	EUA	51
3º	Japão	49
4º	Alemanha	42
5º	Itália	19,7
6º	Índia	18,3
7º	Reino Unido	12,7
8º	França	8
9º	Austrália	7,2
10º	Espanha	5,6

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2018).

O Brasil não aparece no ranque pois atualmente a sua capacidade instalada é de apenas 1,7GW, contando DG no setor residencial e comercial, e a geração centralizada. Essa potência representa apenas 0.8% da matriz elétrica do país (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2018).

Entretanto, quando se analisa a lista dos países com maior incidência solar o Brasil aparece em segundo, conforme a Tabela 2:

Tabela 2: Países com maior irradiação solar.

Posição	País	Irradiação Solar (TWh/dia)
1º	Austrália	46.826
2º	Brasil	45.729
3º	EUA	44.202
4º	China	38.538
5º	Canadá	32.550
6º	Índia	17.383
7º	Argélia	14.492
8º	Argentina	13.726
9º	Arábia Saudita	13.429
10º	México	11.904

Fonte: (GLOBAL SOLAR ATLAS, 2018).

3 METODOLOGIA

3.1 ANÁLISE DESCRITIVA DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO COEFICIENTE DE GINI

Uma forma de abordar a questão relativa à distribuição de renda de um país, região ou a um determinado grupo populacional é por meio do Coeficiente de Gini e a Curva de Lorenz (MALAKAR; MISHRA; PATWARDHAN, 2017). A Curva de Lorenz é uma representação gráfica da distribuição relativa de uma variável em um determinado território. A Curva de Lorenz é construída marcando-se os pontos das coordenadas em porcentagem acumulada da população e em porcentagem acumulada da renda, ou seja a quantidade de pessoas pela variável que se deseja avaliar (BARISS; TIMMA; BLUMBERGA, 2014; DURO, 2015).

Coeficiente de Gini é o valor dado para a área entre a Curva de Lorenz e uma reta que simboliza a divisão perfeita de renda pela população. O Coeficiente de Gini varia de 0 a 1 de forma que os extremos teóricos do indicador representam zero para um país totalmente igualitário. Dessa forma, os países com números mais perto de 0 são os que tem a distribuição mais justas e, menor desigualdade, que geralmente são os países mais desenvolvidos.

Geralmente o Coeficiente de Gini é utilizado para avaliar renda, entretanto outros trabalhos aplicaram o método para consumo de energia residencial. Jacobson et al. (2005) foi um dos primeiros estudiosos do assunto a questionar sobre a não utilização do método para aplicação em consumo de energia elétrica, abordando que esta é uma poderosa ferramenta para estimar as dimensões distributivas do consumo de energia de uma determinada população.

Para esta dissertação utilizou-se os dados da POF 2009, que é um conjunto de dados com informações sobre as condições de vida das famílias brasileiras, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A POF trabalha com dados amostrais, coletando informações significativas às unidades da federação brasileira, entrevistando pessoas de todas as classes sociais e tendo domicílios como unidades de análise. Por essa razão, essa pesquisa é muito longa, e o entrevistador deve retornar a casa dos entrevistados mais de uma vez para obter todas as informações necessárias.

A POF vem sendo realizada desde a década de 1970 e detectou as principais

alterações relativas aos hábitos de consumo brasileiros. Os dados são frequentemente processados por meio de pacotes estatísticos, neste caso adotou-se o software IBM SPSS.

Para este trabalho, foram utilizadas as informações referentes à quantidade de energia elétrica consumida pelo domicílio a cada mês. Os dados para todo o país foi dividido em conjuntos menores ligados às regiões maiores para serem estudados separadamente.

Os domicílios de cada região foram classificados em 100 categorias, de acordo com o consumo de eletricidade das residências de forma crescente. O número de domicílios em cada categoria teve seu consumo de energia somado. Dessa forma, a quantidade de energia em kWh gasto por todos os domicílios em cada percentil é identificada. Então, foi possível traçar a Curva de Lorenz e obter o valor do Coeficiente de Gini para energia, conforme mostrada na Figura 11.

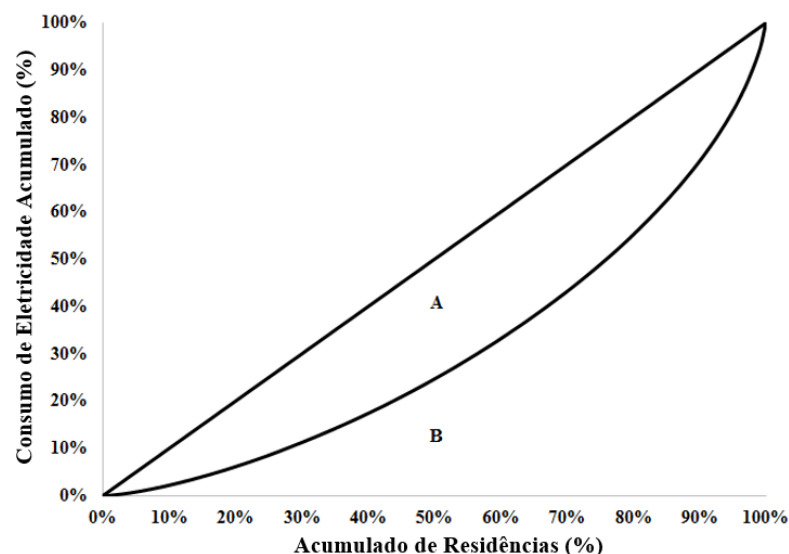


Figura 11 - Curva de Lorenz.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em uma sociedade ideal 50% de energia deveria ser consumida por 50% dos domicílios (linha reta na bissetriz dos eixos), entretanto isso não ocorre desta forma e ao invés de uma reta perfeita, têm-se uma curva que se distancia da reta conforme a desigualdade é maior. O valor do Gini é obtido ao subtrair a área total abaixo da linha do valor da área abaixo da curva de Lorenz (B). A equação aplicada para determinar o valor é a seguinte:

$$G_s = 1 - \sum (Y_{1+i} + Y_i) (X_{1+i} - X_i)$$

Equação 1: Fórmula do Coeficiente de Gini

Ge: Coeficiente de Gini de energia elétrica

Y: Porcentagem acumulada do consume de energia elétrica em kWh

X: Porcentagem acumulada de residências

i: Número de casos analisados

3.2 MÉTODO PARA PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DE RESIDÊNCIAS COM PAINÉIS FV

Nessa seção do trabalho são apresentados os passos utilizados para calcular no número estimado de residências com potencial para instalarem painéis FV. Utilizou-se como base de dados a projeção do número de domicílios para o Brasil apresentado por Givisiez e Oliveira (2018a) até 2040, considerando a faixa de renda do domicílio e o tipo de moradia.

A Figura 12 mostra graficamente a projeção de domicílios, onde se percebe que em 2010 a quantidade de residências era de 57,18 milhões, em 2040 poderá aumentar para 86,70 milhões, um crescimento total de 51,64%. Dentre as razões para esse crescimento, destacam-se o aumento populacional e a redução do tamanho das famílias. Os agregados familiares resultam diretamente no tamanho que o domicílio terá. O esperado é um aumento de residências menores para comportar essas novas famílias de duas a três pessoas no máximo, em substituição dos antigos agregados familiares de quatro a cinco pessoas (GIVISIEZ; OLIVEIRA, 2018b).

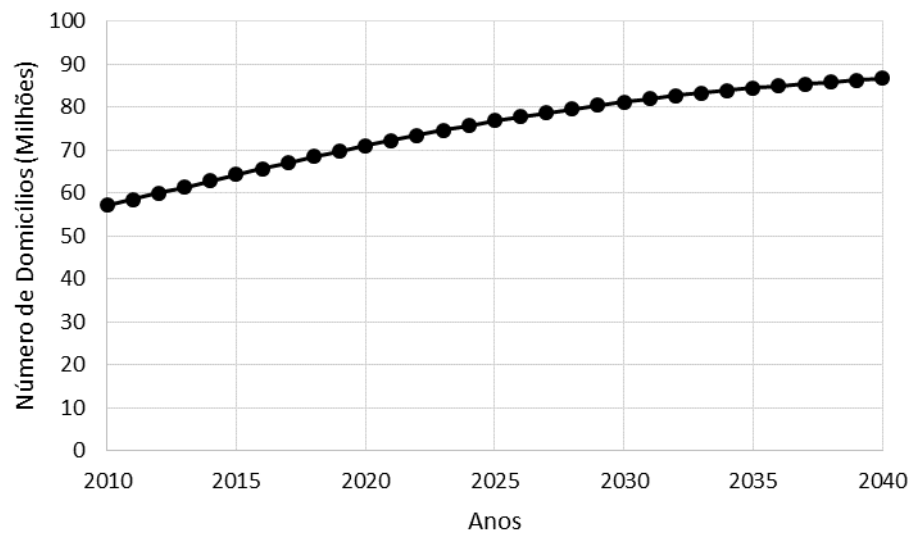


Figura 12: Crescimento do número de domicílios no Brasil entre 2010 e 2040.
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados de Givisiez; Oliveira; Guimarães (2018).

O crescimento indica o potencial da expansão de energia FV no setor residencial. Porém, as moradias compartilhadas, como apartamentos, que potencialmente não seriam beneficiadas de forma expressiva por geradores FV, uma vez que não dispõem de espaço físico para instalação de plantas de geração que atendessem todos os domicílios (FLEISCHHACKER et al., 2018).

A Tabela 3 apresenta a proporção dos diferentes tipos de moradias do Brasil em 2010, de acordo com os dados do Censo Demográfico. Observa-se que 88,63% dos domicílios eram casas, 10,83% eram apartamentos, e 0,52% eram domicílios improvisados, como os cortiços, e os demais são moradias tipicamente indígenas.

Tabela 3: Percentual de moradias no Brasil em 2010.

Tipo de Domicílio	Quantidade	Percentual
Casas	50.804.799	88,63%
Apartamentos	6.206.561	10,83%
Condomínios	295.218	0,52%
Oca ou Maloca	13.977	0,02%
Total	57.320.555	100,00%

Fonte: (IBGE : Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010)

Para estimar o total de casas em apartamentos no cenário de projeção optou-se por pressupor que o total moradias é composto por casa e apartamentos, considerando que os demais tipos de moradia representam, relativamente, um

universo muito pequeno no total de moradias. Sendo assim, considerando o total do estoque de moradias apresentada por Givisiez, Oliveira e Guimarães (2018) em 2010, assume-se que deste total 88,63% eram casas e o restante eram apartamentos. Freitas e Magnabosco (2018), por sua vez, estimam que a produção de novas moradias tende a aumentar progressivamente a proporção de apartamentos entre 2015 e 2040, seguindo a tendência apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Proporção de casas e apartamentos construídos no Brasil no período de 2015, 2020, 2025, 2030, 2035 e 2040.

Período	Apartamentos	Casas
2015	12,6%	87,4%
2020	14,4%	85,6%
2025	16,4%	83,6%
2030	18,5%	81,5%
2035	20,7%	79,3%
2040	23,0%	77,0%

Fonte: Freitas e Magnabosco (2018).

Considerando que o comportamento apresentado na Tabela 4 é muito próximo de uma tendência linear, foi ajustada uma reta, por meio de uma regressão linear, à proporção de apartamentos. O modelo considera a proporção de apartamentos como variável de resposta e o período como variável explicativa. Dessa forma, a Figura 13 demonstra a estimativa da produção de casas e apartamentos entre 2010 e 2040 no Brasil.

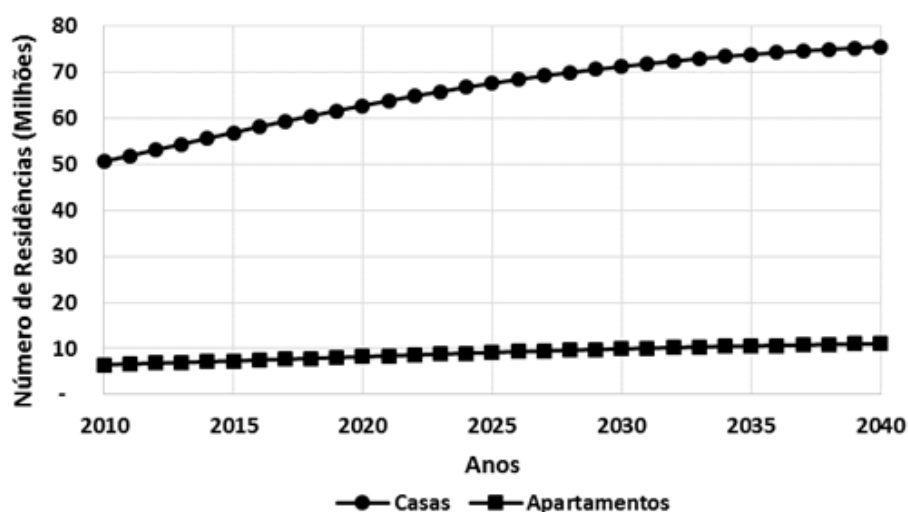


Figura 13: Número de casas e apartamentos no Brasil entre 2010 e 2040.
Fonte: (IBGE : Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010)

Uma vez separadas, do estoque total de domicílios, a proporção de casas e apartamentos, foi considerado a proporção de domicílios de acordo com a faixa de renda. Nesse sentido, a projeção aqui apresentada considera as residências que potencialmente tem renda suficiente para arcar com os custos do investimento em painéis. Pelos estudos de Carvalho et al. (2017) apenas residências com uma renda acima de US\$ 1.000,00 poderiam investir em sistemas FV no Brasil. O consumo energético dos domicílios com essa faixa de renda é elevado o suficiente, próximo dos 500kWh, para que estes se interessem em instalar painéis FV.

A classificação de casas por faixas de rendas das residências foi baseada no programa de subsídio do governo brasileiro Minha Casa Minha Vida (MCMV). Essas faixas de renda foram convertidas para dólar. As faixas são: renda familiar até US\$ 450,00; entre US\$ 450,00 e US\$ 650,00; entre US\$ 650,00 e US\$ 1.000,00; entre US\$ 1.000,00 e US\$ 1.750,00, entre US\$ 1.750,00 e US\$ 2.250,00; e acima de US\$ 2,250,00.

A projeção de Givisiez, Oliveira e Guimarães (2018) determina o crescimento de moradias por faixa de renda do MCMV. Entretanto, ela faz a estimativa com o número total de habitações, não fazendo separação entre casas e apartamentos. Sendo assim, utilizou-se novamente da proporção de casas e apartamentos de Freitas e Magnabosco (2018) aplicadas na quantidade de casas em cada faixa de renda, a fim de encontrar o valor aproximado de moradias que teriam como instalar os painéis FV. A Figura 14 apresenta a projeção de domicílios, de todas as faixas de renda citadas, no período de 2010 até 2040. Nota-se tendência de redução dos domicílios na classe de renda mais baixa, até US\$ 450,00, e aumento dos domicílios nas faixas de renda entre US\$ 650,00 e US\$ 1.000,00, e entre US\$ 1.000,00 e 1.750,00.

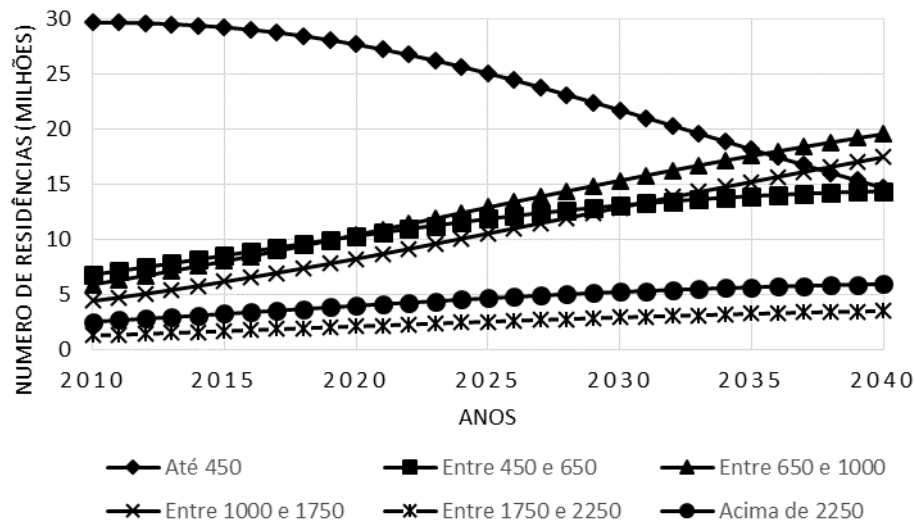


Figura 14: Crescimento residencial por classe de renda entre 2010 e 2040.
Fonte: Givisiez, Oliveira e Guimarães (2018).

A redução das residências de menor renda é coerente com o aumento de PIB previsto pelo EPE para os próximos anos. As famílias que aumentarem sua renda passarão a integrar a faixa de renda subsequente. Dessa forma, com o passar do tempo, será maior o número de famílias chegando na faixa dos US\$ 1.000,00, onde as residências teriam mais interesse em adquirir um gerador FV.

A faixa de renda entre US\$ 1.000,00 e US\$ 1.750,00 apresentou um dos maiores crescimentos. Sendo que era a quarta em 2010 e chegará em 2040 como a segunda maior. Ela variou de aproximadamente 4,4 milhões de residências até 17 milhões. As demais faixas que entraram na pesquisa são: entre US\$ 1.750,00 e US\$ 2.250,00, que variou de 1,2 milhões para 3,5 milhões de residências, e a faixa acima de US\$ 2.250,00 que variou de 2,5 milhões para 6 milhões. O total de residências com potencial para investirem em painéis varia de 8,2 milhões para aproximadamente 27 milhões de residências até 2040.

Para a projeção da proporção de residências com painéis FV, foi considerada uma curva logística formalizada na Equação 2 que padroniza a função observada $P_{PV_t}^{Obs}$ em função de um valor assintótico máximo e um valor mínimo. Dessa forma a transformação, garante, matematicamente, que as taxas de aquisição de sistemas FV não excedam os valores $P_{PV_t}^{Max}$ e não sejam menores que $P_{PV_t}^{Min}$. Para os valores máximos foi atribuído um valor de 80% e para o mínimo 0,001%. A razão para não se usar os 100% no valor máximo, foi por esta pesquisa levar em consideração demais aspectos no entorno da residência que viessem a desestimular

a família na instalação de um painel, como sombreamento ou complicações na instalação elétrica. Os valores observados utilizados são apresentados na Tabela 5, que apresenta o número total de residências com GD, na fonte FV, em todo o território brasileiro, desde 2010 até 2018.

$$P_{PV_t}^{Obs} = P_{PV_t}^{Min} + \frac{P_{PV_t}^{Max} - P_{PV_t}^{Min}}{1 + e^{P_{PV_t}^{Std}}}$$

Equação 2: Função do valor observado de acordo com os valores mínimo e máximo.

Tabela 5: Número acumulado de residências com painel solar no Brasil de 2010 até 2018.

Anos	Residências com painéis solares	Potência Instalada (kW)
2010	0	0
2011	11	44
2012	12	46
2013	48	254
2014	250	946
2015	1.393	5.359
2016	6.610	24.948
2017	17.177	73.622
2018	34.797	151.913
2026*	770,000*	3,300,000*

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Além dos dados apresentados na Tabela 5, foi incluído um ponto adicional nessa projeção. A EPE em seu plano decenal 2016-2026 estimou que em 2026 cerca de 770 mil residências poderiam instalar sistemas FV. A adição desse ponto no ano de 2026 se fez necessário, pois apenas os valores apresentados na Tabela 5 configuram uma série histórica pequena com um crescimento anual elevado, apresentando portanto, projeções com pouca probabilidade de ocorrerem.

Foram estimados três cenários possíveis de projeção: básico, conservador e otimista. O cenário básico usa a projeção de 770 mil residências em 2026, como apresentado pela EPE. Para chegar a esse número, a taxa de crescimento anual do número de residência com painel solar deveria ser de 100% ao ano, até 2040.

O cenário conservador propõe um crescimento anual inferior ao básico, com uma taxa de crescimento de 70% ao ano entre 2019 e 2040. E o cenário otimista estabelece uma taxa de crescimento de 130% ao ano. Com essas taxas, o número de residências com energia FV em 2026 é um pouco inferior a 770 mil no cenário conservador e superior no cenário otimista. A Equação 3 demonstra os valores estimados e projetados por um modelo de regressão linear simples, em função de cada ano t até 2040.

$$P_{PV_t}^{Std} = \ln \left(\frac{P_{PV_t}^{Max} - P_{PV_t}^{Min}}{P_{PV_t}^{Obs} - P_{PV_t}^{Min}} - 1 \right)$$

Equação 3: Função do valor padrão de acordo.

Considerando que:

$\overline{P_{PV_t}^{Min}}$: Menor valor admitido para a proporção de domicílios com PV, no ano t

$\overline{P_{PV_t}^{Max}}$: Maior valor admitido para a proporção de domicílios com PV, no ano t

$\overline{P_{PV_t}^{Obs}}$: Valor observado para proporção de domicílios com PV, no ano t

$\overline{P_{PV_t}^{Std}}$: Valor padronizado para proporção de domicílios com PV, no ano t

A Figura 15 apresenta um organograma demonstrando os métodos utilizados e as referências utilizadas, de forma a facilitar a compreensão das passos utilizados na metodologia da dissertação.

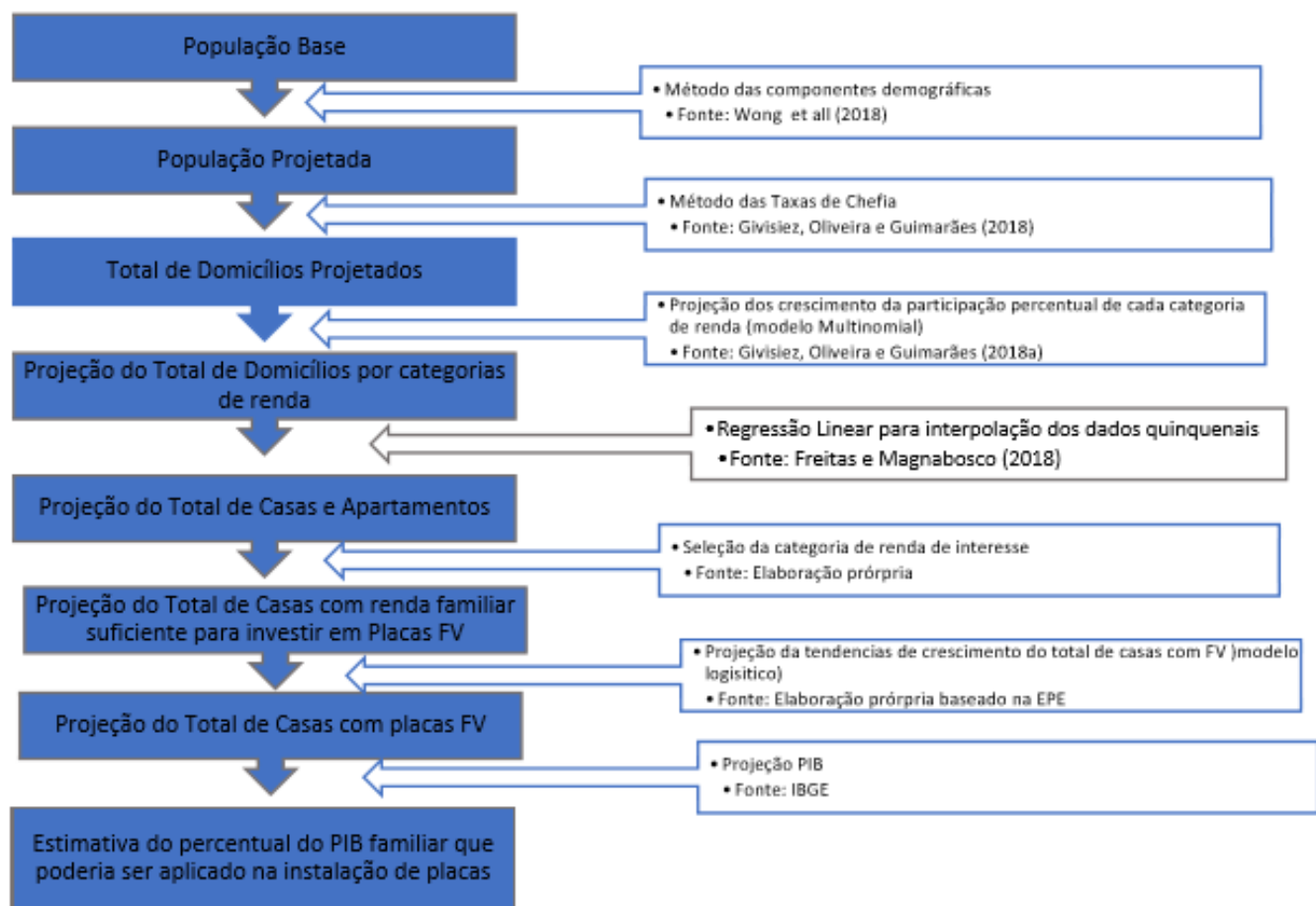


Figura 15: Organograma dos métodos utilizados. Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DESIGUALDADE DE CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL E REGIÕES

A Figura 16 apresenta o coeficiente de Gini e as curvas de Lorenz para o consumo de energia elétrica no Brasil e suas cinco regiões geográficas. Vale notar que quase 50% do consumo de eletricidade se refere a valores de 70% a 80% dos domicílios.

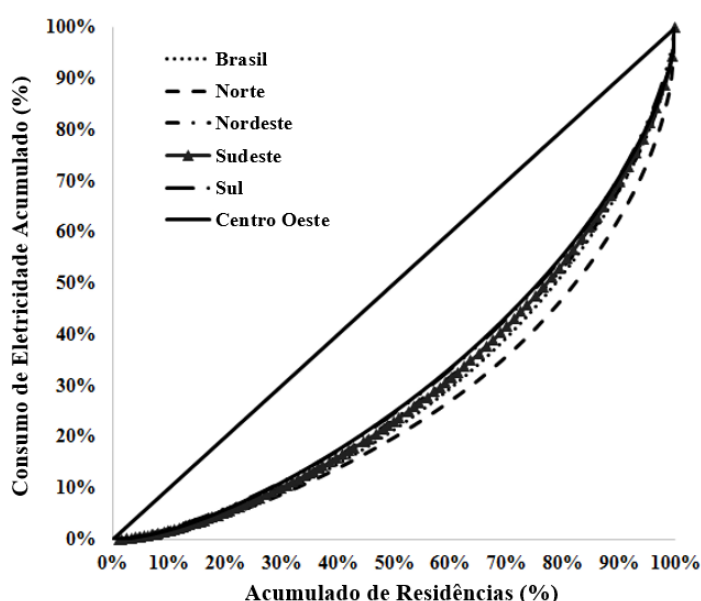


Figura 16: Curvas de Lorenz para eletricidade em residências no Brasil e regiões
Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados do IBGE.

Observando melhor a Curva de Lorenz da região Norte, por exemplo, que é representada pela curva mais afastada da reta da bissetriz, está aparecendo mais destacada das outras regiões (linha tracejada à direita). Como pode ser visto, a região tem 50% do consumo de eletricidade para aproximadamente 80% dos domicílios. Isto implica que os outros 50% do consumo são utilizados por apenas 20% dos restantes agregados familiares. Esse é o resultado da alta desigualdade da região, porque esses 20% representam a parcela mais rica da sociedade.

Por sua vez, a Tabela 5 apresenta o valor do Gini de energia das regiões brasileiras relacionadas ao correspondente Gini de renda e o antigo Gini de energia do ano 2000. Ao comparar os valores do Gini de energia de 2009 (0,439) com a do

ano 2000 (0,594), nota-se uma diminuição nos valores do índice. Isso indica uma redução da desigualdade nesse período.

Tabela 6: Relação do Gini de Energia 2009, Gini de Renda 2009 e Gini de Energia antigo para as diferentes regiões geográficas do Brasil.

Região	Gini de Energia (2009)	Gini Renda (2009)	Gini de Energia (2000)
Norte	0,492	0,510	0,674
Nordeste	0,392	0,531	0,769
Sudeste	0,420	0,521	0,461
Sul	0,402	0,479	0,443
Centro-Oeste	0,375	0,547	0,555
Brasil	0,439	0,533	0,594

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados do IBGE e de Mayol et al., 2000

No entanto, observando o valor de 0,439 relacionado à energia Gini 2009 do Brasil, pode-se perceber a alta desigualdade na distribuição de energia elétrica entre os cidadãos do país, que atualmente é a nona maior economia do mundo (World Economic Outlook Database October 2016) ou seja, comparando os valores do Brasil com os da Noruega, um dos países mais desenvolvidos e igualitários do mundo, que têm Gini de energia de 0,19 (Jacobson et al., 2005), mostra o quanto o Brasil precisa evoluir para reduzir desigualdade.

Além disso, observe na Tabela 5 que o Gini de energia de 2009 não varia significativamente nas diferentes regiões. Ou seja, com exceção da região Norte, que possui o maior Gini, com 0,492, os demais variam entre 0,375 (Centro-Oeste) e 0,420 (Sudeste). Isso indica que o nível de desigualdade no consumo de energia elétrica no país é praticamente o mesmo entre as regiões.

De acordo com a Tabela 5, o Gini de renda de 2009 é superior ao Gini de energia de 2009 em todas as regiões. Isso significa que o acesso à eletricidade no Brasil é menos desigual que a distribuição de renda nos domicílios.

Comparando o Gini de energia de 2000 com a do ano de 2009 na Tabela 5, ocorreu uma redução de 0,155 (0,594 - 0,439), afirmando que o Brasil conseguiu melhorar a distribuição de energia elétrica entre os domicílios. As regiões Norte e Nordeste apresentaram as maiores reduções nos índices, provavelmente por causa dos projetos governamentais de eletrificação rural citados por Giannini Pereira et al. (2011) e Obermaier et al. (2012).

O Nordeste, que registrou em 2000 o maior Gini de energia do país (0,769), em 2009, acabou sendo o segundo mais baixo (0,392). No entanto isso não significa que a desigualdade de distribuição de energia tenha diminuído. O baixo Gini energético do Nordeste pode ser entendido como um consumo igualitário e, ao mesmo tempo, é muito baixo de energia em toda a região, em que a maior parte da população usa pouca eletricidade. O elevado valor do Gini de 2009 da região indica a desigualdade entre os domicílios em relação à concentração de riqueza, o que confirma a ideia de que a maioria dos domicílios do Nordeste consome pouca energia, pois tem pouca renda.

Além disso, é essencial avaliar o consumo de eletricidade per capita de cada região para entender os valores do Gini de energia dessas regiões. A Figura 17 mostra a distribuição do consumo de eletricidade para as residências de cada região do país GWh por ano. Deve-se observar que apenas a região Sudeste consome aproximadamente 55.000 GWh/ano, o equivalente a quase 54% do total de energia consumida pelo país.

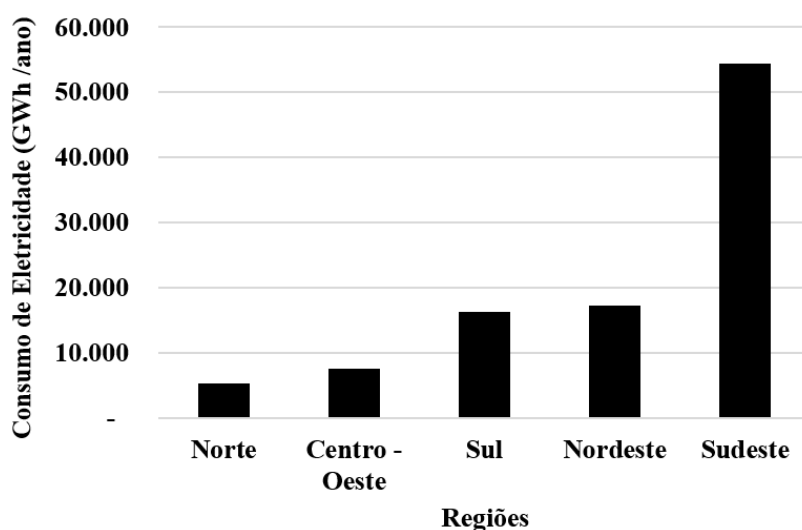


Figura. 17 - Consumo Residencial de eletricidade das regiões do Brasil em 2009.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética.

O consumo de energia, na Figura 17, também pode ser dividido pela população das regiões correspondentes para encontrar o consumo de eletricidade per capita por região e, assim, interpretar melhor os valores dos Gini de energia. Assim, a Tabela 6 relaciona cada região com os respectivos Gini de energia mais o consumo de eletricidade (GWh/ano), população, consumo de eletricidade per capita (kWh / capita) e PIB per capita (milhões de USD em 2010).

Tabela 7: Relação entre o Gini de energia, consumo per capita e o PIB per capita das regiões do Brasil no ano de 2009

Região	Gini Energia	Consumo de Eletricidade (GWh/ano)	População	Consumo <i>per capita</i> de Eletricidade (kWh/capita)	PIB <i>per capita</i> (milhões de reais)
Norte	0,492	5.256	15.540.827	338	13,71
Nordeste	0,392	17.220	52.518.692	328	10,16
Sudeste	0,420	54.415	79.521.893	684	27,53
Sul	0,402	16.310	27.148.096	601	23,98
Centro-Oeste	0,375	7.573	13.787.999	550	27,27
Brasil	0,439	100.776	188.517.506	535	5.500

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados do IBGE.

Analizando a Tabela 6, os valores do Gini e os do consumo de eletricidade per capita podem ser comparados. Então, pode-se observar que o baixo Gini de energia do Nordeste (0,392) não representa um desenvolvimento econômico regional, mas uma predominância de domicílios com baixo consumo per capita (328 kWh/capita).

Como esperado, ao analisar o consumo per capita de eletricidade e o PIB per capita na Tabela 6, as regiões com os maiores rendimentos, Sudeste (R\$27,53/capita), Sul (R\$23,98/capita) e Centro-Oeste (R\$27,27/capita), têm o maior consumo per capita de eletricidade (684 kWh/capita, 601 kWh /capita e 550 kWh /capita, respectivamente), enquanto as regiões com baixo PIB per capita, Norte (R\$13,71 / capita) e Nordeste (R\$10,16/ capita), também apresentam baixo consumo de eletricidade per capita (338 kWh / capita e 328 kWh / capita, respectivamente).

As regiões Nordeste (R\$10,16/ capita) e Sul (R\$23,98/capita), que apresentam um consumo próximo de eletricidade (17.220 GWh / ano e 16.310 GWh / ano, respectivamente) podem ser usadas como exemplo. No entanto, como a região Sul tem uma renda per capita mais alta, também apresenta um consumo de eletricidade per capita maior do que o do Nordeste (601 kWh / capita para o sul e 328 kWh / capita para o nordeste). Ou seja, a população do Sul, que é menor (27 milhões), consome aproximadamente a mesma quantidade de eletricidade que a população do Nordeste (52 milhões).

De acordo com esses dados, a região mais igualitária é o Centro-Oeste, que

tem o menor Gini (0,375) e apresenta um dos maiores consumos de eletricidade per capita (550 kWh / capita). Essas duas características representariam uma região com a distribuição mais justa; no entanto, esse alto consumo está concentrado no Distrito Federal (DF), unidade federal muito diferente das demais, já que é a capital do governo brasileiro que paga altos salários em uma área geográfica relativamente reduzida. Depois que todos os domicílios do Centro-Oeste foram avaliados, pôde-se notar que os do DF reduziram o valor do Coeficiente de Gini da região, fornecendo uma percepção equivocada de igualdade. O valor do Gini do Centro-Oeste, sem o DF, é de 0,502, ou seja, poderia ser considerada a região com mais desigual do país. A diferença no uso de energia entre os domicílios com mais renda e os domicílios sem acesso à energia é acentuada sem a igualdade de consumo no DF.

4.2 CONSUMO DE ENERGIA POR PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO

A Figura 18 ilustra a relação entre o consumo de energia elétrica por porcentagem da população. A base da Figura compreende os dados da população mais pobre da sociedade até o topo com a que tem maior renda. As faixas são divididas a cada 20% da parcela total das casas, e a largura das faixas representa o consumo de energia dessas parcelas. Assim, pode-se observar que a faixa dos 20% mais pobres da população consome apenas 4,8% da energia elétrica, enquanto os 20% da população com maior poder econômico consomem 48,2%, ou seja, quase a metade da energia elétrica total consumida pelos domicílios.

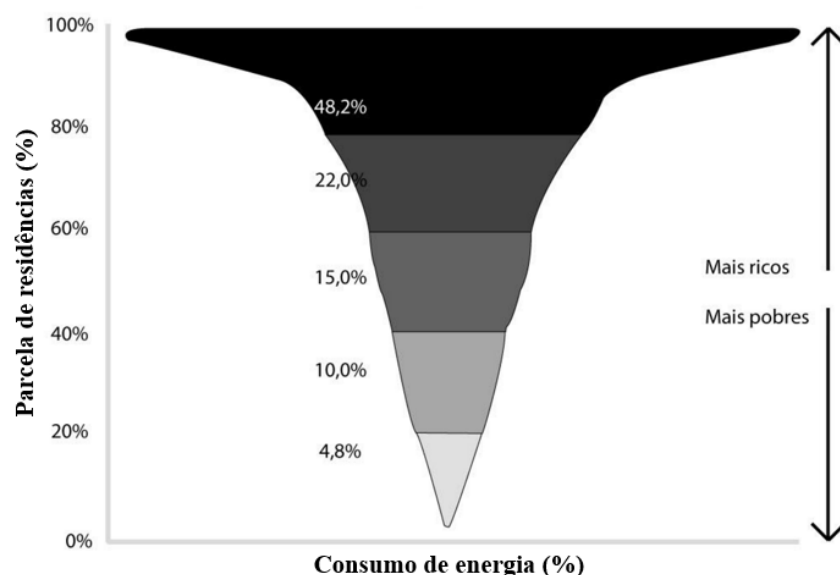


Figura 18 - Consumo de energia elétrica por domicílios no Brasil.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados do IBGE.

A Tabela 7 apresenta os dados utilizados para elaborar a Figura 18, mostrando a quantidade de domicílios que representa os 20% da população até atingir 100% e o consumo de energia elétrica demandado por cada um deles, tanto em GWh quanto em percentual. Apresenta também os percentuais acumulados de domicílios e consumo de eletricidade.

Tabela 8: Relação do consumo de energia elétrica por cada parcela dos domicílios do Brasil

Número de Residências (milhões)	Porcentagem de cada domicílio no total	Porcentagem acumulada de cada domicílio	Energia elétrica total consumida pelas residências (GWh)	Porcentagem do consumo elétrico no total	Porcentagem acumulada do consumo elétrico
8.071	20,0%	20,0%	313.605	4,8%	4,8%
8.034	19,9%	39,9%	653.678	10,0%	14,8%
8.175	20,3%	60,2%	985.580	15,0%	29,8%
7.985	19,8%	80,0%	1.449.230	22,0%	51,8%
8.060	20,0%	100,0%	3.166.567	48,2%	100,0%
40.325	100,0%	-	6.568.660	100,0%	-

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados do IBGE.

Na quinta linha, verifica-se que 20% dos domicílios mais ricos são responsáveis por quase metade do consumo de energia elétrica no país (48,2%). Os 80% da população (demonstrada no percentual acumulado de cada domicílio) consomem aproximadamente a metade restante da energia, 51,8% (indicada no percentual acumulado do consumo de eletricidade).

Em seu artigo, Jacobson et al. (2005) analisaram a fração da população de cada país, o que representa metade do consumo total de eletricidade. Na Noruega, 50% da demanda de eletricidade do país é usada por 38% das famílias mais ricas, seguida pelos EUA, onde metade da eletricidade é consumida por quase 25% das residências. O Brasil apresenta resultados similares aos EUA, com 20% da população consumindo metade da energia do país; e, na sequência, El Salvador, consumindo 15%; Tailândia, 13%; e o Quênia, 6%.

Como esta parte da dissertação visa estudar as diferenças entre as cinco regiões geográficas do Brasil, a mesma análise de consumo da fração populacional

foi aplicada a elas. Os domicílios de cada região foram reunidos em decis de consumo de energia e analisaram a quantidade de energia elétrica que cada um consome. Por esse método, pode-se observar as regiões onde há consumo concentrado nos domicílios mais ricos ou onde é melhor distribuído. A Figura 19 mostra o consumo de todas as regiões. A coluna à esquerda exibe a porcentagem de consumo por decil e a coluna à direita apresenta a porcentagem acumulada de decil.

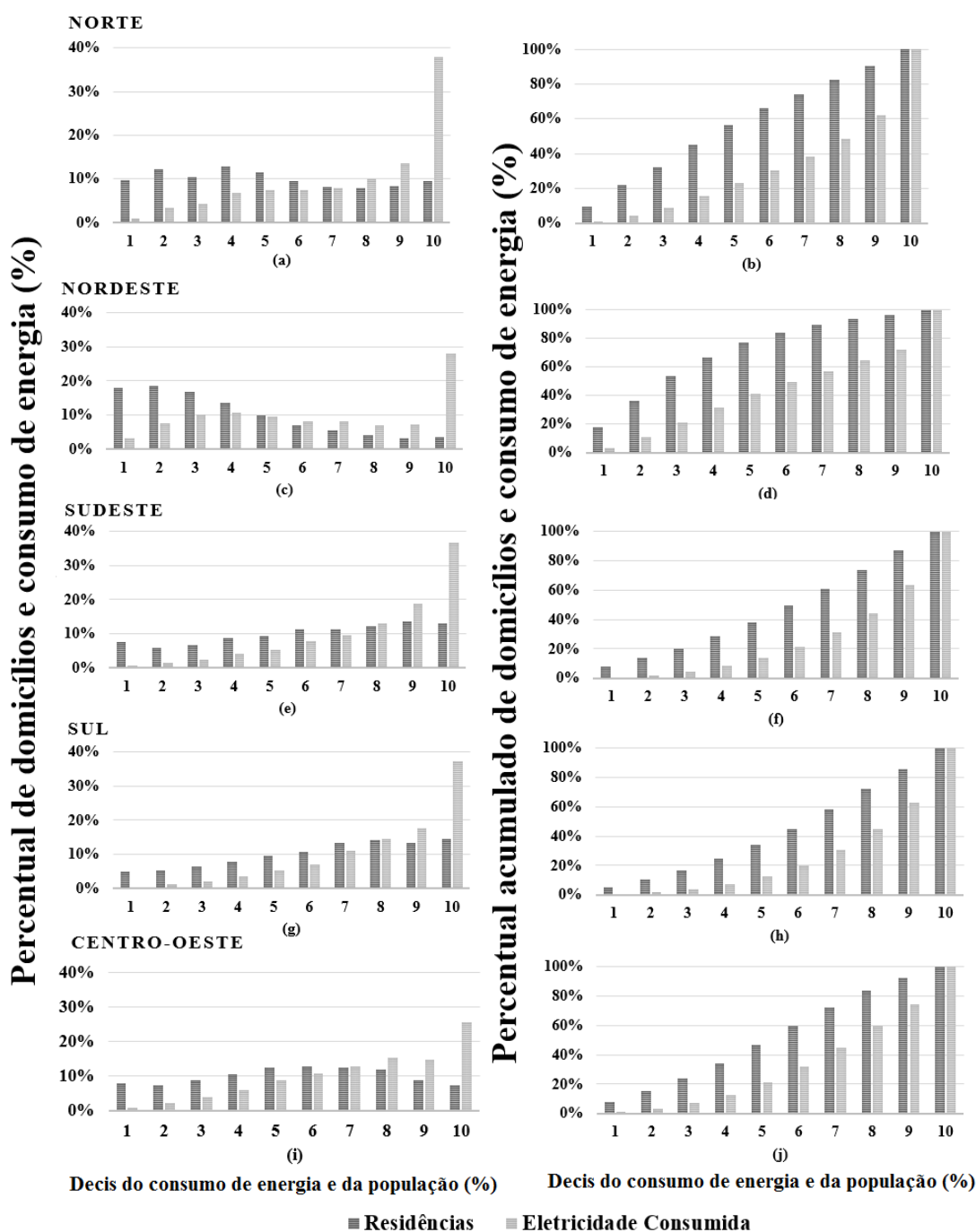


Figura 19 - Percentual de consumo de energia por decil do percentual de residências. Coluna da esquerda: percentagem de cada decil separado. Coluna da direita: percentagem de decil acumulados.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados do IBGE.

No gráfico a esquerda da Figura 19, percebe-se que o último decil consome uma percentagem de energia bem acima das demais, e quanto maior a desigualdade da região, maior a diferença. Ainda na coluna da esquerda, as regiões Norte e Nordeste apresentam menor percentual de domicílios nos decis de 6 a 9 do que nas regiões Sudeste e Sul. Na Figura 19a e Figura 19c, o consumo desses decis não chega a 10%, enquanto na Figura 19e e Figura 19g, está entre 10% e 20%, provando que essas regiões (Sudeste e Sul) apresentam médias classe com maior poder aquisitivo e maior consumo de energia, já que possuem maior PIB.

Analizando também o consumo por decil na coluna da esquerda, pode-se comparar a energia demandada pelo primeiro e último decil de cada região. O primeiro decil do Norte apresenta 9,59% do total de domicílios, consumindo 1,5% do total de energia; no Nordeste, 17,9% dos domicílios consomem 3,3% de energia; no Sudeste, 7,7% do total de domicílios que consomem 0,5% de energia; no Sul, 5% dos domicílios consomem 0,3% de energia e, no Centro-Oeste, 7,9% que consomem 0,8% de energia. Isso indica que, apesar de maior em algumas regiões, a desigualdade no Brasil também existe nas localidades mais ricas. Por outro lado, o último decil desses números apresenta um percentual de consumo de eletricidade superior ao percentual de domicílios.

Em seguida, analisando os gráficos na coluna da direita na Figura 19 de percentagem acumulada do consumo de energia, as regiões Norte e Nordeste têm mais domicílios em baixo consumo do que em outras regiões. Assim, observa-se um aumento no percentual de domicílios do quinto decil nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. A partir da análise do consumo acumulado, pode-se fazer a mesma avaliação do consumo de metade da população, o que foi feito por Jacobson et al. (2005).

O oitavo decil da Figura 19b apresenta 48,4% de energia nas regiões Norte, consumido por 82,3% dos domicílios mais pobres. Na Figura 19d, o sexto decil mostra que 50% da energia é consumida por 84% dos domicílios mais pobres. Assim, os outros 50% de energia são consumidos por 16% dos domicílios mais ricos da região Nordeste ($100\% - 84\% = 16\%$), um valor abaixo do consumo de energia

dos domicílios mais ricos dos EUA (50% do total). energia consumida por 25% das famílias mais ricas), como demonstrado por Jacobson et al. (2005). Quanto maior a diferença de 50% de energia por porcentagem de domicílios, maior o consumo dos domicílios mais ricos para atingir 100% de energia em 100% dos domicílios.

As três regiões com maior PIB per capita do país apresentam a mesma característica de desigualdade de consumo, próxima a metade da energia. Na Figura 19f, o oitavo decil mostra 44,3% da energia consumida por 73,4% dos domicílios mais pobres do Sudeste; enquanto no Sul, o oitavo decil da Figura 19h, pode-se observar que 45% da energia é utilizada por 72,4% dos domicílios. E no Centro-Oeste, o sétimo decil apresenta 45% da energia consumida por 71% dos domicílios da Figura 19j.

4.3 PROJEÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA DE PLACAS FV

Neste item é apresentada a projeção do número de residência, de potência instalada por placas FV e dos investimentos para o Brasil até 2040 nos três cenários. A Figura 20 demonstra a projeção de casas com geradores FV.

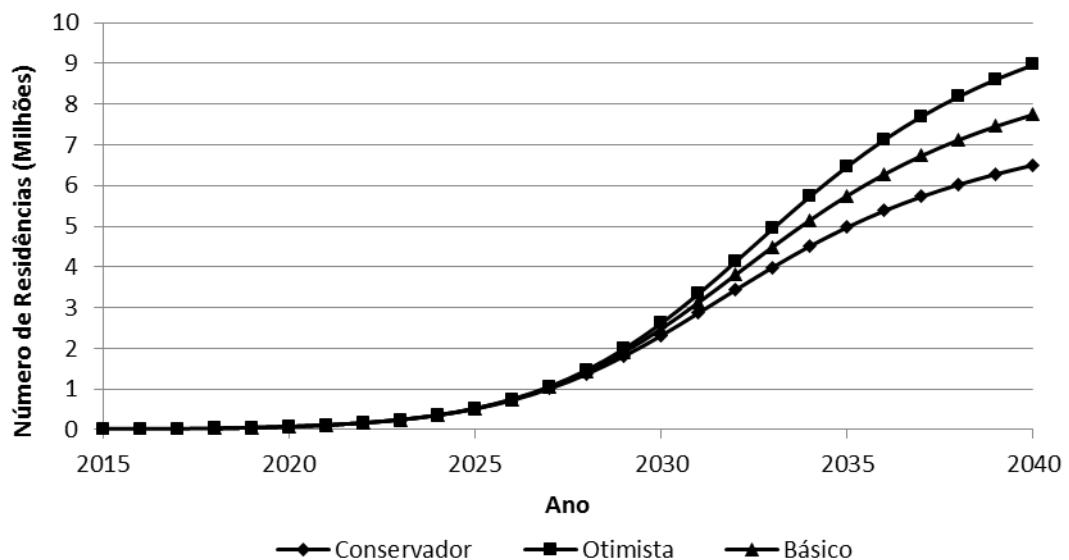


Figura 20: Projeção de residências com painel solar FV até 2040.

Observa-se na Figura 20 que todos os três cenários tem um comportamento semelhante, todos apresentam elevado crescimento do número de residências com placas FV. A diferença entre estes está no período que cada uma atinge um mesmo

número de residências. Por exemplo, observa-se que todos os três cenários alcançam 6 milhões de domicílios, cada um deles em tempos diferentes. No cenário otimista esse valor é alcançado em 2035, no básico seria em 2036 e no conservador, 2038.

No cenário conservador, o crescimento ocorre de forma acelerada, variando de 3 milhões até 4 milhões em três anos, de 2032 até 2034. Ao chegar em 2035 o crescimento continua, porém de forma menos acentuada. Portanto, a projeção indica que o crescimento acelerado, observado na Tabela 8 entre 2010 e 2018, irá prosseguir nos próximos anos, entretanto em algum momento ele se estabilizará.

Na projeção otimista é possível observar o momento em que o crescimento tende a uma inflexão, indicando a tendência de se estabilizar, algo que nos outros cenários poderia ocorrer apenas depois 2040. Após um grande número de residências já terem instalados geradores, o crescimento se manteria com poucas variações de um ano para o outro. Confirmando os dados da projeção de placas FV, o Brasil pode alcançar um valor aproximado de 8 milhões de residências com painéis FV até 2040.

Em 2018 os domicílios geraram em média 5kW de energia no setor residencial. Se esse padrão se mantiver, pode-se chegar a uma geração total de 40 GW de energia, apenas no setor residencial ($8 \text{ milhões de residências} \times 5\text{kW} = 40.000.000\text{kW} = 40 \text{ GW de energia}$).

A respeito dos custos do investimento, a Figura 20 demonstra a projeção para a evolução dos custos para montagem do gerador FV em residências nos três cenários. A Figura 21 demonstra o valor do investimento pela parcela de renda familiar que será utilizado para a aquisição da tecnologia. O PIB nacional é constituído de diversos setores, dentre eles, a renda familiar corresponde a 60% do PIB bruto do país. Por isso o valor do investimento é mostrado pela parcela do PIB familiar.

Para avaliar o custo do equipamento, foi usado como modelo um gerador de 5 kW, também utilizado no trabalho de Rodrigues et al. (2016), com o custo médio próximo de US\$ 7 mil, valor esse convertido do Real para Dólar americano utilizando a cotação média de 2018.

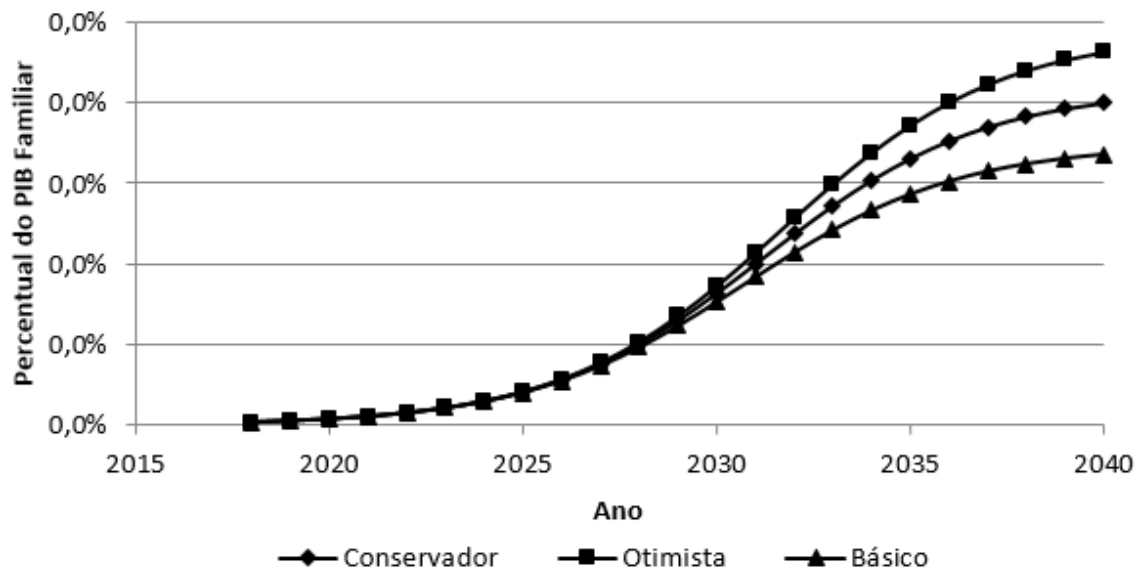


Figura 21: Percentual de investimento familiar em geradores FV até 2040.

Na Figura 21 pode-se observar um aumento nos preços relativos em relação ao PIB familiar para montagem em geradores FV nos próximos anos, considerando os três cenários de projeção. Essa elevação do investimento, não está relacionada a aumento dos custos dos materiais do gerador, mas sim pelo número maior de domicílios que podem aderir à tecnologia ano após ano.

Percebe-se que em um determinado momento todos os três cenários chegam a um valor máximo de custos e depois reduzem. No cenário otimista, por exemplo, o valor máximo de investimentos chega a 0,02% do PIB familiar total entre 2025 e 2030 e depois diminui. A queda dos investimentos possivelmente ocorre devido ao crescimento anual menor de residências, uma vez que a demanda por novos domicílios tende a cair em função do menor número de pessoas que vão chegando à idade de formar um domicílio. Uma vez que as maiores partes das famílias já tiverem instalados geradores FV, haveria um número menor de residências para aquisição de novas placas.

Apesar de demonstrarem o mesmo comportamento, os três cenários diferem quanto o valor máximo atingido por cada um deles. Como o cenário otimista projeta um número maior de residências com painéis FV, o valor de investimento total delas atinge uma porcentagem superior do que nos cenários básico e conservador. De mesma forma que o cenário otimista apresenta mais investimentos em um período de tempo mais curto que os outros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou as desigualdades existentes no consumo de energia elétrica nas cinco regiões geográficas do Brasil, e do país como um todo, e projetou o total de residências que poderão ter painéis FV até 2040. A partir da demonstração das diferenças de consumo de energia elétrica entre as faixas de renda, e as regiões do país, é possível elaborar políticas públicas para redução da desigualdade de consumo, como por exemplo, geração de energia descentralizada em residências sem acesso à energia elétrica. Essa seria uma forma de se equalizar a diferença e consumo entre os domicílios de faixas de renda diferentes.

Observou-se que a região norte é aquela que apresenta a maior desigualdade de consumo, seguida pelas regiões Sudeste, Sul, Nordeste e, por fim, a região Centro-Oeste. Observa-se que essa colocação das regiões não é por acaso. O consumo de energia de cada região está ligado ao tamanho de sua população e principalmente a renda per capita que está possui. As regiões Norte e Nordeste apresentam os menores PIB per capita, o que influencia em desigualdades de consumo elétrico entre os primeiros e últimos decis da população. Em contrapartida, as regiões Sudeste e Sul apresentam maiores PB per capita e também maiores consumo per capita.

As informações sócio econômicas das regiões (PIB per capita, Gini de renda, população e consumo de eletricidade) ajudam a compreender os Ginis de energia das regiões. Por exemplo, a região Nordeste apresenta um Gini de energia reduzido o que poderia causar a falsa impressão de um consumo energético mais igualitário naquela região. Entretanto, ao analisar o Gini de energia junto com o consumo per capita, observa-se que no Nordeste há uma predominância de baixo kWh per capita de consumo. O reduzido PIB per capita da região, em comparação com os demais PIBs do país, complementam a interpretação correta do Gini de energia desta região.

Já a análise feita no país inteiro, e não mais em suas regiões separadas, mostraram que os domicílios brasileiros apresentaram um consumo energético altamente desigual, já que 48,2% da energia elétrica no país é consumida por

apenas 20% da parcela mais rica da sociedade. Ou seja, valores muito inferiores aos encontrados na maioria dos países desenvolvidos e com uma distribuição mais uniforme de renda e energia.

No entanto, o Brasil reduziu sua desigualdade energética, pois, ao comparar os dados do ano 2000 com essa pesquisa, o país conseguiu reduzir o indicador do Gini em 0,155. A principal razão para essa redução pode ser atribuída à iniciativa de eletrificação rural desenvolvida nos últimos anos pelo governo, que afetou expressivamente o acesso a esse tipo de energia nas regiões mais pobres do país. Assim, o Brasil tem que estar mais envolvido em projetos para a implementação de energia elétrica.

A respeito das projeções para o número de residências com painéis FV, o trabalho estimou que até 2040 o Brasil pode alcançar 8 milhões de domicílios, variando um pouco esse valor dentro dos três cenários projetados. Se essas 8 milhões de residências gerarem uma média 5kW de energia (capacidade média das instalações FV no setor residencial no Brasil em 2018, segundo a ANEEL), podemos chegar a uma geração de 40 GW de energia.

Embora o valor de 8 milhões de residências possa parecer elevado, existe a possibilidade de o número ser ainda maior. Isso porque dentre os fatores utilizados para se limitar o interesse das residências na instalação de placas FV, estavam o tipo de residência e a renda domiciliar. Ou seja, foram retiradas da análise moradias compartilhadas e domicílios com renda baixa. Quanto ao tipo, residências, que não dispõem de espaço físico para a montagem dos geradores dificilmente poderiam se interessar pela instalação. Entretanto, quanto a renda, pode haver mudança. Neste trabalho, retiraram-se as residências com renda inferior a U\$ 1.000,00, pois estas não poderiam arcar com os investimentos iniciais. Porém, o presente trabalho não considerou a hipótese de queda dos preços das placas, sendo que isto poderia incentivar famílias com rendas inferiores a U\$ 1.000,00 de dólares a se interessarem por geradores FV. Essa faixa de domicílios pode aumentar o número de residências projetadas nesta pesquisa. Outro ponto que não foi considerado são subsídios governamentais que poderiam incentivar a instalação de painéis FV.

Os preços do investimento inicial em placas FV são um dos fatores que afastam o interesse na aquisição dos geradores atualmente. Entretanto a redução nos preços dos painéis e os constantes aumentos das tarifas de energia vêm

atraindo mais interessados nesta tecnologia. Com isso, o valor dos investimentos tende a se elevar muito até 2040. A presente pesquisa mostrou que os investimentos para a montagem do gerador podem chegar a 0,02 do PIB familiar, no cenário mais otimista. O PIB familiar é um dos pilares que abrangem o PIB nacional, sendo este responsável por 60% do valor bruto de renda do Brasil. Portanto, confirmando se as projeções até 2040, é estimado que parte considerável da renda da família seja depositada para a aquisição de geradores FV.

Os gráficos projetados demonstram que os investimentos no setor FV podem chegar em um valor máximo e após isso começarem a reduzir. A queda dos investimentos pode ocorrer devido ao crescimento anual menor de residências com painel FV, a partir do ano que atingem o máximo. Após isso o setor continuaria crescendo, porém em um ritmo mais lento.

Os gráficos desta dissertação mostraram que mesmo no cenário conservador, existe a possibilidade de aumento de residências com geração de energia FV. O que permite observar que o a geração de energia por essa fonte deve aumentar no país, mesmo que de forma devagar.

5.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Os dados utilizados para gerar o Coeficiente de Gini do Brasil e de suas regiões são da última pesquisa realizada pela POF em 2008/2009. Entretanto esses dados são os que têm informações mais recentes sobre os consumos familiares, uma vez que ainda não foi feita uma nova pesquisa. Portanto a referência nacional mais atualizada para orçamento familiares seque sendo esta versão da POF.

Sobre a projeção utilizada, pode-se considerar duas limitações. A primeira, a série histórica observada do número de residências com painéis solares ser pequena e com um elevado crescimento anual no número de domicílios com geradores. O alto crescimento anual indicava projeções difíceis de se concretizarem até 2040. Devido a isso, foi necessário utilizar a estimativa do EPE de 770 mil residências em 2026, para que a estimativa deste trabalho não se elevasse demais. A segunda limitação, foi devido a esta pesquisa não projetar a redução nos preços das placas FV, podendo assim abranger outras faixas de rendas que poderiam

instalar geradores, pois estes estariam em preços mais acessíveis nos próximos anos.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para próximos trabalhos nesta área, pode-se executar uma análise das condições de vida das famílias brasileiras a partir dos dados da próxima POF, que será coletada entre 2017 e 2018 e estará disponível a partir de 2019, de comparar com os apresentados nesta dissertação.

Em relação a projeção de residências, próximos trabalhos acadêmicos podem abordar mudanças na renda familiar a partir do aumento de residências com painéis FV. Também podem considerar a queda dos preços das placas, considerando uma assíntota mínima para o valor por metro quadrado de placa FV. Também é possível comparar as projeções feitas nesta pesquisa com os futuros dados da ANEEL sobre o número de residências com painéis FV, observando qual cenário da presente pesquisa ocorreu e os porquês do ocorrido.

5.4 PRODUÇÕES ORIGINADAS NESTE TRABALHO

	Artigo	Situação
1	Rocha, D.L.; Rangel, J.J.A.; Givisiez, G.H.N.; Análise do Coeficiente de Gini para verificar a desigualdade de consumo de energia elétrica em residências nas diferentes regiões do Brasil – Ambiente Construído	Submetido
2	Rocha, D.L.; Rangel, J.J.A.; Givisiez, G.H.N.; Oliveira, E.L.; Growth potential of residential photovoltaic solar energy in brazil – Energy Policy	Submetido
3	Rocha, D.L.; Nogueira, G.P.M.; Givisiez, G.H.N.; Rangel, J.J.A. Uso do Coeficiente de Gini e da curva de Lorenz para analisar a desigualdade de energia elétrica residencial nas regiões do Brasil - XXI Encontro Nacional de Estudos Populacionais	Publicado
4	Oliveira, E.L.; Rocha, D.L; Givisiez, G.H.N. Projeção Demanda Demográfica de Energia Elétrica no Brasil de 2010-2040 - XXI Encontro Nacional de Estudos Populacionais	Publicado

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Jair Andrade; CABRAL, Janaina. Relación entre la desigualdad de la renta y el crecimiento económico en Brasil: 1995-2012. **Problemas del Desarrollo**, [s.l.], v. 46, n. 180, p.129-150, jan. 2015. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-7036\(15\)72122-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-7036(15)72122-x).

ANTONAKAKIS, Nikolaos; CHATZIANTONIOU, Ioannis; FILIS, George. Energy consumption, CO 2 emissions, and economic growth: An ethical dilemma. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 68, p.808-824, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.105>.

BARISS, Uldis; TIMMA, Lelde; BLUMBERGA, Dagnija. Smart Metering Pilot Project Results. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 61, p.2176-2179, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.103>.

BAZILIAN, Morgan et al. Informing the Financing of Universal Energy Access: An Assessment of Current Financial Flows. **The Electricity Journal**, [s.l.], v. 24, n. 7, p.57-82, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tej.2011.07.006>.

BIROL, Fatih. Energy Economics: A Place for Energy Poverty in the Agenda?. **The Energy Journal**, [s.l.], v. 28, n. 3, p.1-3, 1 jul. 2007. International Association for Energy Economics (IAEE). <http://dx.doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol28-no3-1>.

BOUZAROVSKI, Stefan; PETROVA, Saska; SARLAMANO, Robert. Energy poverty policies in the EU: A critical perspective. **Energy Policy**, [s.l.], v. 49, p.76-82, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.033>.

BOUZAROVSKI, Stefan; THOMSON, Harriet. Energy Vulnerability in the Grain of the City: Toward Neighborhood Typologies of Material Deprivation. **Annals Of The American Association Of Geographers**, [s.l.], v. 108, n. 3, p.695-717, 14 nov. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/24694452.2017.1373624>.

BRASÍLIA. **Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL**. Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. Brasília: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, [2017]. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9. Acesso em 02 de outubro de 2018.

BREYER, Christian et al. Solar photovoltaics demand for the global energy transition in the power sector. **Progress In Photovoltaics: Research and Applications**, [s.l.], v. 26, n. 8, p.505-523, 2 nov. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/pip.2950>.

BUZAR, Stefan. The 'hidden' geographies of energy poverty in post-socialism: Between institutions and households. **Geoforum**, [s.l.], v. 38, n. 2, p.224-240, mar. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2006.02.007>.

CARVALHO, M. M. DE; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. **Impactos**

econômicos da ampliação do uso de energia solar residencial em Minas Gerais. 2017. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

CASTELLANOS, Sergio et al. Sustainable silicon photovoltaics manufacturing in a global market: A techno-economic, tariff and transportation framework. **Applied Energy**, [s.l.], v. 212, p.704-719, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.047>.

CHEN, Jiandong; CHENG, Shulei; SONG, Malin. Decomposing inequality in energy-related CO 2 emissions by source and source increment: The roles of production and residential consumption. **Energy Policy**, [s.l.], v. 107, p.698-710, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.05.003>.

COELHO, Suani T.; GOLDEMBERG, José. Energy access: Lessons learned in Brazil and perspectives for replication in other developing countries. **Energy Policy**, [s.l.], v. 61, p.1088-1096, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.062>.

JESUS, Igor Rosa Dias de; COSTA, Helder Gomes. Interfaces between production engineering and the public affairs: evidences from bibliometric analysis. **Scientometrics**, [s.l.], v. 105, n. 2, p.1183-1193, 30 ago. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-015-1724-1>.

DIXIT, Saurav et al. Role of Solar energy and issues in its implementation in the Indian context. **Matec Web Of Conferences**, [s.l.], v. 172, p.06001-06005, 2018. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/201817206001>.

DURO, Juan Antonio. The international distribution of energy intensities: Some synthetic results. **Energy Policy**, [s.l.], v. 83, p.257-266, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.022>.

FLEISCHHACKER, Andreas et al. Sharing solar PV and energy storage in apartment buildings: resource allocation and pricing. **Ieee Transactions On Smart Grid**, [s.l.], p.1-1, 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tsg.2018.2844877>.

GARCIA, Gabriela; NOGUEIRA, Eliel Ferreira; BETINI, Roberto Cesar. Solar Energy for Residential Use and Its Contribution to the Energy Matrix of the State of Paraná. **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, [s.l.], v. 61, n. , p.1-11, 22 out. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2018000510>.

GIVISIEZ, G. H. N.; OLIVEIRA, E. L. D. **Demanda Futura por Moradias.** Demografia, Habitação e Mercado. Niteroi: UFF, 2018.

GLOBAL SOLAR ATLAS: GLOBAL WIND ATLAS | ENERGYDATA.INFO. GLOBAL SOLAR ATLAS. 2019. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info>>. Acesso em: 1 jan. 2019.

GONZÁLEZ-EGUINO, Mikel. Energy poverty: An overview. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 47, p.377-385, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.013>.

INDERBERG, Tor Håkon Jackson; TEWS, Kerstin; TURNER, Britta. Is there a Prosumer Pathway? Exploring household solar energy development in Germany, Norway, and the United Kingdom. **Energy Research & Social Science**, [s.l.], v. 42, p.258-269, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2018.04.006>.

JACOBSON, Arne; MILMAN, Anita D.; KAMMEN, Daniel M.. Letting the (energy) Gini out of the bottle: Lorenz curves of cumulative electricity consumption and Gini coefficients as metrics of energy distribution and equity. **Energy Policy**, [s.l.], v. 33, n. 14, p.1825-1832, set. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2004.02.017>.

JANNUZZI, Gilberto de Martino; MELO, Conrado Augustus de. Grid-connected photovoltaic in Brazil: Policies and potential impacts for 2030. **Energy For Sustainable Development**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.40-46, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2012.10.010>.

KIM, Jin Sik et al. An analysis of energy consumption to identify urban energy poverty in Seoul. **International Journal Of Urban Sciences**, [s.l.], v. 20, n. 1, p.129-140, 2 jan. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/12265934.2015.1128350>.

LAHIMER, A.a. et al. Research and development aspects on decentralized electrification options for rural household. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 24, p.314-324, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.057>.

LI, Yong; OBERHEITMANN, Andreas. Challenges of rapid economic growth in China: Reconciling sustainable energy use, environmental stewardship and social development. **Energy Policy**, [s.l.], v. 37, n. 4, p.1412-1422, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.002>.

MALAKAR, Krishna; MISHRA, Trupti; PATWARDHAN, Anand. Inequality in water supply in India: an assessment using the Gini and Theil indices. **Environment, Development And Sustainability**, [s.l.], v. 20, n. 2, p.841-864, 28 jan. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-017-9913-0>.

MAYOL, Enrique Macpherson. Recursos Naturales. **Arbor**, [s.l.], v. 166, n. 653, p.37-49, 30 maio 2000. Departamento de Publicaciones del CSIC. <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2000.i653.1000>.

MCCAFFERY, Rebecca M. et al. Demographic Monitoring and Population Viability Analysis of Two Rare Beardtongues from the Uinta Basin. **Western North American Naturalist**, [s.l.], v. 74, n. 3, p.257-274, nov. 2014. **Western North American**

Ministério de Minas e Energia - Empresa de pesquisa energética. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. 1 edição.

Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF[1].pdf). Acesso em: 22 de jun. de 2018.

MIRNEZAMI, Seyed Reza. Electricity inequality in Canada: Should pricing reforms eliminate subsidies to encourage efficient usage?. **Utilities Policy**, [s.l.], v. 31, p.36-43, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2014.08.001>.

MISHRA, Pulak; BEHERA, Bhagirath. Socio-economic and environmental implications of solar electrification: Experience of rural Odisha. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 56, p.953-964, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.075>.

OBERMAIER, Martin et al. An assessment of electricity and income distributional trends following rural electrification in poor northeast Brazil. **Energy Policy**, [s.l.], v. 49, p.531-540, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.057>.

PACHAURI, S. et al. On Measuring Energy Poverty in Indian Households. **World Development**, [s.l.], v. 32, n. 12, p.2083-2104, dez. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.08.005>.

PALM, Jenny; ERIKSSON, Elina. Residential solar electricity adoption: how households in Sweden search for and use information. **Energy, Sustainability And Society**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.1-9, 7 maio 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13705-018-0156-1>.

PEREIRA, Marcio Giannini; FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos; SILVA, Neilton Fidelis da. Rural electrification and energy poverty: Empirical evidences from Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 14, n. 4, p.1229-1240, maio 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.12.013>.

PEREIRA, Marcio Giannini; FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos; SILVA, Neilton Fidelis da. The challenge of energy poverty: Brazilian case study. **Energy Policy**, [s.l.], v. 39, n. 1, p.167-175, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.025>.

PINEAU, Pierre-olivier. Electricity Subsidies in Low-Cost Jurisdictions: The Case of British Columbia. **Canadian Public Policy**, [s.l.], v. 34, n. 3, p.379-394, set. 2008. University of Toronto Press Inc. (UTPress). <http://dx.doi.org/10.3138/cpp.34.3.379>.

ROCHA, Luiz Célio Souza et al. Photovoltaic electricity production in Brazil: A stochastic economic viability analysis for small systems in the face of net metering and tax incentives. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 168, p.1448-1462, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.018>.

RODRIGUES, Sandy et al. Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries. **Solar Energy**, [s.l.], v. 131, p.81-95, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.02.019>.

ROSA, Caroline de Oliveira Costa Souza et al. Complementarity of Hydro, Photovoltaic, and Wind Power in Rio de Janeiro State. **Sustainability**, [s.l.], v. 9, n. 7, p.1130-1142, 29 jun. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su9071130>.

ROSAS-FLORES, Jorge Alberto; GÁLVEZ, David Morillón; ZAYAS, José Luís Fernández. Inequality in the distribution of expense allocated to the main energy fuels for Mexican households: 1968–2006. **Energy Economics**, [s.l.], v. 32, n. 5, p.960-966, set. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2010.02.007>.

SABOOHI, Yadollah. An evaluation of the impact of reducing energy subsidies on living expenses of households. **Energy Policy**, [s.l.], v. 29, n. 3, p.245-252, fev. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-4215\(00\)00116-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-4215(00)00116-6).

SCHMIDT, Johannes; CANCELLA, Rafael; PEREIRA, Amaro O.. The role of wind power and solar PV in reducing risks in the Brazilian hydro-thermal power system. **Energy**, [s.l.], v. 115, p.1748-1757, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.059>.

SINGH, Rozita et al. Electricity (in)accessibility to the urban poor in developing countries. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, [s.l.], v. 4, n. 4, p.339-353, 16 set. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/wene.148>.

SOKOLOVA, Alice; AKSANLI, Baris. Demographical Energy Usage Analysis of Residential Buildings. **Journal Of Energy Resources Technology**, [s.l.], v. 141, n. 6, p.0620031-0620036, 18 jan. 2019. ASME International. <http://dx.doi.org/10.1115/1.4042451>.

SOVACOOOL, Benjamin K.. Energy Poverty and Development in Papua New Guinea: Learning from the Teacher's Solar Lighting Project. **Forum For Development Studies**, [s.l.], v. 40, n. 2, p.327-349, jun. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/08039410.2012.736405>.

TORGAL, Fernando Pacheco. Breve análise da estratégia da União Europeia (UE) para a eficiência energética do ambiente construído. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 13, n. 4, p.203-212, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212013000400014>.

USMAN, Adil et al. Sustainable energy in rural communities of Bongouanou: Utilizing solar energy as a source for electricity. 2013 **Ieee Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS)**, [s.l.], p.15-20, ago. 2013. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ghtc-sas.2013.6629881>.

VAZQUEZ, Miguel; HALLACK, Michelle. The role of regulatory learning in energy transition: The case of solar PV in Brazil. **Energy Policy**, [s.l.], v. 114, p.465-481, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.066>.

VIANA, Alexandre G.; RAMOS, Dorel Soares. Outcomes from the first large-scale solar PV auction in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 91, p.219-228, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.003>.

WADA, Naoki et al. Evaluating effects on the flow of electrical and electronic equipment and energy consumption due to alternative consumption patterns in China. **Journal Of Risk Research**, [s.l.], v. 15, n. 1, p.107-130, jan. 2012. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/13669877.2011.601322>.

WOLSKE, Kimberly S. et al. Accelerating demand for residential solar photovoltaics: Can simple framing strategies increase consumer interest?. **Global Environmental Change**, [s.l.], v. 53, p.68-77, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.005>.

WORLD ECONOMIC OUTLOOK DATABASE OCTOBER 2017 (Org.). **INTERNATIONAL MONETARY FUND**: IMF COUNTRY INFORMATION. 2017. Disponível em: <<https://www.imf.org/en/countries>>. Acesso em: 1 jan. 2019.

YANG, Jiye et al. Gini coefficient constraint method for making monthly trade schedule of directly dispatched thermal power generation units. **2016 IEEE Asia-Pacific Power And Energy Engineering Conference (appec)**, [s.l.], p.2000-2006, out. 2016. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/appec.2016.7779884>.

ZHANG, Zhao et al. Modeling heterogeneous vehicle ownership in China: A case study based on the Chinese national survey. **Transport Policy**, [s.l.], v. 54, p.11-20, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.10.005>.