

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO

ROBERTO MARQUES DE FRANÇA JUNIOR

**FATORES DETERMINANTES DA ADOÇÃO DA TECNOLOGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL NO BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA

2020

ROBERTO MARQUES DE FRANÇA JUNIOR

**FATORES DETERMINANTES DA ADOÇÃO DA TECNOLOGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL NO BRASIL**

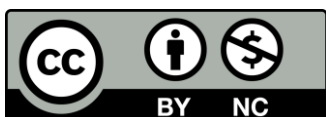
**Determinant factors of the adoption of residential photovoltaic solar
technology in Brazil**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Thiago Cavalcante Nascimento.

CURITIBA

2020



[Atribuição – Uso não
Comercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Atribuição - Uso Não Comercial (BY-NC) - Permite que outros remixem, adaptem e criem obras derivadas sobre a obra licenciada, sendo vedado o uso com fins comerciais. As novas obras devem conter menção ao autor nos créditos e também não podem ser usadas com fins comerciais. Porém as obras derivadas não precisam ser licenciadas sob os mesmos termos desta licença.

TERMO DE APROVAÇÃO

FATORES DETERMINANTES DA ADOÇÃO DA TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL NO BRASIL

por

Roberto Marques de França Júnior

Esta dissertação foi apresentada às **10h00, dia 21 de agosto de 2020** como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ADMINISTRAÇÃO, na Linha de Pesquisa **Tecnologia e Desenvolvimento Organizacional**, Área de Concentração **Organizações e Tecnologia**, do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Thiago Cavalcante Nascimento
(PPGA/UTFPR)
Orientador

Prof. Dr. Ricardo Lobato Torres
(PPGA/UTFPR)
Membro Interno

Profa. Dra. Andréa Torres Barros Batinga
de Mendonça
(PROFNIT/UFPR)
Membro Externo

Profa. Dra. Danielle Denes dos Santos Carstens
(PPGA/UP)
Membro Externo

Prof. Dr. Thiago Cavalcante Nascimento
(PPGA/UTFPR)
Coordenador do PPGA

Câmpus Curitiba

Avenida: Sete de Setembro, 3165
80230-901 – Curitiba – Paraná - Brasil
Fone: (41) 3310-4545
www.utfpr.edu.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que torna todas as coisas possíveis, a minha querida esposa Lenice, minha eterna namorada e companheira em todos os momentos, por todo o apoio, amor, carinho, paciência e atenção dedicado a mim durante toda essa jornada e sempre me levando um chá quente para me incentivar a continuar.

Aos meus familiares e amigos pelo apoio recebido e compreensão pela minha ausência durante este tempo de estudos.

Aos professores do PPGA da UTFPR e em especial ao meu orientador, professor Thiago, pela compreensão e paciência durante todo o processo e aos colegas de mestrado, com quem eu convivi durante esse período.

Meu muito obrigado a todos

RESUMO

A adoção da tecnologia solar fotovoltaica em escala residencial tem sido incentivada em diversos países, inclusive no Brasil, entretanto, ainda pouco se conhece sobre os padrões e fatores determinantes da adoção dessa tecnologia no contexto de países em desenvolvimento. Nesse sentido, o presente estudo pretende preencher esta lacuna, buscando identificar os fatores determinantes da adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil. A população estudada no presente estudo foi constituída por 123.552 unidades de sistemas fotovoltaicos residenciais, adotados (e instalados) ao longo do período compreendido entre janeiro de 2014 a dezembro de 2019 e por unidade da federação, conforme a base de dados de outorgas e registros de Geração Distribuída da Agência Nacional de Energia Elétrica. A abordagem metodológica empregada é quantitativa, com corte longitudinal, tratamento estatístico dos dados e faz uso de um modelo longitudinal de regressão não-linear binomial negativo com efeitos fixos. Foi identificado que os fatores tarifa média de eletricidade, consumo médio mensal de eletricidade das famílias e incentivos existentes exercem impacto positivo sobre a adoção de sistemas fotovoltaicos residenciais pelas famílias. E das variáveis socioeconômicas relacionadas a cada unidade da federação, apenas a densidade habitacional desempenha impacto positivo na adoção dos sistemas fotovoltaicos residenciais, enquanto a taxa de desocupação não apresentou significância estatística e o rendimento domiciliar per capita exerce influência negativa sobre a adoção. Além disso, os resultados sugerem que a taxa de adoção dessa tecnologia não segue, necessariamente, os padrões espaciais de distribuição da população e da renda. Os resultados obtidos também sugerem que, no contexto brasileiro, as famílias procuram instalar sistemas fotovoltaicos residenciais com o objetivo de reduzir suas contas mensais de energia elétrica. Contudo, o impacto negativo exercido pelo rendimento domiciliar per capita e o efeito positivo dos incentivos indicam que estes últimos são necessários para aumentar a taxa de adoção dessa tecnologia no país.

PALAVRAS-CHAVE: Adoção de Inovações. Sistema Fotovoltaico Residencial. Geração Distribuída. Minigeração Distribuída. Microgeração Distribuída. Brasil.

ABSTRACT

The adoption of solar photovoltaic technology on a residential scale has been encouraged in several countries, including Brazil, however, little is known about the standards and determinants of the adoption of this technology in the context of developing countries. In this sense, the present study intends to fill this gap, seeking to identify the determinants of the adoption of residential photovoltaic solar technology in Brazil. The population studied in the present study consisted of 123,552 units of residential photovoltaic systems, adopted (and installed) over the period from January 2014 to December 2019 and per federation unit, according to the database of grants and registrations of Distributed Generation of the National Electric Energy Agency. The methodological approach used is quantitative, with longitudinal cut, statistical treatment of the data and makes use of a longitudinal model of negative binomial nonlinear regression with fixed effects. It was identified that the factors average electricity tariff, average monthly electricity consumption of families and existing incentives have a positive impact on the adoption of residential photovoltaic systems by families. And of the socioeconomic variables related to each unit of the federation, only the housing density has a positive impact on the adoption of residential photovoltaic systems, while the unemployment rate was not statistically significant and the per capita household income has a negative influence on the adoption. In addition, the results suggest that the adoption rate of this technology does not necessarily follow the spatial patterns of population and income distribution. The results obtained also suggest that, in the Brazilian context, families seek to install residential photovoltaic systems in order to reduce their monthly electricity bills. However, the negative impact of per capita household income and the positive effect of incentives indicate that the latter are necessary to increase the adoption rate of this technology in the country.

KEYWORDS: Adoption of Innovations. Residential Photovoltaic System. Distributed generation. Distributed minigeneration. Distributed microgeneration. Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Clusters relacionados às quatro correntes teóricas	42
Figura 2 - Categorias de adotantes	47
Figura 3 - Diagrama de um SFV residencial.....	72
Figura 4 - Representação do mecanismo de compensação de energia	73
Figura 5 – Enquadramento da pesquisa	88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução dos SFV residenciais instalados no Brasil: 2014-2019	127
Gráfico 2 - SFV residenciais no Brasil – 2014-2019 – evolução no total de unidades instaladas por Região	127
Gráfico 3 - Participação relativa (%) de cada Região no total de unidades instaladas no período - 2014 – 2019	128
Gráfico 4 - Participação relativa (%) de cada região na potência total instalada no período - 2014 –2019.....	129
Gráfico 5 - Evolução da participação relativa (%) de cada região no total de unidades instaladas de SFV residenciais no período - 2014 – 2019	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quatro modelos de difusão de inovação	41
Quadro 2 - Relação dos artigos selecionados a partir do levantamento bibliográfico	53
Quadro 3 - Resumo das variáveis explicativas usadas nos artigos selecionados, categorias e total de citações	58
Quadro 4 - Principais componentes de um SFV residencial	72
Quadro 5 - Resumo das mudanças no sistema de GD	77
Quadro 6 - Principais estratégias de promoção dos SFV residenciais e demais TER	79
Quadro 7 – Linhas de financiamento públicas disponíveis para GD no Brasil	84
Quadro 8 – Variáveis empregadas nos modelos de regressão	95
Quadro 9 - Relação entre objetivos específicos, hipóteses de pesquisa, variáveis empregadas, autores relacionados e a relação com a obra Difusão de Inovações de Rogers (1983).....	98
Quadro 10 - Resumo das fontes e locais de acesso aos recursos (dados) da pesquisa.....	102
Quadro 11 - Variáveis empregadas nas expressões (4) e (5).....	114
Quadro 12 - Variáveis empregadas no modelo final	140
Quadro 13 - Resumo dos resultados obtidos	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – SFV residenciais no Brasil – unidades instaladas por UF	104
Tabela 2 - SFV residenciais no Brasil – unidades instaladas por Região	105
Tabela 3 - Número de unidades de SFV residenciais instalados por modalidade.....	106
Tabela 4 - Número de unidades de SFV residenciais instalados conforme a potência instalada	106
Tabela 5 - Recorte de parte do painel utilizado no estudo	108
Tabela 6 - Decomposição da variância da variável dependente	112
Tabela 7 - Resultado do teste para verificação de existência de superdispersão nos dados	115
Tabela 8 - Sumário estatístico (exceto variáveis <i>dummies</i>)	120
Tabela 9 - Unidades de SFV residenciais instalados por Região.....	121
Tabela 10 - Distribuição dos SFV - por potência instalada (10 kw).....	122
Tabela 11 - Unidades de SFV residenciais instalados por modalidade de geração	123
Tabela 12 - SFV residenciais no Brasil – 2014-2019 – unidades instaladas e participação relativa (%) – por UF.....	124
Tabela 13 - SFV residenciais no Brasil – 2014-2019 – Potência instalada e Participação relativa (%) – por UF	125
Tabela 14 - Taxa de adoção de SFV residências entre as residências conectadas a rede elétrica por UF – valores totais até dezembro/2019	131
Tabela 15 - Taxa de adoção de SFV residências entre as residências conectadas a rede elétrica por Região – valores totais até dezembro/2019	132
Tabela 16 - Comparativo entre o padrão de adoção de SFV residenciais em relação a população e ao rendimento domiciliar per capita (dados referentes a dez/2019).	133
Tabela 17 - Comparação entre os modelos estimados	135
Tabela 18 - Resultado da estimação do modelo por efeitos aleatórios	136
Tabela 19 - Teste de Hausman.....	138

Tabela 20 - Resultado do modelo de regressão binomial negativo por efeitos fixos.....	141
Tabela 21 - Resultado do modelo final de regressão binomial negativo por efeitos fixos	143

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BB	Banco do Brasil S.A
BNB	Banco do Nordeste do Brasil S.A
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CE	Comissão Europeia
CEF	Caixa Econômica Federal
CO2	Dióxido de Carbono
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CQNUAC	Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
FIT	<i>Feed-in-tariffs</i>
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
Gw	<i>Gigawatt</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	<i>International Energy Agency</i>
iNDC	<i>Intended Nationally Determined Contributions</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
KW	<i>Kilowatt</i>
kW/h	<i>Kilowatt/hora</i>
MW	<i>Megawatt</i>
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PDE	Plano Nacional de Expansão de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD Contínua	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua

PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
SFV	Sistemas solares fotovoltaicos
SSCI	<i>Social Sciences Citation Index</i>
TER	Tecnologias de energias renováveis
TPO	<i>Thirty-party-owned</i>
TW/h	<i>Terawatt/hora</i>
UF	Unidade da federação
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Problema de Pesquisa	16
1.2	Objetivos da Pesquisa	24
1.2.1	Objetivo geral	24
1.2.2	Objetivos específicos	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1	Inovação	31
2.2	Adoção e difusão de inovações	38
2.3	Determinantes da adoção de SFV residenciais	51
2.3.1	Comportamento ou atitude ambiental	62
2.3.2	Tamanho da residência.....	63
2.3.3	Tipo de ocupação da residência: residência alugada ou ocupada pelo proprietário	64
2.3.4	Tipo da residência.....	65
2.3.5	Densidade populacional	66
2.3.6	Densidade habitacional	66
2.3.7	Nível educacional.....	67
2.3.8	Renda	67
2.3.9	Incentivos financeiros.....	69
2.4	Caracterização dos sistemas fotovoltaicos residenciais	71
2.5	Geração distribuída	73
2.5.1	Políticas de incentivos a adoção de GD.....	77
2.5.1.1	Tarifa de alimentação (<i>feed-in-tariff</i>)	79
2.5.1.2	Leilões.....	80
2.5.1.3	Sistemas de cotas.....	81
2.5.1.4	Sistema de medição líquida	81
2.5.1.5	Fontes de financiamento disponíveis para a aquisição de SFV residenciais no Brasil	83
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	86
3.1	Tipo de estudo	86
3.2	Hipóteses de pesquisa e descrição das variáveis usadas no modelo	88
3.3	Procedimentos empregados para coleta de dados	100
3.3.1	Fontes dos dados.....	100
3.3.2	Descrição da População, abrangência e período estudado	102

3.4	Instrumentos e formas de análise dos resultados	106
3.4.1	Modelos longitudinais de regressão não-lineares para dados em painel	107
3.4.1.1	Modelo longitudinal de regressão não-linear binomial negativo	110
3.4.1.1.1	<i>Análise do conjunto de dados</i>	110
3.4.1.1.2	<i>Estimação do modelo Poisson e verificação da existência da superdispersão nos dados</i>	112
3.4.1.1.3	<i>Estimação do modelo binomial negativo</i>	115
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	120
4.1	Estatísticas Descritivas	120
4.2	Resultados do modelo longitudinal de regressão não linear binomial negativo	134
4.2.1	Seleção dos modelos estimados.....	134
4.2.1.1	Seleção dos modelos estimados.....	135
4.2.1.2	Apresentação do modelo binomial negativo por efeitos fixos.....	139
4.2.1.3	Modelo final.....	142
4.2.1.4	Verificação das hipóteses de pesquisa e discussão dos resultados	143
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
	REFERÊNCIAS	161

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo se insere dentro do campo de estudos referente a adoção de inovações e busca, especificamente, identificar os fatores determinantes da adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil.

Esta seção procura contextualizar e estabelecer as relações que fundamentam a necessidade de estudos relacionados ao tema abordado neste trabalho. Nesse sentido, será introduzido o problema de pesquisa que direciona este estudo e o contexto do qual deriva, bem como, os objetivos geral e específicos e as justificativas que motivaram a sua realização.

1.1 Problema de Pesquisa

A geração e o uso de energia constituí um dos pilares da vida humana, um elemento essencial para qualidade de vida, geração de riquezas e consequente desenvolvimento econômico e social (PUNIA SINDHU; NEHRA; LUTHRA, 2016; RAMÍREZ *et al.*, 2017; SUMATHI; KUMAR; SUREKHA, 2015).

O uso de energia proporcionou à humanidade um maior padrão de produção e consumo. Em termos comparativos, a população mundial cresceu 23% de 2000 a 2017, passando de aproximadamente 6,2 bilhões para 7,52 bilhões de habitantes. No mesmo período, o produto interno bruto global (PIB a dólares americanos de 2010) cresceu 60%; com a oferta de energia aumentando em 39,4% e sua demanda em 38,2% (IEA, 2020).

Entretanto, o presente estudo concentra-se em uma particular forma de energia, a energia elétrica ou eletricidade. E devido ao fato de poder ser gerada a partir de outras fontes de energia, de sua mais fácil transmissão, distribuição e uso, se materializou ao longo da história humana na forma preferida de energia (KARAKAYA; SRIWANNAWIT, 2015).

A demanda global de eletricidade também aumentou em 68,2% no período de 2000 a 2017, um crescimento superior a já referida demanda global de energia e ao PIB global. E para o atendimento dessa demanda a oferta cresceu 66%, um percentual semelhante ao crescimento da demanda (IEA, 2020).

Aproximadamente 65% da demanda de eletricidade provém da queima de combustíveis fósseis, provocando impactos ambientais e sociais, como o aumento nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), aquecimento global e consequente mudança climática; além de conflitos armados por acesso a recursos (principalmente petróleo) (KASTNER; STERN, 2015; SHAKEEL; RAHMAN, 2018).

Apesar de sua importância, parte da população mundial vive distante dos benefícios proporcionados pela eletricidade, com aproximadamente 1 bilhão de pessoas, principalmente na África Subsaariana e sul da Ásia vivem sem eletricidade (KARAKAYA; SRIWANNAWIT, 2015; REN21, 2019).

Com o objetivo de combater a mudança climática, os desafios ambientais apresentados e proporcionar acesso a eletricidade (e as demais fontes de energia) e qualidade de vida as pessoas, vários acordos e tratados internacionais foram firmados; sendo o último deles o Acordo de Paris, realizado em dezembro de 2015, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUAC) (UNFCCC, 2015).

O objetivo central do Acordo de Paris é buscar mitigar a ameaça das mudanças climáticas e elevação da temperatura global. Para isso, todos os 197 países signatários se comprometeram, por meio das chamadas pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC) a reduzir suas emissões de GEE (UNFCCC, 2015). E o Brasil ratificou voluntariamente seu compromisso no acordo em setembro de 2016, comprometendo-se a reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e em 43% até 2030, com base nos níveis de 2005 (BRASIL, 2016).

Seguindo essa linha, a Comissão Europeia (CE) lançou em dezembro de 2019 o Pacto Ecológico Europeu (*European Green Deal*) para a União Europeia (UE), visando enfrentar os desafios relacionados ao clima e ao meio ambiente (EC, 2019). Com essa iniciativa a UE busca auxiliar na transição para maior sustentabilidade, segurança energética e competitividade econômica (CHILD *et al.*, 2019; EC, 2019).

Tal iniciativa é definida como uma estratégia de crescimento, visando transformar a UE em uma economia moderna, eficiente em termos de uso de recursos e competitiva, sendo três suas diretrizes principais: zerar as emissões

líquidas de GEE até 2050, proporcionar crescimento econômico dissociado do uso de recursos e a busca por uma sociedade mais justa e próspera (EC, 2019). Basicamente, é uma forma da UE pôr em ação os compromissos estabelecidos no Acordo de Paris (EC, 2019; UNFCCC, 2015).

Nesses acordos e iniciativas estabelecidos há a declarada preocupação com um desenvolvimento global sustentável, de forma ampla, abrangendo as dimensões econômicas, sociais e ambientais. Ressalta-se o caráter transformador inerente a estas iniciativas, buscando uma transição em direção ao uso de energias limpas, transformação dos modos de produção e atuais padrões de consumo, bem como, reconfiguração e criação de novos setores e modelos de negócios (EC, 2019; UNFCCC, 2015).

Apesar dos acordos estabelecidos e dos esforços empreendidos, as emissões de GEE aumentaram desde a crise financeira global de 2009 (estabilizando em 2019). Diante desse quadro, os países deveriam triplicar seus esforços atuais para cumprir os compromissos assumidos (UN, 2019).

Tal perspectiva segue em linha com recente estudo prevendo um aumento de 26,5% a 36,5% nas emissões totais de CO₂ em 2030, em comparação com o valor de 2005, para os dez países que mais emitem GEE. Desses países, em três deles (China, Índia e Rússia) é previsto o cumprimento dos compromissos de iNDC assumidos em alguns dos cenários simulados no estudo (DONG *et al.*, 2018).

Uma alternativa empregada para o atendimento da demanda de eletricidade, e em consonância com os objetivos de redução das emissões de GEE, ocorre através do uso da energia nuclear, que junto com as fontes de energias renováveis é considerada uma fonte de geração de baixo carbono (IEA, 2019). Contudo, duas questões emergem do emprego dessa fonte de energia: a ainda insolúvel questão do descarte dos resíduos utilizados no processo de fissão nuclear e a insegurança gerada pelo funcionamento das centrais nucleares (KASTNER; STERN, 2015).

Apesar dessas questões, a geração de eletricidade a partir da energia nuclear aumentou 3,5% em 2019, com crescimento acumulado de 8% no período de 2000 a 2019, com a geração de eletricidade passando de 2.600 TW/h em 2000 para 2800

TW/h em 2019, com níveis de produção superior aos registrados antes do acidente de Fukushima (IEA, 2019; 2020).

Diante desse quadro, algumas saídas são apontadas, como a redução do consumo de eletricidade, não somente do ponto de vista comportamental, mas por meio do desenvolvimento e adoção de inovações tecnológicas mais eficientes e através da alteração da matriz elétrica, com maior ou total participação de fontes de energias renováveis (KASTNER; STERN, 2015; KEMP, 1994).

Nesse sentido, para o cumprimento de suas metas ambientais, bem como, por questões de estabilidade no fornecimento de eletricidade, os governos estão incentivando (por meio da redução de tributos, subsídios e demais esquemas de incentivo) a adoção de tecnologias de energias renováveis (TER) para geração de eletricidade, inclusive por proprietários residenciais (ALLAN; MCINTYRE, 2017; DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; RODE; WEBER, 2016).

Com isso, a busca pela superação dos desafios impostos tem conduzido a investimentos em TER. Em 2018 foram adicionados 167 Gw na capacidade instalada global de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis (excluindo grandes hidrelétricas). Desse total, 108 Gw refere-se a sistemas fotovoltaicos (SFV) e 50 Gw a sistemas eólicos, representando um total investido de US\$ 272,9 bilhões (UNEP, 2019).

Do ponto de vista tecnológico, três pilares compõem a estratégia de redução das emissões do setor elétrico: i) expansão da geração de eletricidade renovável; ii) rede elétrica inteligente e flexível; e iii) aumento da oferta de produtos e processos que funcionam com eletricidade (em imóveis, transportes e indústria). E as tecnologias básicas para a expansão da eletrificação a partir de TER já existem (UNEP, 2019).

De fato, as já existentes tecnologias relacionadas a geração distribuída de eletricidade (GD), entre as quais os sistemas fotovoltaicos (SFV) residenciais, cumprem esse papel e são uma das bases das chamadas redes elétricas inteligentes (*smart-grid*), pois estas necessitam da adoção e consequente difusão de GD de eletricidade, inclusive para os consumidores residenciais (PONCE-JARA *et al.*, 2017; SNAPE, 2016).

Na modalidade de GD, os consumidores desempenham um papel ativo no sistema elétrico, produzindo sua própria eletricidade e exportando a produção excedente para a rede, os chamados *prosumers* (BROWN; HALL; DAVIS, 2019). Além disso, a energia solar é considerada a fonte mais promissora para os consumidores residenciais de baixa tensão (DOS SANTOS; CANHA; BERNARDON, 2018).

Embora a maior parte da capacidade instalada de toda eletricidade renovável, inclusive a solar, seja em grande escala, a adoção de GD desempenha um papel importante no aumento da penetração de energia renovável nos sistemas elétricos (SIMPSON; CLIFTON, 2017).

Os SFV residenciais estão entre as formas mais incentivadas de GD de eletricidade, apesar de seu custo inicial ser superior a outras formas de GD a partir de fontes renováveis. Seu caráter modular lhe proporciona escalabilidade, permitindo sua instalação em residências de diversos tamanhos e em locais distintos (CASTANEDA; ZAPATA; ARISTIZABAL, 2018; DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; SNAPE, 2016).

Além disso, sua adoção gera um impacto visual, já destacado por Rogers (1983) em seu estudo sobre a difusão de SFV residenciais na Califórnia, EUA. Estas características tornam a tecnologia SFV residencial atraente do ponto de vista político (CASTANEDA; ZAPATA; ARISTIZABAL, 2018; DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; SNAPE, 2016).

A capacidade fotovoltaica global instalada aumentou de 1,2 Gw em 2000 para 480 Gw ao final de 2018. Estima-se que em 2050, 86% da capacidade instalada global de geração de eletricidade será composta por fontes renováveis, com os SFV representando a segunda maior parcela e respondendo por 25% da demanda global de eletricidade (IRENA, 2019). E em muitas partes do mundo, os SFV residenciais se apresentam como alternativa viável para reduzir as emissões de GEE e outros impactos adversos dos métodos atuais de geração de eletricidade (WOLSKE; STERN; DIETZ, 2017).

Apesar dos esquemas de incentivo adotados e dos alegados benefícios potenciais, a adoção ocorre de forma lenta na maioria dos países, indicando a

existência de barreiras que impedem sua difusão (BALCOMBE; RIGBY; AZAPAGIC, 2013; ISLAM, 2014; GARLET *et al.*, 2019; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE; 2018; KARAKAYA; SRIWANNAWIT, 2015).

O Brasil apresenta um cenário diferente, pois as fontes renováveis representam 80,4% de sua matriz elétrica (EPE, 2019). Além disso, o Brasil aderiu voluntariamente ao Acordo de Paris (BRASIL, 2016), mas depende da eletricidade gerada pelas grandes usinas hidrelétricas (ANEEL, 2018; DE FARIA; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017).

A geração de eletricidade através das usinas hidrelétricas possui vantagens sobre outras fontes de energia, em termos de custos operacionais e manutenção, confiabilidade, baixa volatilidade e eficiência (DRANKA; FERREIRA, 2018). Além disso, apresenta margem a ser explorada, pois o país possui um potencial hidráulico de 245 Gw e usa 44% desse valor (EPE, 2018).

Todavia, seguir a trajetória de expansão da geração de eletricidade através de hidrelétricas exige maiores investimentos associados a construção das usinas, em infraestrutura de transmissão e distribuição, devido a distância das unidades de consumo, além dos impactos ambientais e sociais gerados (alagamento de áreas e deslocamento de pessoas) e sua dependência de condições climáticas e pluviométricas satisfatórias (DRANKA; FERREIRA, 2018; GUCCIARDI, 2017).

Com respeito a estas últimas questões, nos últimos anos o Brasil apresentou baixos índices pluviométricos, levando a reduções nos níveis de seus reservatórios (DRANKA; FERREIRA, 2018; DE FARIA; TRIGOSO, 2017; GUCCIARDI, 2017). Como exemplo, a seca de 2001 motivou o governo brasileiro a publicar a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, criando o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), os primeiros mecanismos de incentivo aos projetos de geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas e renováveis (BRASIL, 2002).

Como resultado, nesses momentos de seca, com quedas nos níveis dos reservatórios e conseqüente redução na geração de eletricidade, a diferença entre a oferta e a demanda de eletricidade passa a ser preenchida através das termelétricas,

principalmente por meio de gás natural, aumentando as emissões de GEE (GUCCIARDI, 2017).

Com as iniciativas adotadas pelo governo brasileiro, a participação de outras fontes renováveis (além da hídrica) na matriz elétrica brasileira cresceu nos últimos anos, de 7,2% em 2012 para 18,3% em 2019. As fontes eólicas apresentaram o maior crescimento no período, de 0,9% para 8,9% em 2019, enquanto os SFV representam aproximadamente 1% (EPE, 2019; 2020).

E alinhado às iniciativas adotadas por outros países, a adoção de SFV residenciais passou a ser incentivada no Brasil através da Resolução Normativa 482 de 2012 (REN 482/2012) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012), que definiu duas novas classes de produtores/consumidores, por meio da micro e minigeração distribuída (GD), além de padrões simplificados de acesso aos sistemas de distribuição e um sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*) (ANEEL, 2012).

Os SFV tratados na REN 482/2012 são os *on-grid*, caracterizados por serem conectados as redes de distribuição. Há também os chamados sistemas *off-grids*, que não foram abordados pela ANEEL (ANEEL, 2012). Esses últimos funcionam fora da rede e com dispositivos acessórios para armazenamento de eletricidade, através de baterias.

Os sistemas *off-grid* não foram objeto do presente estudo, mas sua adoção é incentivada principalmente em áreas rurais e locais isolados, sem acesso a rede elétrica, bem como, se apresentam como alternativa de acesso a eletricidade em países em desenvolvimento (URMEE; MD, 2016; JOSHI *et al.*, 2019).

Ao fim de 2019, a capacidade instalada das unidades de GD no Brasil alcançou 2,15 Gw, e desse total, 769 Mw foram de SFV residenciais. Estima-se que ao final de 2029 a capacidade instalada total alcance 11 Gw, com os SFV representando 86% desse total e 63% do total de eletricidade gerada e atendendo a 2,3% da carga total do sistema elétrico nacional (EPE, 2019).

Uma análise do Plano Nacional de Expansão de Energia 2029 (PDE 2029) proporciona uma visão da importância dada pelo governo brasileiro a modalidade de GD para a construção de sua visão de futuro do setor elétrico nacional (EPE, 2019).

De acordo com o PDE 2029, e em conformidade com a literatura, dentre as tecnologias de GD, os SFV residenciais são as que apresentam o maior potencial de difusão no horizonte de dez anos, devido ao seu caráter modular (fácil adaptação aos ambientes construídos) e perspectiva de redução de custos (EPE, 2019; DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; SNAPE, 2016).

Diante do quadro apresentado e considerando que o setor residencial possui mais de 73 milhões de unidades consumidoras, é responsável por 30% do consumo de eletricidade no país e a tecnologia SFV residencial se difunde devagar (possui uma taxa de adoção de 0,17%), torna-se importante identificar os fatores determinantes de sua adoção no contexto brasileiro.

Conforme exposto, o padrão de difusão mais lento não é uma exclusividade da realidade brasileira, pois já foi relatado que a adoção dessa tecnologia ocorre de forma lenta na maioria dos países, indicando a existência de barreiras que impedem uma difusão acelerada (BALCOMBE; RIGBY; AZAPAGIC, 2013; GARLET *et al.*, 2019; ISLAM, 2014; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE, 2018; KARAKAYA; SRIWANNAWIT, 2015).

Para Hall (2004), uma explicação para o caráter lento da difusão de uma tecnologia se deve ao fato da vantagem relativa dessas novas tecnologias serem geralmente menores no momento em que são introduzidas no mercado pela primeira vez. Além disso, para Rogers (1983) muitas inovações se difundem mais lentamente e relaciona isso aos atributos inerentes as inovações, que em sua visão, compõem os principais fatores determinantes de sua adoção.

Embora tais atributos se apresentem como os mais importantes, não são os únicos determinantes da adoção de inovações, conforme exposto pelo próprio Rogers (1983). Além disso, pesquisas anteriores, realizadas em diferentes países, identificaram outros fatores que influenciam a adoção da tecnologia SFV residencial.

Nesse sentido, torna-se interessante e oportuna a realização de um estudo que procure identificar os fatores determinantes da adoção da tecnologia SFV residencial no contexto brasileiro. E considerando o cenário apresentado, o presente estudo será guiado pela seguinte questão de pesquisa: **quais os fatores determinantes da adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil?**

1.2 Objetivos da Pesquisa

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente estudo é identificar os fatores determinantes da adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar o impacto das políticas de incentivo sobre a adoção de SFV residenciais;
- b) Verificar se os fatores socioeconômicos referentes a cada UF influenciam a adoção de SFV residenciais;
- c) Examinar a influência das características demográficas das UF sobre a adoção de SFV residenciais;
- d) Apurar se a tarifa média de eletricidade de cada UF exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais.

1.3 Justificativas

Conforme exposto, uma das razões para o interesse no estudo da adoção e difusão de inovações, se deve ao fato da adoção e conseqüente difusão da maioria das inovações não ocorrer de forma rápida, mesmo quando apresentam vantagens óbvias (ROGERS, 1983).

E os SFV residenciais também apresentam, na maioria dos casos, um padrão de difusão mais lento (BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; KURDGELASHVILI *et al.*, 2017; WOLSKE; STERN; DIETZ, 2017). Ademais, exibem um padrão de difusão heterogêneo, mesmo dentro dos próprios países, revelando diferenças nos padrões espaciais e temporais de difusão (GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015; KURDGELASHVILI *et al.*, 2017; RODE; WEBER, 2016).

Esse caráter lento pode ser explicado por vários fatores, como o conflito existente entre os custos econômicos e benefícios ambientais, a incompatibilidade com os sistemas de distribuição atuais; a presença de interesses distintos entre os formuladores de políticas e usuários e a carência de informações sobre as tecnologias disponíveis (ISLAM, 2014).

Portanto, existem barreiras limitando a adoção dessa tecnologia e sua consequente difusão. E nesse sentido, vários estudos tem sido conduzidos em diferentes países, com o intuito de identificar essas barreiras ou fatores limitantes da adoção dessa tecnologia, bem como, os fatores determinantes de sua adoção (GARLET *et al.*, 2019; KAMINSKY; GOTTSCHAMER, 2018; KARAKAYA; SRIWANNAWIT, 2015; PUNIA SINDHU; NEHRA; LUTHRA, 2016; WALTERS).

A propósito, os processos de adoção e difusão de inovações são fenômenos complexos, envolvendo vários aspectos: econômicos, sociais, ambientais, políticos e técnicos. Portanto, compreender como estes aspectos determinam o processo de adoção e a difusão de inovações é uma questão fundamental (DOS SANTOS; CANHA; BERNARDON, 2018).

É essencial, então, a realização de estudos visando identificar os fatores determinantes e impeditivos da adoção de inovações, em nível empresarial e em outras unidades institucionais, como as famílias e seus membros. As informações geradas a partir desses estudos são valiosas para gestores de negócios, formuladores de políticas, analistas políticos e acadêmicos que estudam inovações (OCDE, 2018).

E visando compreender como a literatura recente têm conduzido esse assunto foi realizado um levantamento bibliográfico dos artigos publicados entre 2015 e 2019, através do índice de citações *Social Sciences Citation Index* (SSCI) da coleção central da *Web of Science* e acessado via Portal de Periódicos da CAPES.

Dada sua abrangência, pois contempla os principais periódicos científicos internacionais, e por seu uso comum em revisões sistemáticas da literatura e demais levantamentos bibliométricos aprofundados, a adoção do referido índice foi julgada adequada e relevante (KARAKAYA; SRIWANNAWIT, 2015; SOVACOOOL, 2014; SRIWANNAWIT; SANDSTRÖM, 2015).

O levantamento bibliográfico teve como objetivo selecionar todos os artigos publicados de 2015 a 2019 que abordassem a adoção (ou difusão) de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede de distribuição, dentro do conceito de GD. Os artigos deveriam conter as palavras *diffusion*, *adoption* ou *uptake* juntamente com as palavras *photovoltaic*, *PV*, *solar* ou *rooftop* e os termos *innovation* ou

technology, destacando que em cada combinação vale uma das palavras e suas respectivas derivações.

Ao final, foram encontrados 497 artigos, de acordo com os parâmetros estabelecidos. Na sequência foram lidos os respectivos resumos, as palavras-chave e, quando necessário, a introdução e as seções referentes a metodologia e bases de dados utilizadas.

Tendo em vista que o presente estudo se vincula a corrente teórica que estuda os determinantes da adoção de inovações sob uma perspectiva econométrica, foram assumidas algumas premissas para selecionar os artigos (VAN OORSCHOT; HOFMAN; HALMAN, 2018). Foram selecionados somente estudos empíricos, com estratégia de pesquisa quantitativa, que fazem uso de dados secundários e adotam modelos econométricos para identificar os determinantes da adoção de SFV residenciais conectados à rede (GD).

Foram excluídos todos os artigos referentes a análises qualitativas ou mesmo quantitativa por meio de entrevistas ou *survey*; que tratavam de estudos de processos simulados; estudavam outras fontes de energias renováveis e não a solar; incluíam adotantes não-residenciais e tratavam de assuntos diferentes do objetivo do presente estudo; conforme procedimento semelhante ao adotado por Kastner e Stern (2015).

Além disso, foram excluídos artigos referentes a construção de modelos de ação fundamentados teoricamente em ciências comportamentais, tais como o *agent-based modeling* (e suas derivações), pois o emprego desses modelos no estudo da adoção de sistemas de geração de energia, tem sido questionado, principalmente em termos dos processos de calibração e validação dos modelos (KASTNER; STERN, 2015; ZHANG; VOROBAYCHIK, 2019).

Ao final, foram selecionados treze artigos, e a partir destes foram definidos os fatores determinantes (variáveis explicativas) utilizados no processo de estimação do modelo econométrico empregado no presente estudo. Estes artigos serão analisados de maneira aprofundada em seção específica.

Entre os demais artigos não selecionados foi encontrada uma diversidade de temas relacionados ao uso, não apenas da energia solar fotovoltaica, mas de outras fontes e dentro de uma miríade de enfoques temáticos e contextos.

E dentre os treze artigos finais, oito se referem a estudos conduzidos em países europeus, sendo quatro na Alemanha, dois no Reino Unido, e Bélgica e Inglaterra possuem um cada. Fora da Europa foram selecionados cinco artigos, sendo dois nos Estados Unidos, enquanto Austrália, Colômbia e Sri Lanka tem um artigo cada. E dez dos treze artigos procuram identificar os padrões espaciais da adoção, um fluxo da literatura que vem crescendo nos últimos anos.

Os artigos finais variam também em termos de abrangência, contudo, a maioria dos estudos é conduzida nacionalmente (cinco estudos), quatro são realizados no âmbito municipal, três no âmbito regional (Reino Unido) e um estadual. Além disso, dois estudos são realizados com bases em amostras (Fonte: dados do censo), enquanto os demais realizam uma análise censitária.

Com relação a estudos realizados no Brasil, entre os 497 artigos inicialmente selecionados foram identificados oito, que de maneira direta ou indireta abordam a adoção de SFV. Porém, nenhum deles relacionado, exclusivamente, à adoção de SFV residenciais conectados à rede (GD).

O trabalho de Garlet *et al.* (2019) buscou identificar as barreiras que limitam a adoção de SFV na região sul do Brasil, contudo, consideram também os setores comercial e industrial. Diante disso, foi realizada uma segunda busca, com uma abrangência de 2000 a 2014 e novamente não foi encontrado nenhum estudo.

De maneira geral, foi verificado que globalmente vem crescendo o número de estudos sobre a adoção de SFV residenciais, sendo empregados vários referenciais teóricos, abordagens, estratégias e métodos. Todavia, os estudos se concentram em países desenvolvidos, com um mercado mais maduro para os SFV residenciais e demais tecnologias de GD, faltando estudos sobre os determinantes da adoção no contexto de países em desenvolvimento, como o Brasil (JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE, 2018).

Diante disso e sob a perspectiva teórica, o presente estudo busca contribuir com o campo de estudos referente a adoção de inovações, bem como, para corrente

teórica dos determinantes da adoção de inovações sob uma perspectiva econométrica, através de um estudo empírico, com o objetivo de identificar os fatores determinantes da adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil, a partir de uma análise censitária nacional e longitudinal, considerando aspectos temporais e regionais.

O presente estudo caracteriza-se, portanto, como o primeiro conduzido fora da Europa (e no âmbito de um país em desenvolvimento) com o objetivo de identificar os fatores determinantes da adoção de SFV residenciais, empregando uma base de dados completa, de abrangência nacional e corte longitudinal, considerando aspectos temporais e regionais.

Esta constatação é corroborada pelas afirmações presentes em dois dos artigos selecionados. Para De Groote, Pepermans e Verboven (2016), o estudo conduzido pelos autores na região de Flandres (Bélgica), entre 2006 a 2012, foi o primeiro estudo realizado, fora dos EUA, com o objetivo de explicar a heterogeneidade na adoção de SFV residenciais através do uso de uma base de dados completa. Porém, a base de dados usada pelos autores é regional, assim como, a do estudo referenciado e realizado nos EUA.

Segundo Jayaweera, Jayasinghe e Weerasinghe (2018), o estudo conduzido pelos autores no município de Colombo, Sri Lanka, foi o primeiro estudo que buscou identificar os fatores determinantes da adoção de SFV residenciais, conectados à rede, no contexto de países em desenvolvimento.

Este último estudo emprega um modelo econométrico e abordagem semelhante ao adotado no presente estudo, pois os autores usaram um modelo de regressão binomial negativa inflada de zeros (ZINBM), entretanto, a base de dados utilizada não é completa e a abrangência é municipal. Dessa forma, o presente estudo, além de contribuir para o seu campo de estudo, busca preencher uma lacuna de pesquisa existente no contexto de países em desenvolvimento, bem como, na literatura brasileira sobre o tema.

A justificativa prática deste estudo está intimamente vinculada a sua justificativa teórica, pois a compreensão dos fatores determinantes da adoção de

SFV residenciais pelas famílias é importante não somente do ponto de vista acadêmico.

É de interesse dos formuladores de políticas públicas, gestores de empresas, profissionais da área de marketing e demais participantes desse mercado, bem como, para o desenvolvimento do mercado de energia solar no país (BOLLINGER; GILLINGHAM, 2012; GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015; KURDGELASHVILI *et al.*, 2017; MÜLLER; RODE, 2013; OCDE, 2018). Principalmente com tecnologias com características de bens públicos e privados, como as tecnologias de energia renovável (GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015).

E conforme discutido, o padrão de difusão dos SFV residenciais no Brasil é similar a outros países, ocorrendo lentamente e com padrões regionais distintos entre as unidades federativas e mesmo dentro destas (GARLET *et al.*, 2019; ISLAM, 2014; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE; 2018; KARAKAYA; SRIWANNAWIT, 2015).

A taxa de adoção dessa tecnologia no país era de 0,17% em dezembro de 2019, diante de um mercado potencial de 73 milhões de unidades consumidoras (residências conectadas a rede elétrica) e que respondem por um terço da demanda atual de eletricidade (EPE, 2019). Diante desse quadro, com a importância dada a essa tecnologia na visão de futuro traçada no PDE 2029 (EPE, 2019) e o compromisso assumido junto ao Acordo de Paris (UNFCCC, 2015), pode ser afirmado que existe interesse em difundir essa tecnologia no país.

Acrescenta-se, que sem difusão a inovação teria pouca, ou até mesmo, nenhuma relevância econômica e social (HALL, 2004). E para adquirir significado social uma inovação requer implementação, que seja colocada em uso ativo ou disponibilizada para o uso nas empresas, individualmente, nas famílias e demais organizações (OCDE, 2018; TIDD; BESSANT; PAVITT, 2005).

Uma analogia extrema foi usada por Dusek (2006), ao apresentar as definições de tecnologia por meio de duas situações ilustrativas: um avião abandonado no meio de uma floresta tropical e um conjunto de computadores abandonados. Para o autor, tanto o avião quanto os computadores só serão vistos

como tecnologia, se estiverem inseridos em um contexto social, com pessoas que os usam, mantêm e reparam (DUSEK, 2006).

Embora represente uma situação limite, faz todo sentido para o presente estudo. Pois se há interesse que a tecnologia SFV residencial seja difundida, torna-se necessário identificar os fatores determinantes de sua adoção.

Embora os incentivos financeiros cumpram um papel importante na adoção de SFV residenciais, políticas mal desenhadas podem gerar distorções: instalação em locais com baixa capacidade de geração de eletricidade e ampliação das desigualdades já existentes, pois foi identificado que famílias ricas se beneficiam proporcionalmente mais das políticas de incentivo do que as demais (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019; SCHAFFER; BRUN, 2015).

Diante de tais considerações, o presente estudo busca contribuir para o aperfeiçoamento de políticas públicas, como um recurso para o desenho de mecanismos de incentivos mais eficientes, promovendo a adoção dessa tecnologia, de forma planejada, considerando os determinantes da adoção aqui identificados e os contextos regionais existentes no país.

Além disso, a difusão de tecnologias de energias renováveis contribui para a mitigação dos efeitos da mudança climática e aquecimento global, reduzindo a degradação do meio ambiente e, conseqüentemente, contribui também para a melhoria da qualidade vida da geração atual, bem como, das gerações futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresenta as dimensões teóricas básicas que fundamentaram a realização deste estudo, sendo estruturada da seguinte forma: na seção 2.1 é abordado o conceito inovação, assim como, são discutidos alguns conceitos correlatos, abordagens e autores relacionados. Na seção 2.2 serão vistos os conceitos referentes a adoção e difusão de inovações, detalhando a fundamentação teórica deste estudo, com ênfase nos conceitos basilares da teoria da difusão de inovações de Rogers. Na seção 2.3 serão discutidos os determinantes da adoção de sistemas fotovoltaicos residenciais, fundamentado em levantamento bibliográfico realizado para este estudo. Em seguida, na seção 2.4 será feita uma caracterização e descrição do funcionamento dos sistemas fotovoltaicos residenciais. Por fim, na seção 2.5 será discutida a geração distribuída de eletricidade e as principais políticas de incentivos existentes no Brasil e em outros países, bem como, as fontes de financiamento disponíveis para a aquisição dos sistemas fotovoltaicos residências no Brasil.

2.1 Inovação

A inovação é um fenômeno tão antigo quanto a própria humanidade, pois parece natural buscar formas novas e melhores de organizar e fazer coisas novas (FAGERBERG, 2018). E há diversas definições de inovação, podendo ser concebida como uma ideia (prática ou objeto) reconhecida como nova por um indivíduo ou outra unidade de adoção, independente se essa ideia foi lançada agora ou se já existe há um certo tempo (ROGERS, 1983).

Para Nelson e Winter (1977) o termo inovação pode ser empregado como um *portmanteau*, um cabide ou guarda-chuva, onde podem ser pendurados um grande conjunto dos mais variados processos, através dos quais as tecnologias humanas evoluem ao longo do tempo.

Para outros autores, inovação pode, geralmente, ser definida como uma nova tecnologia, mas a sua noção conceitual pode ser aplicada de forma ampla, considerando a disseminação de ideias e práticas (ZHANG; VOROBAYCHIK, 2019).

E esta última definição, aproxima-se do conceito de difusão de inovações, a ser discutido na seção seguinte deste trabalho.

E em outras definições, o conceito de inovação vai além de uma nova ideia ou invenção, e para existir de fato, ela precisar ser implementada, colocada em uso dentro de uma organização ou disponibilizada para uso por outras partes: empresas, indivíduos ou organizações (OCDE, 2018; FAGERBERG, 2018; TIDD; BESSANT; PAVITT, 2005).

O Manual de Oslo (OCDE, 2018) em sua mais recente edição, define inovação como um produto ou processo, novo ou aprimorado (ou a combinação de ambos), significativamente distinto dos produtos ou processos anteriores da unidade e disponibilizados para usuários em potencial (produto) ou empregado pela própria unidade (processo). Nesta definição, o termo genérico unidade descreve o ator responsável pela realização de inovações. E pela primeira vez as famílias e seus membros individuais foram inseridos no rol dos atores responsáveis pela promoção de inovações (OCDE, 2018).

Conhecer a definição de inovação conduz a uma aproximação do entendimento de sua importância para o desenvolvimento econômico e social. Nesse sentido, e face as considerações já expostas, compreende-se que a inovação tecnológica é fundamental para responder de forma consistente aos desafios impostos e compromissos assumidos com o desenvolvimento sustentável (OMRI, 2020).

Desse modo, o restante desta seção será dedicado a apresentação de algumas abordagens e autores que contribuem para um entendimento mais amplo do papel desempenhado pela inovação e do processo inovativo para o desenvolvimento econômico e social.

E como ponto de partida, torna-se relevante e necessário discorrer sobre a abordagem de Schumpeter (1997), um dos primeiros teóricos a tratar da inovação e que a coloca como a força motriz do desenvolvimento econômico.

Em sua obra Teoria do Desenvolvimento Econômico, publicada originalmente em 1912, Schumpeter (1997) se concentra em buscar compreender o fenômeno do desenvolvimento, cuja origem reside nas mudanças endógenas da vida econômica.

Nessa visão, o desenvolvimento não surge por pressão de forças externas, como guerras, catástrofes naturais ou quaisquer outros eventos similares. Surge das condições inerentes ao próprio sistema econômico (SCHUMPETER, 1997).

O processo de desenvolvimento para Schumpeter (1997) não se reduz a existência de crescimento econômico em um dado período, pois este pode ser resultado do crescimento natural da população, mesmo gerando um natural aumento da riqueza. Para Schumpeter (1997), estes eventos não constituem fatos novos dentro do sistema econômico, não são capazes de romper a inércia inerente ao fluxo circular da renda e do produto do sistema.

O desenvolvimento é compreendido como uma perturbação do equilíbrio vigente no sistema econômico, e cabe as inovações ou novas combinações, como inicialmente as define, provocar esta perturbação. Logo, as inovações ou novas combinações (de fatores de produção) não derivam de melhoramentos ou adaptações contínuos ao longo do tempo. A inovação é tida como algo revolucionário, passando a dirigir o fenômeno do desenvolvimento (SCHUMPETER, 1997).

Em sua obra *Business Cycles* (2008) o conceito é aprofundado, definindo inovação como a criação de uma nova função de produção (novas combinações de bens e serviços): “isso abrange o caso de uma nova mercadoria, bem como, de uma nova forma de organização, como uma fusão, a abertura de novos mercados e assim por diante” (SCHUMPETER, 2008, p. 84).

Para Schumpeter (1997) as inovações podem ser classificadas das seguintes formas:

- a) Introdução de um novo bem ou de uma nova qualidade de um bem;
- b) Introdução de um novo método de produção, que não precisa ser baseado em uma descoberta cientificamente nova e que pode consistir também em nova maneira de manejar comercialmente uma mercadoria;
- c) Abertura de um novo mercado;
- d) Conquista de uma nova fonte de oferta de matérias-primas ou de bens semimanufaturados;
- e) Estabelecimento de uma nova organização de qualquer indústria.

O desenvolvimento, portanto, têm sua origem no setor produtivo (industrial e comercial) e no centro do processo inovativo não está o antigo capitalista, nem o comerciante tradicional, mas um novo ator, o empresário, o agente das mudanças e responsável pela realização e difusão das novas combinações dos fatores de produção, que podem ser novos ou já existentes (SCHUMPETER, 1997).

Para Szmrecsányi (2002), quando se fala em inovação, geralmente faz-se referência a Schumpeter, contudo, seu pensamento sobre o tema mudou ao longo do tempo. O autor destaca que o pensamento de Schumpeter pode ser dividido em duas fases, uma relacionada a sua juventude e antes da Primeira Guerra Mundial e cuja principal obra é a *Teoria do Desenvolvimento Econômico*, de 1912 (SZMRECSÁNYI, 2002).

Enquanto a segunda, refere-se a sua fase madura, após sua mudança para os EUA, na década de 1930, cuja principal obra é *Business Cycles*, de 1939, onde Schumpeter retoma e aprofunda suas ideias anteriores sobre inovação, porém muda seu enfoque para o processo de inovação propriamente dito, ao invés do empresário inovador (empreendedor heroico ou agente responsável pelas mudanças) (SZMRECSÁNYI, 2002).

Outro aspecto apontado por Szmrecsányi (2002) diz respeito ao ensaio *Economic Theory and Entrepreneurial History* (de 1949), onde Schumpeter insere o Estado no conjunto dos agentes ou atores responsáveis pela promoção de inovações tecnológicas.

Uma outra abordagem e também importante contribuição para o estudo da inovação foi dada por Dosi (2006) em sua obra *Technological Paradigms and Technological Trajectories*, onde o autor busca compreender e identificar os principais fatores que dirigem o progresso tecnológico, bem como, as relações que o definem e direcionam (SICSÚ; ROSENTHAL, 2006).

O trabalho de Dosi (2006) o insere na corrente de pensamento neoschumpeteriana, devido a importância atribuída à inovação tecnológica, como o principal determinante do crescimento da produtividade que caracteriza o desenvolvimento do sistema econômico e ao destaque dado a ação das

empresas privadas, que através de sua busca por lucros, configuram-se como o agente propulsor das inovações (SICSÚ; ROSENTHAL, 2006).

Com o objetivo de compreender a natureza do progresso tecnológico, Dosi (2006) formula os conceitos de paradigma tecnológico e trajetória tecnológica, em analogia aos conceitos de paradigma científico e ciência normal, de Thomas Khun (SICSÚ; ROSENTHAL, 2006). Define paradigma tecnológico “como um modelo e um padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseados em princípios selecionados derivados das ciências naturais e em tecnologias materiais selecionadas” (DOSI, 2006, p. 22).

Assim como os paradigmas científicos determinam o seu campo de investigação, os problemas a serem solucionados e o programa de pesquisa a ser seguido no âmbito do campo científico ao qual se vincula; os paradigmas tecnológicos também definem seu campo de investigação, os problemas tecnológicos a serem resolvidos, seu programa de pesquisa tecnológica e sua abrangência (relacionada a uma tecnologia específica ou a um cluster tecnológico) (DOSI, 2006).

E em alusão ao conceito de ciência normal, definida como o aperfeiçoamento do programa de pesquisa vinculado a um paradigma científico, Dosi (2006) define trajetória tecnológica como o padrão normal das atividades de resolução de problemas no contexto de um paradigma tecnológico.

O modelo teórico formulado associa-se a alguns importantes conceitos e questões abordados por estudos de inovação, como as inovações radicais e incrementais e consequentes padrões de continuidade e descontinuidade na mudança técnica (DOSI, 2006).

As definições de inovação radical e incremental são semelhantes aos conceitos de inovações disruptivas e de sustentação, conforme apresentado por Christensen e Bower (1996). As inovações radicais se relacionam ao processo de surgimento de novos paradigmas tecnológicos, ao passo que as inovações incrementais se referem ao progresso técnico normal, ao aperfeiçoamento das tecnologias já existentes ao longo de uma trajetória tecnológica (DOSI, 2006).

Uma questão importante formulada por Dosi (2006) diz respeito as relações de longo prazo entre desenvolvimento social e os paradigmas tecnológicos estabelecidos. Trata-se de uma questão interessante, pois um paradigma tecnológico vigente representava uma, entre as diversas oportunidades tecnológicas disponíveis num dado momento. E, conforme exposto por Dosi (2006), não se pode avaliar *ex ante* qual das alternativas disponíveis é a melhor.

Para Dosi (2006), a emergência de um novo paradigma tecnológico passa por um processo ao qual denomina de dispositivo seletivo, onde as possíveis alternativas tecnológicas num dado momento são avaliadas de acordo com fatores econômicos, institucionais e sociais.

Conforme exposto, Dosi (2006) é considerado um teórico neoschumpeteriano, pois busca compreender o papel da inovação tecnológica e da mudança técnica para o desenvolvimento econômico, porém, outros autores também se inserem nesta corrente de pensamento.

Entre os quais Nelson e Winter (1977), que assim como Dosi (2006) questionam a visão da teoria econômica tradicional de origem neoclássica, fundamentada nos pressupostos de maximização e equilíbrio (NELSON; WINTER, 1977; POSSAS, 2008).

Para esses autores, a teoria econômica tradicional via a inovação como o resultado das mudanças que ocorrem ao longo da curva de possibilidades de produção e pelos deslocamentos desta curva (DOSI, 2006; NELSON; WINTER, 1977). Questionavam a incompatibilidade desta visão com as evidências empíricas de crescimento da produtividade industrial no período pós Segunda Guerra Mundial (NELSON; WINTER, 1977).

Para Nelson e Winter (1977, p. 46) “a inovação envolve incerteza de maneira essencial. A caracterização implícita do processo dos modelos de função de produção pareceria não apenas rudimentar, mas fundamentalmente enganosa.”

Outra abordagem que também realça o papel exercido pela inovação, como responsável pelas mudanças estruturais, é a chamada economia

evolucionária, formulada por Nelson e Winter e apresentada em sua obra *An evolutionary theory of economic change*, de 1982.

A junção de elementos retirados da biologia evolucionária com conceitos não ortodoxos da teoria econômica é a principal característica dessa abordagem, adotando comportamentos e estratégias mais realistas, sob condições de incerteza e racionalidade limitada, produzindo trajetórias em aberto e geralmente fora do equilíbrio (POSSAS, 2008).

Para esta abordagem, a economia está sempre em processo de mudança (e a mudança econômica é vista como importante e interessante) e caracteriza-se pela incerteza, pois a atividade econômica ocorre em um contexto que não é inteiramente compreendido pelos atores. Ao passo que para a teoria neoclássica, a economia encontra-se em repouso ou passando por mudanças previsíveis (NELSON, 2006; NELSON; WINTER, 2005).

Tendo em vista a mudança econômica constante, a teoria evolucionária preocupa-se primordialmente com os processos dinâmicos que determinam tanto os padrões de comportamento da firma quanto os resultados de mercado ao longo do tempo (NELSON; WINTER, 2005).

Dois elementos fundamentais para essa abordagem são os mecanismos de variação (mutação) e de seleção: o primeiro refere-se à inovação econômica, conduzida pela firma através de um processo de busca (*search*) e o segundo elemento diz respeito à seleção das respectivas rotinas, que são realizadas pelo mercado (POSSAS, 2008). Tais rotinas são definidas como sendo “todos os padrões comportamentais regulares e previsíveis das firmas” (NELSON; WINTER, 2005, p. 32).

Para a teoria evolucionária, o desenvolvimento bem-sucedido abrange a coevolução das tecnologias utilizadas, as estruturas empresariais industriais, bem como, as instituições econômicas. Além disso, nesse contexto, as políticas e programas desenvolvidos pelo governo são partes essenciais, “para melhor ou para pior, mas inevitavelmente” (NELSON, 2006, p. 10).

Após a discussão do quadro conceitual sobre inovação, de algumas das principais abordagens e teóricos e de sua importância para o desenvolvimento

econômico e social, serão abordados na seção seguinte os conceitos relacionados a adoção e difusão de inovações, bem como, os principais elementos presentes na Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (1983).

2.2 Adoção e difusão de inovações

Serão apresentadas nesta seção algumas abordagens e modelos relacionados ao processo de adoção e difusão de inovações existentes na literatura. Além disso, também serão discutidos os elementos principais da Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (1983), pois sua obra *Difusão de Inovações* é o referencial teórico básico da corrente teórica ao qual o presente estudo se vincula.

Adoção de inovações pode ser definida como a decisão de um indivíduo (ou outra unidade de adoção) de usar e implementar uma nova ideia (ROGERS, 1983). E, neste ponto, vale a pena salientar que o indivíduo representa qualquer unidade de adoção, tanto pessoas quanto organizações públicas e privadas, grupos e entidades sociais (WEJNERT, 2002).

Ao passo que difusão se refere ao processo através do qual uma inovação é comunicada por meio de certos canais ao longo do tempo e entre os membros de um sistema social (ROGERS, 1983). De maneira sintética, a difusão de uma inovação ao longo do tempo é composta pelas diversas decisões de adoção individuais e cumulativas (STRAUB, 2009).

Da perspectiva da pesquisa de marketing, difusão de inovações pode ser compreendida como o processo de penetração de novos produtos e serviços no mercado, processo este dirigido pelas influências sociais, compostas pelas interações entre consumidores e demais atores participantes do mercado (PERES; MULLER; MAHAJAN, 2010).

Destaca-se que do ponto de vista de seu impacto econômico é importante compreender o ritmo com que certas tecnologias (inovações) têm sido adotadas e integradas ao processo produtivo (ROSEMBERG, 2006). Nesse sentido, a forma como os indivíduos tomam suas decisões de adoção vêm sendo discutida por pesquisadores originários de diferentes disciplinas, visto que essas decisões

exercem influência sobre o contexto econômico e social ao qual estes indivíduos pertencem (STRAUB, 2009; SRIWANNAWIT; SANDSTRÖM, 2015).

E tendo em vista que inovação é um tema estudado por pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, esta diversidade acaba sendo refletida nas distintas abordagens empregadas, nos modelos construídos para analisar o processo de adoção, bem como, na identificação dos principais fatores e mecanismos que determinam a adoção de uma inovação específica (NELSON; PETERHANSL; SAMPAT, 2004).

Em seu trabalho Nelson, Peterhansl e Sampat (2004) identificaram duas dimensões que distinguem os principais modelos de adoção e difusão de inovações. E diferenças existentes nestas duas dimensões conduzem a quatro principais modelos existentes na literatura (NELSON; PETERHANSL; SAMPAT, 2004).

A primeira dimensão refere-se à capacidade de gerar evidência convincente sobre o mérito real da inovação (valor percebido da inovação pelos adotantes atuais e potenciais). E esta dimensão pode ser influenciada pela clareza do critério de desempenho estabelecido para a inovação em questão, pela capacidade dos indivíduos de obter informações a partir dos experimentos realizados, ou por ambos (NELSON; PETERHANSL; SAMPAT, 2004).

Neste sentido, o processo de adoção das inovações que são mais fáceis de serem especificadas, que podem ser adequadamente replicadas e oferecem aos indivíduos a possibilidade de realizar experimentos (proporcionando informações sobre o seu desempenho), difere do processo de adoção das inovações que são difíceis de avaliar de forma consistente (os autores chamam estas inovações de amorfas) (NELSON; PETERHANSL; SAMPAT, 2004).

E a segunda dimensão usada para diferenciar os modelos relaciona-se à medida em que os benefícios da adoção de uma determinada inovação são afetados pelo número de usuários que já a adotaram. Para algumas inovações, estas se tornam mais atraentes para os adotantes potenciais, conforme a base de adotantes aumenta, gerando os chamados efeitos de rede ou retornos dinâmicos crescentes (NELSON; PETERHANSL; SAMPAT, 2004).

Com base na interação dessas duas dimensões, os autores classificaram os quatro modelos gerais mais utilizados dentro da literatura sobre o tema, conforme o Quadro 1 (NELSON; PETERHANSL; SAMPAT, 2004). E a seguir estes modelos são brevemente detalhados:

- a) Modelo da escolha racional: os critérios que conduzem a adoção são claros e os indivíduos recebem informações objetivas sobre o desempenho da inovação. Pressupõe que o sistema aprende objetivamente, com base nos resultados das experiências dos indivíduos com a inovação. Neste modelo, as escolhas tomadas por um adotante (ou usuário) não influenciam (diretamente) o valor percebido da inovação pelos demais indivíduos. Os processos de tomada de decisão são vistos como independentes, porém, os indivíduos trocam informações sobre o desempenho da inovação em questão. Não existem efeitos de rede, porém os efeitos dos pares (*peer-effects*) estão presentes;
- b) Modelos das escolhas quase-rationais – com possibilidade *lock-in*: esse modelo se diferencia do anterior em virtude da presença de retornos crescentes dinâmicos, pois conforme a base de adotantes aumenta, a incerteza em relação a inovação se reduz e seu valor percebido pelos potenciais adotantes aumenta (devido aos efeitos de rede);
- c) Modelo da construção social: diferentemente dos dois primeiros modelos, neste é difícil obter um retorno claro sobre o desempenho ou valor percebido da inovação, pois os adotantes possuem interpretações distintas, em função da ausência de critério objetivo de avaliação;
- d) Modelos da “moda” (modismo ou novidade): de maneira semelhante ao modelo da construção social, neste também não há um critério objetivo para avaliação. Além disso, neste modelo não existe uma pressão para a adoção da inovação e as opiniões se as inovações são boas podem não ser mantidas (ou convincentes o suficiente). Como exemplo de inovação relacionada a este modelo, os autores citam a adoção dos programas de círculos da qualidade, adotados pelas empresas.

Quadro 1 - Quatro modelos de difusão de inovação

	Ausência de retornos dinâmicos crescentes	Presença de retornos dinâmicos crescentes
Capacidade de obter evidência convincente	Escolhas racionais	Escolhas quase-rationais – com possibilidade <i>lock-in</i>
Incapacidade de obter evidência convincente	Modismo ou novidade	Construção social

Fonte: Nelson, Peterhansl e Sampat (2004).

Em outro estudo, realizado por van Oorschot, Hofman e Halman (2018), os autores não buscaram identificar modelos de adoção, mas através da realização de uma revisão bibliométrica da literatura relativa a adoção de inovações, procuraram identificar os fundamentos teóricos associados a esse campo.

Para os autores, desde os trabalhos iniciais de Rogers, principalmente sua obra *Difusão de Inovações* (publicada em 1962), a literatura sobre adoção de inovações tem atraído o interesse de pesquisadores, contudo, gerou uma grande e fragmentada literatura (VAN OORSCHOT; HOFMAN; HALMAN, 2018).

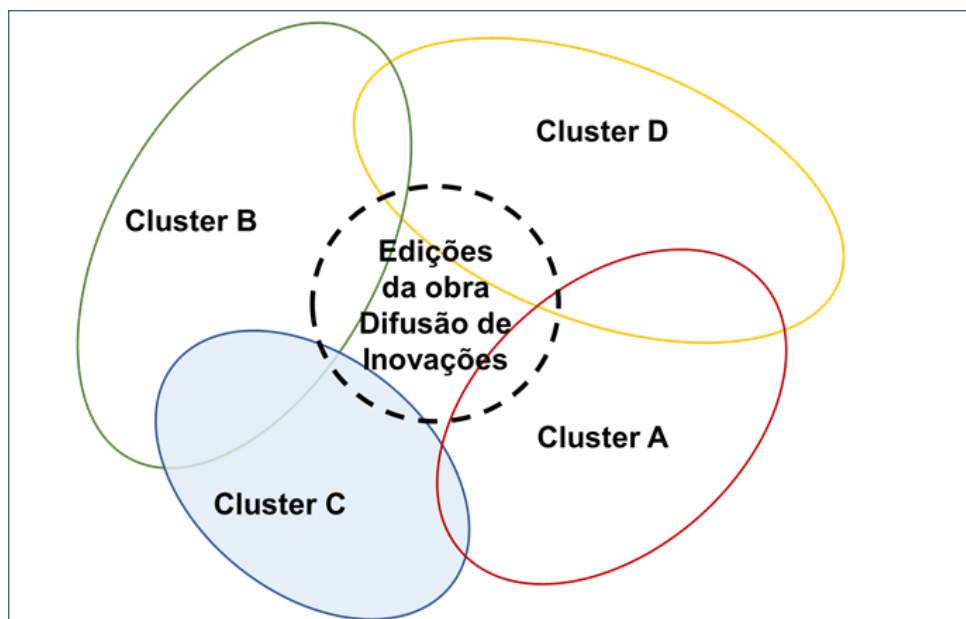
Através de uma análise de co-citações os autores identificaram quatro agrupamentos ou *clusters* de estudos, formando as principais correntes teóricas relacionadas a pesquisa sobre adoção de inovações (VAN OORSCHOT; HOFMAN; HALMAN, 2018). E a seguir são apresentadas as quatro correntes teóricas identificadas pelos autores:

- a) Teoria institucional e legitimação de comportamentos inovadores (*Cluster A*);
- b) Teoria da Ação Racional e o Modelo de Aceitação da Tecnologia (*Cluster B*);
- c) Os determinantes da adoção da inovação, uma perspectiva econométrica (*Cluster C*);
- d) Teoria da difusão (*Cluster D*).

A Figura 1 mostra os quatro *clusters* associados a estas correntes teóricas e suas interrelações. Os autores acrescentam, que apesar de apresentarem diferentes abordagens, os quatro clusters se vinculam à alguma das edições da obra *Difusão de Inovações* de Rogers, em destaque no centro da Figura 1, sendo citada em todos

os trabalhos analisados por Oorschot, Hofman e Halman (2018), constituindo-se, desta maneira, no referencial teórico básico e comum a cada uma dessas correntes (VAN OORSCHOT; HOFMAN; HALMAN, 2018).

Figura 1 - Clusters relacionados às quatro correntes teóricas



Fonte: Adaptado a partir de Oorschot, Hofman e Halman (2018).

Os autores enfatizam que os trabalhos associados ao *cluster C*, em destaque na Figura 1, empregam modelos econométricos, aplicando causas unidirecionais com o intuito de avaliar o impacto de diversos fatores determinantes sobre a adoção de inovações específicas em diversos contextos (VAN OORSCHOT; HOFMAN; HALMAN, 2018).

De forma geral, os artigos vinculados ao *cluster C* abordam o processo de adoção de diferentes tipos de inovações. E este processo pode ser influenciado pela ação de variáveis de contingência específicas (os fatores determinantes e variáveis contextuais) (VAN OORSCHOT; HOFMAN; HALMAN, 2018).

E embora exista, de modo geral, coerência entre os trabalhos pertencentes a este *cluster*, não há consenso sobre a generalização de suas descobertas de pesquisa. Nesse sentido, alguns pesquisadores atestam que não há uma teoria unificada da adoção de inovações, pois as inovações são distintas, bem como, os

contextos onde serão aplicadas são únicos (VAN OORSCHOT; HOFMAN; HALMAN, 2018).

Conforme adiantado, dez dos artigos selecionados durante o levantamento bibliográfico para este estudo abordam os padrões espaciais da adoção de SFV residenciais e constituem um fluxo recente da literatura acerca da adoção dessa tecnologia (ALLAN; MCINTYRE, 2017).

Estes artigos estão alinhados com o *cluster* C identificado por van Oorschot, Hofman e Halman (2018), dos determinantes da adoção da inovação, uma perspectiva econométrica. E o presente estudo também se conecta a esse *cluster*, cuja base teórica subjacente é a obra de Rogers (1983).

Tais artigos, de maneira semelhante aos artigos selecionados no referido trabalho de van Oorschot, Hofman e Halman (2018), apresentam coerência teórica e empregam modelos econométricos para identificação dos fatores determinantes da adoção, contudo, são utilizados modelos distintos, com algumas variações em suas abordagens. Além disso, com relação as descobertas de pesquisa e fatores determinantes empregados, há diferenças entre os estudos conduzidos nestes artigos.

Alguns destes artigos focam sobre aspectos específicos dos padrões espaciais da adoção, como o efeito dos chamados *spillovers* espaciais, partindo do princípio que a adoção de SFV residenciais é dirigida tanto por fatores determinantes locais (dentro de um município por exemplo) quanto pelas adoções realizadas nas regiões vizinhas (ALLAN; MCINTYRE, 2017; BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; DHARSHING, 2017).

Outros artigos buscam compreender os efeitos espaciais dos pares (*peer-effects*) e de outros atores intermediários, como iniciativas relacionadas a organizações que promovem a adoção dessa tecnologia e empresas que comercializam e instalam SFV residenciais (GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015; SCHAFFER; BRUN, 2015).

Embora os estudos dos padrões espaciais da adoção de SFV residenciais sejam recentes, essa abordagem não constitui uma novidade. Em seu trabalho sobre o processo da adoção espacial de automóveis na região da Scania, na Suécia,

originalmente publicado em 1952, Hagerstrand (2013) afirmou que o processo de difusão de inovações se propaga em duas dimensões: espacial e social.

Acrescenta que a difusão de qualquer nova tecnologia apresenta um processo dinâmico, exibindo um padrão espacial característico ao longo do tempo (HAGERSTRAND, 2013). Os postulados de Hagerstrand (2013) são bastante próximos aos conceitos básicos presentes nos dez artigos já mencionados para compor o referencial teórico dos determinantes da adoção de SFV residenciais do presente estudo (e que serão analisados mais adiante).

E o presente estudo, conforme antecipado, se vincula ao *cluster* C identificado por Oorschot, Hofman e Halman (2018), dos determinantes da adoção da inovação, uma perspectiva econométrica, e além disso, este *cluster* está ligado a alguma das edições da obra Difusão de Inovações de Rogers (1983).

E a teoria da difusão de Rogers (1983) é reconhecida como a perspectiva teórica primária sobre a adoção de inovações tecnológicas (tanto no âmbito individual quanto das empresas e demais organizações), proporcionando uma estrutura conceitual que permite compreender de forma ampla a adoção e a difusão de inovações (KAPOOR; DWIVEDI, 2020).

Diante desse contexto, dada a centralidade da obra de Rogers (1983) na corrente teórica que fundamenta o presente estudo e o seu reconhecimento e importância para os estudos relacionados a difusão e adoção de inovações, o restante desta seção será dedicado a apresentação de seus principais conceitos.

Para Rogers (1983) o processo de difusão de inovações pode ser compreendido como uma forma especial de comunicação, fundamentada na transmissão de novas ideias, as inovações em si, representadas no presente estudo pelos sistemas fotovoltaicos residenciais. E os elementos principais de todo processo de difusão de inovações são: a própria inovação, os canais de comunicação que a transmite, o tempo e o sistema social (ROGERS, 1983).

E tendo em mente que difusão de inovações refere-se a um processo especial de comunicar (transmitir) uma inovação (uma nova ideia, informação, produto ou prática), a adoção de inovações pode ser vista como um processo composto por vários estágios, através do qual um indivíduo passa do primeiro

contato (ou conhecimento) com a inovação até a tomada de decisão entre adotá-la ou não, sua implementação e confirmação de sua decisão (ARTS; FRAMBACH; BIJMOLT, 2011; ROGERS, 1983).

E, ao longo desse processo, o indivíduo vai formando e ponderando as suas percepções com relação a inovação, com o objetivo de fundamentar a sua tomada de decisão sobre a adoção ou não de uma inovação específica (ARTS; FRAMBACH; BIJMOLT, 2011; ROGERS, 1983). Para Rogers (1983) o processo de decisão sobre a adoção de uma inovação é composto por cinco etapas:

- a) Conhecimento: ocorre quando um indivíduo (ou outra unidade de tomada de decisão) é exposto à existência da inovação e ganha alguma compreensão de como ela funciona;
- b) Convicção ou Persuasão: surge quando um indivíduo (ou outra unidade de tomada de decisão) forma uma atitude favorável ou desfavorável em relação à inovação;
- c) Decisão: acontece quando um indivíduo (ou outra unidade de tomada de decisão) se envolve em atividades que o levam à escolha entre adotar ou rejeitar a inovação
- d) Implementação: ocorre quando um indivíduo (ou outra unidade de tomada de decisão) faz uso de uma inovação;
- e) Confirmação: se realiza quando um indivíduo (ou outra unidade de tomada de decisão) busca reforçar uma decisão de inovação que já foi tomada, mas pode ser revertida se o indivíduo for exposto a mensagens conflitantes.

Vários estudos já foram realizados buscando evidenciar como as famílias tomam suas decisões em relação a adoção de SFV residenciais, como Schelly (2014), que em seu trabalho pediu aos adotantes de SFV residenciais para que compartilhassem suas histórias de como realizaram seus processos de tomada de decisão.

O processo de decisão referente a adoção de uma inovação a que cada adotante deve passar, pode ser visto como uma atividade de busca e processamento de informações, na qual os possíveis adotantes obtêm as

informações necessárias para diminuir a incerteza sobre a inovação (ROGERS, 1983).

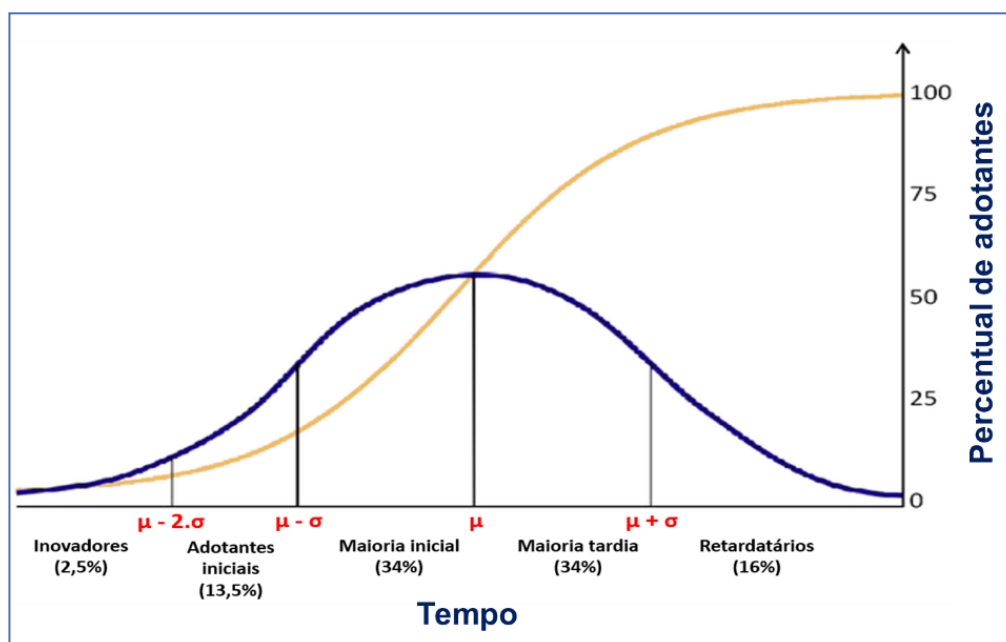
Um aspecto importante referente a adoção e difusão de inovações, é que nem todos os indivíduos (famílias ou organizações) adotam uma determinada inovação ao mesmo tempo. Em vez disso, as inovações são adotadas ao longo do tempo, com os indivíduos sendo classificados em categorias de adotantes com base no momento em que adotam uma inovação (DOS SANTOS; CANHA; BERNARDON, 2018; ROGERS, 1983).

Os indivíduos, portanto, são classificados de acordo com sua capacidade de inovação (*innovativeness*), ou quão cedo (ou antes) eles adotam uma inovação, comparativamente aos demais membros do sistema social a que pertencem. Conjectura-se que todos os indivíduos pertencentes a uma mesma categoria compartilham certas características comuns (ROGERS, 1983). Para Rogers (1983) os indivíduos podem ser classificados em uma das cinco categorias de adotantes seguintes:

- a) Inovadores;
- b) Adotantes precoces;
- c) Maioria inicial;
- d) Maioria tardia e;
- e) Retardatários.

E na Figura 2 é exibida a distribuição de frequência normal da adoção de uma inovação, dividida entre as cinco categorias de adotantes definidas por Rogers (1983), evidenciando como estas categorias encontram-se dispostas ao longo do tempo.

Figura 2 - Categorias de adotantes



Fonte: Rogers (1983).

As duas curvas plotadas na Figura 2 originam-se dos mesmos dados, a adoção de uma determinada inovação pelos membros de um sistema social e ao longo do tempo. Contudo, a curva em forma de sino (a distribuição normal) mostra os dados em termos do total de adoções por período, enquanto que a curva em forma de S exhibe os respectivos dados, porém, em uma base acumulada (DOS SANTOS; CANHA; BERNARDON, 2018; ROGERS, 1983).

Segundo Rogers (1983), diversos estudos anteriores dão sustentação a sua afirmação que as distribuições da adoção de uma inovação, por período, seguem uma curva em forma de sino ao longo do tempo, aproximando-se, desse modo, de uma distribuição normal.

De acordo com Rogers (1983) a normalidade da curva de adoção se deve ao “efeito de difusão”. Acrescenta ainda que quando plotadas as frequências relativas das adoções a curva, esta segue uma distribuição normal devido ao papel desempenhado pela informação na redução da incerteza ao longo do processo de difusão de uma inovação (ROGERS, 1983).

A curva de difusão (a curva em formato de S) começa a acelerar (*take-off*) à medida que as redes interpessoais são ativadas e as avaliações subjetivas das

inovações vão sendo transmitidas sucessivamente para os membros do sistema social (ROGERS, 1983). Para Rogers (1983) a área na curva de difusão entre 10% a 25% é o centro do processo de difusão, o momento em que ela começa a acelerar (*take-off*), ressaltando que após esse ponto é praticamente impossível parar o processo de difusão de uma inovação (ROGERS, 1983).

Além de nem todas as inovações se difundirem da mesma maneira, muitas vezes, a mesma inovação apresenta padrões de adoção e difusão distintos ao longo do tempo (ROGERS, 1983). E a velocidade relativa com que as inovações são adotadas pelos membros de um sistema social é chamada de taxa de adoção, sendo mensurada como a proporção entre aqueles que adotaram a inovação e a população total do sistema social em um determinado período (ROGERS, 1983).

Para Rogers (1983), as diferenças existentes na taxa de adoção de uma inovação (e entre inovações distintas) podem ser explicadas pelo modo como os indivíduos percebem os atributos ou características da inovação. E estes atributos, embora não sejam os únicos, representam os principais fatores determinantes da adoção de inovações (ROGERS, 1983). E a seguir são apresentados os atributos das inovações, conforme percebidos pelos indivíduos:

- a) Vantagem relativa: grau ao qual uma inovação é percebida como sendo mais vantajosa do que a ideia que ela substitui;
- b) Compatibilidade: situação onde uma inovação é vista como compatível (não fere) com os valores e normas sociais vigentes, com as experiências passadas e necessidades dos adotantes;
- c) Capacidade de avaliação (ou de teste): característica relacionada ao fato de a inovação poder ser experimentada sobre uma base limitada, de poder ser testada antes de sua adoção;
- d) Observabilidade (visibilidade): relacionada ao fato dos resultados de uma inovação (ou seu funcionamento) serem visíveis para os adotantes;
- e) Complexidade: nível de dificuldade percebida pelos adotantes para se compreender e usar uma inovação.

De maneira geral, as inovações que são percebidas pelos adotantes como detentoras de maior vantagem relativa, maior compatibilidade, maior capacidade de avaliação, maior observabilidade e menor complexidade serão adotadas mais rapidamente do que outras inovações com características diferentes (ROGERS, 1983).

Os atributos percebidos pelos indivíduos são responsáveis por 49% a 87% da variação na taxa de adoção das inovações (ROGERS, 1983; ISLAM, 2014). Além desses atributos, outras variáveis também exercem influência sobre a taxa de adoção das inovações, dentre as quais podem ser citadas as seguintes (ROGERS, 1983):

- a) tipos de decisão de inovação (opcional, autoritária e coletiva);
- b) natureza dos canais de comunicação que difundem a inovação em vários estágios do processo de decisão de inovação;
- c) natureza do sistema social e;
- d) a extensão dos esforços de promoção dos agentes de mudança na difusão da inovação, afeta a taxa de adoção da inovação.

Rogers (1983) enfatiza a análise e o detalhamento dos atributos das inovações. Pois são as percepções individuais dos atributos de uma inovação e não os atributos classificados por especialistas ou agentes de mudança o que de fato afetam sua taxa de adoção (ROGERS, 1983).

Mas esta percepção e olhar individual não está isento as ações externas do ambiente onde o adotante está inserido. A taxa de adoção – e, portanto, as decisões individuais – são influenciadas pela natureza do sistema social onde o indivíduo se encontra, com seu sistema de crenças, normas e valores (ROGERS, 1983).

Como já destacado, as inovações são vistas inicialmente como portadoras de incertezas e os indivíduos ao longo do processo de decisão de inovação buscam, antes de sua tomada de decisão, reduzir essas incertezas por meio do conhecimento das inovações, de como elas funcionam e atendem as suas necessidades (ROGERS, 1983).

Uma das formas de reduzir a incerteza associada a novas ideias é por meio da promoção de campanhas educacionais ou de conscientização. Nesse sentido, as descobertas do trabalho de Islam (2014) sugerem que as campanhas educacionais devem também ir além da explicação da tecnologia em si e esclarecer os critérios de investimento, as tarifas de alimentação e seus efeitos ambientais.

Rogers (1983) destaca que por meio de redes interpessoais os adotantes procuram trocar informações sobre a vantagem relativa de uma dada inovação. Para o autor, a troca dessas informações sobre a inovação está no centro do processo de difusão, assim como, a vantagem relativa é um dos melhores preditores para a taxa de adoção.

Embora a troca de informações entre os pares, vizinhos, amigos e demais membros do círculo de convívio dos adotantes não esteja dentro do escopo do presente trabalho, é importante tomar conhecimento da existência desse processo de comunicação e de sua importância, pois no modelo econométrico construído para análise dos fatores determinantes da adoção da tecnologia SFV residencial no Brasil, o termo de erro contempla essa troca de informações e outros elementos subjetivos não capturados pelo modelo.

As pressões autogeradas pelo sistema em direção à adoção de uma inovação mudam à medida que uma proporção crescente dos membros do sistema adota a inovação – com a mudança da taxa de adoção. Rogers (1983) chamou essa pressão crescente das redes interpessoais de "efeito de difusão".

O efeito de difusão é definido como o grau crescente de influência sobre um indivíduo para adotar ou rejeitar uma inovação, resultante da ativação das redes interpessoais (*peer networks*) sobre uma inovação em um sistema social (ROGERS, 1983). Os benefícios da adoção de algumas inovações, conforme percebidos pelos potenciais adotantes, são influenciados pelo número de usuários que já as adotaram, gerando os chamados efeitos de rede ou retornos dinâmicos crescentes (NELSON; PETERHANSL; SAMPAT, 2004).

Além disso, as normas do sistema social em relação à inovação mudam ao longo do tempo, à medida que o processo de difusão avança e a nova ideia

passa a ser cada vez mais incorporada ao estilo de vida de seus membros (ROGERS, 1983). Esse conceito ganhou uma formulação matemática, dada por Frank Bass (1969), ficando conhecida como *Bass Model* (DOS SANTOS; CANHA; BERNARDON, 2018).

Em seu artigo seminal Bass (1969) afirma que a pressão para os adotantes posteriores aumenta com o número de adotantes anteriores. Em outras palavras, a probabilidade de adoção de uma inovação aumenta à medida que sua base de adotantes se eleva e ativa os efeitos de rede (BASS, 1969).

Na seção seguinte serão discutidos os fatores determinantes da adoção da tecnologia SFV residencial, identificados a partir da análise dos artigos selecionados por meio do levantamento bibliográfico realizado para o presente estudo.

2.3 Determinantes da adoção de SFV residenciais

Consoante as descrições prévias, para Rogers (1983) os principais fatores que conduzem a adoção de uma inovação são seus atributos, a maneira como os atributos ou características de uma determinada inovação são percebidos pelos potenciais adotantes. Contudo, Rogers (1983) também destaca que embora estes atributos sejam os mais importantes, não são os únicos fatores que dirigem a adoção de inovações.

Nesse sentido, os estudos existentes sobre a adoção e difusão da tecnologia SFV residencial têm identificado vários fatores, endógenos e exógenos, que podem influenciar a decisão das famílias na direção de adotar tais tecnologias, bem como, sua taxa de adoção (KURDGELASHVILI *et al.*, 2017).

E conforme antecipado, para o presente estudo foi realizado um levantamento bibliográfico com o objetivo de compreender como a literatura relacionada aos processos de adoção e difusão de SFV residenciais têm abordado a questão acerca dos fatores determinantes da adoção e conseqüente difusão dessa tecnologia.

E como o presente estudo se enquadra na corrente teórica dos determinantes da adoção de inovações sob uma perspectiva econométrica, foram selecionados somente estudos empíricos, com estratégia de pesquisa quantitativa,

fundamentados prioritariamente em dados secundários e que empregam modelos econométricos para identificar os fatores determinantes da adoção de SFV residenciais conectados à rede.

Ao final do levantamento bibliográfico foram selecionados treze artigos, os quais encontram-se listados no Quadro 2, onde são apresentados, para cada um destes artigos, a descrição de suas referências, o tipo de análise empregada, a amostra utilizada e o período em que foi realizado o estudo, assim como, o modelo econométrico adotado pelos autores, a respectiva abrangência e suas principais descobertas.

Quadro 2 - Relação dos artigos selecionados a partir do levantamento bibliográfico

[Continua]

Id	Referência	Tipo de Análise	Amostra e período estudado	Modelo empregado	Abrangência	Principais descobertas
1	Balta-Ozkan, Yildirim e Connor (2015)	Padrões espaciais da adoção de SFV residenciais	374.445 SFV residenciais no Reino Unido (2010-2013)	Modelo autoregressivo no Spatial Durbin Model	Regional (UK)	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda de eletricidade, densidade populacional, nível educacional, radiação solar e tipo de moradia influenciam a adoção de SFV - A variável reanda é estatisticamente insignificante, enquanto que a propriedade da residência apresenta impacto negativo sobre a adoção, indicando, segundo os autores, a importância do capital acumulado pelas famílias - Presença de spillovers espaciais significativos
2	Graziano e Gillingham (2015)	Padrões espaciais da adoção de SFV residenciais	3.833 residências do estado de Connecticut (EUA) - (2005–2013)	Modelo de regressão não linear binomial negativo com efeitos fixos	Estadual	<ul style="list-style-type: none"> - Impactos positivos das variáveis instalações de SFV preexistentes e ambiente construído sobre a adoção - A difusão de sistemas fotovoltaicos exibe padrões espaciais de vizinhança, que decrescem com o tempo e a distância - Os agrupamentos (clusters) não seguem os padrões espaciais da renda e população - Pequenos centros contribuem mais para a adoção de SFV do que grandes áreas urbanas
3	Radomes e Arango (2015)	Análise da difusão de SFV residenciais	783.000 SFV residenciais da cidade de Medellín (Colômbia). Período dos dados empregados no modelo (2000-2014) e período de análise dos impactos das políticas (2015-2035)	Bass Model	Municipal	<ul style="list-style-type: none"> - Campanhas de informação e conscientização, interação social, período de retorno sobre o investimento e a disposição para investir apresentam impacto positivo sobre a adoção e difusão de SFV <p style="text-align: right;">[Continuação]</p>
4	Schaffer e Brun (2015)	Padrões espaciais da adoção de SFV residenciais	820.000 SFV residenciais de toda Alemanha (2012)	Modelo econométrico espacial cross-	Nacional	<ul style="list-style-type: none"> - Densidade habitacional, status de propriedade da residência, radiação solar e renda per capita influenciam positivamente a adoção de SFV - A atitude ambiental ou ecológica da população parece não

Id	Referência	Tipo de Análise	Amostra e período estudado	Modelo empregado	Abrangência	Principais descobertas
				sectional		exercer nenhuma influência - Presença de spillovers espaciais transregionais significativos
5	DE Groote, Pepermans e Verboven (2016)	Padrões espaciais da adoção de SFV residenciais	220.464 SFV residenciais, para a região de Flandres na Bélgica (2006-2012)	Modelo de regressão GMM Poisson com erros-padrão robustos	Regional	<ul style="list-style-type: none"> - Os incentivos financeiros desempenham um papel importante na adoção de SFV - Há um forte efeito de renda incondicional, levando as famílias mais ricas a se beneficiarem desproporcionalmente dos subsídios - O tamanho e a idade da residência desempenham um papel importante: a adoção de SFV residenciais é mais provável em residências maiores e construídas recentemente, reforçando o efeito renda incondicional
6	Rode e Weber (2016)	Padrões espaciais da adoção de SFV residenciais	576.056 SFV residenciais de toda Alemanha (1992-2009)	Modelo epidemico de difusão - modelo de regressão Poisson com efeitos fixos	Nacional	<ul style="list-style-type: none"> - O comportamento imitativo de adoção é altamente localizado e um fator importante para a difusão de SFV - Influência decrescente da distância na imitação localizada. A proximidade espacial facilita o comportamento imitativo - A imitação pode ser mais importante para adoção quanto maior o nível de não usuários restantes - Incentivo financeiro não é o único fator importante na promoção da adoção
7	Allan e Mcintyre (2017)	Padrões espaciais da adoção de SFV residenciais	270.918 SFV residenciais na Inglaterra (04/2010 a 06/2012)	Modelo autoregressi no Spatial Durbin Model	Nacional	<ul style="list-style-type: none"> - Os efeitos espaciais entre regiões são importantes - O tipo de residência exerce influência sobre a adoção - A densidade populacional apresenta impacto negativo sobre a adoção - A proporção de residências com propriedade definitiva apresenta impacto positivo sobre a adoção (famílias sem hipoteca ou financiamentos imobiliários) - Há poucas evidências de que atitude ambiental ou ecológica explique a taxa de adoção de SFV pelas famílias - A variável radiação solar não é significativa.

[Continuação]

Id	Referência	Tipo de Análise	Amostra e período estudado	Modelo empregado	Abrangência	Principais descobertas
8	Dharshing (2017)	Padrões espaciais da adoção de SFV residenciais	807.969 SFV residenciais em 402 distritos alemães (2000-2013)	Modelo de Regressão Espacial	Distrital	<ul style="list-style-type: none"> - Presença de spillovers espaciais significativos entre as regiões - O retorno sobre o investimento é positivamente relacionado a adoção de SFV - As variáveis relacionadas ao status socioeconômico: renda e educação são positivamente relacionadas ao número de instalações regionais de SFV - A taxa de desemprego tem uma influência negativa sobre a adoção de SFV
9	Busic-Sontic e Fuerst (2018)	Padrões espaciais da adoção de SFV residenciais	Levantamento dos traços de personalidade, 374.785 indivíduos em todo Reino Unido (2009-2011). 124.320 SFV residenciais em todo Reino Unido (2011- 2014)	Modelo de regressão pela primeira diferença e efeitos fixos	Regional (UK)	<ul style="list-style-type: none"> - Os resultados sugerem que distritos com concentrações espaciais de <u>Abertura à Experiência</u> e <u>Consciência</u> exibem efeitos de pares mais fortes, mas apenas sob configurações de baixos subsídios financeiros - A parcela da população com maior média de idade tem impacto positivo sobre os efeitos dos pares e consequente adoção (indicando que pessoas mais velhas se conformam mais com as normas sociais do que pessoas mais jovens) - Quanto maior a parcela da população que viaja regularmente a trabalho, maior o impacto positivo sobre os efeitos dos pares e consequente adoção - A tarifa FIT tem impacto positivo e significativo sobre os efeitos dos pares e consequente adoção
10	Jayaweera, Jayasinghe e Weerasinghe (2018)	Padrões espaciais da adoção de SFV residenciais	2.830 SFV residenciais, no distrito de Colombo, Sri Lanka (2010-2016)	Modelo de regressão binomial negativa inflada de zeros (ZINBM)	Distrital	<ul style="list-style-type: none"> - Há uma forte relação entre a educação universitária e a adoção de SFV - Pessoas de meia-idade e aposentados (grupos de 40–49 e 70–79 anos) são mais propensos a adotar - Os resultados demonstram que níveis médios e superiores de qualidade de vida apresentam impacto significativo sobre a adoção - O tamanho da residência tem impacto positivo sobre a adoção
11	Best, Burke e Nishitaten	Determinantes da adoção	Amostra de 17.437 residências (Na	Modelo de regressão	Nacional	<ul style="list-style-type: none"> - A riqueza líquida da família apresenta relação positiva e estatisticamente significativa com a adoção de SFV

[Conclusão]

Id	Referência	Tipo de Análise	Amostra e período estudado	Modelo empregado	Abrangência	Principais descobertas
	(2019)		Survey de Renda e Moradia, 2015-2016, do Departamento de Estatísticas da Austrália) Amostra de 11.707 residências (Na Survey de Consumo de Energia Residencial, 2012, do Departamento de Estatísticas da Austrália)	logística com efeitos fixos		<ul style="list-style-type: none"> - As famílias que possuem hipotecas, consomem mais com eletricidade e pagam preços médios mais altos de eletricidade têm mais probabilidade de adotar - Há relação positiva entre a proporção da renda de previdência privada (incluindo aposentadoria) e a adoção de SFV - Maior densidade populacional, assim como, maior proporção de apartamentos e residências alugadas impõem restrições a adoção de SFV
12	Graziano, Fiaschetti e Atkinson-Palombo (2019)	Padrões espaciais da adoção de SFV residenciais	Hartford, East Hartford, Glastonbury e Manchester, Connecticut, EUA (01/2005-09/2013)	Modelo autoregressivo espacial SAR (caso especial do Spatial Durbin Model)	Municipal	<ul style="list-style-type: none"> - Existência de peer-effects espaciais e que estes são mais fortes para menores faixas espaciais (menor distância) e diminuem ao longo do tempo - Existência de spillovers espaciais - Os resultados das variáveis para ambiente construído e posse não são conclusivas.
13	Inhoffen, Siemroth e Zahn (2019)	Efeitos da interação social sobre as políticas de incentivo	1,29 milhões de SFV residenciais em toda Alemanha (2000-2012)	Modelo de regressão logística	Nacional	<ul style="list-style-type: none"> - Os efeitos da interação social aumentam o número e a probabilidade de futuras instalações de SFV e são mais fortes nos municípios com menor taxa de desemprego e menor participação de votos no Partido Verde - Maior radiação solar aumenta os efeitos sociais sobre o número de instalações

Fonte: Autoria própria (2020).

E a partir da análise destes treze artigos selecionados foram identificadas 48 variáveis explicativas (os chamados fatores determinantes da adoção da tecnologia SFV residencial) distintas e que foram utilizadas na construção dos modelos econométricos empregados nos estudos descritos nestes artigos.

Após essa etapa, estas 48 variáveis explicativas foram classificadas em oito categorias, tendo como referência principal os critérios de inclusão e as definições das subcategorias de variáveis explicativas empregados por Kastner e Stern (2015) em seu artigo de revisão dos estudos empíricos sobre o processo de decisão de investimentos relevantes em energia realizados pelas famílias.

Todavia, é prudente ressaltar, que as denominações dadas as categorias de variáveis explicativas empregadas no presente estudo não são, necessariamente, as mesmas denominações das subcategorias estabelecidas por Kastner e Stern (2015).

Como exemplo, a categoria características da residência, usada no presente estudo, refere-se à subcategoria residência (*Housing*), utilizada por Kastner e Stern (2015). Ao passo que, para a subcategoria consequências financeiras (*Financial consequences*), utilizada pelos referidos autores, foi empregada no presente estudo a denominação de categoria de variáveis explicativas econômico-financeiras.

Além disso, nem todas as variáveis explicativas identificadas nos artigos selecionados para o presente estudo se encaixam perfeitamente na classificação ou tipologia estabelecida por Kastner e Stern (2015), bem como, a categoria economia e mercado não consta da relação de subcategorias definidas por Kastner e Stern (2015).

Entretanto, para a classificação das variáveis explicativas buscou-se seguir os critérios de inclusão e as definições das subcategorias de variáveis explicativas definidas por Kastner e Stern (2015). E com relação aos ajustes realizados, estes buscaram compatibilizar os critérios e definições de Kastner e Stern (2015) com o uso dado as variáveis explicativas nos artigos selecionados.

No Quadro 3 são apresentadas as variáveis explicativas identificadas (terceira coluna), as categorias a que se vinculam (segunda coluna) e o total de uso (ou de citações) de cada uma destas variáveis explicativas entre os artigos selecionados para compor o referencial teórico do presente estudo (quarta coluna).

Quadro 3 - Resumo das variáveis explicativas usadas nos artigos selecionados, categorias e total de citações

[Continua]

Id	Categorias	Variáveis explicativas	Total de citações
1	Comportamento ou atitude ambiental	Atitude ou preocupação ambiental (outra proxy empregada)	3
		Atitude ou preocupação ambiental (proxy usada = voto partido verde, socialista ou outro partido de esquerda)	6
		Medidas relacionadas a eficiência energética	1
		Variável referente a poluição (Emissão de CO ₂)	1
2	Características da residência	Idade da residência	2
		Qualidade da residência	1
		Qualidade do telhado	1
		Residência alugada ou ocupada pelo proprietário	6
		Tamanho da residência	4
		Valor da residência	1
		Status de propriedade da residência - sem vínculo hipotecário ou i	[Continuação]
		Tipo de residência (casas separadas, geminadas, apartamentos, etc)	5
3	Demografia	Consumo de eletricidade	2

Id	Categorias	Variáveis explicativas	Total de citações
		Densidade habitacional	3
		Densidade populacional	6
		Gênero do chefe da família	2
		Idade (população ou chefe da família)	7
		Nível educacional (ou qualificação profissional)	6
		Número de crianças	1
		Número de famílias residindo no mesmo imóvel	2
		Número de novas residências	1
		Número de unidades residenciais	6
		Nacionalidade do chefe da família	1
		Parcela da população que se encontra ocupada	[Continuação]
		População	1
		Raça ou etnia do chefe da família	2

Id	Categorias	Variáveis explicativas	Total de citações
		Status ocupacional - setor em que o chefe da família trabalha	1
		Tamanho da família	3
		Taxa de desemprego	3
		Variável referente a renda	9
4	Econômico-financeiras	Confiança para adotar a tecnologia	1
		Custo de instalação do SFV	1
		Custo de manutenção	1
		Estimativa de vida útil dos módulos solares	1
		Retorno sobre o investimento (ROI)	1
		Variável referente ao timing dos compromissos financeiros das famílias	1
		Variável relacionada a riqueza (patrimônio)	[Conclusão]
5	Influências sociais	Base instalada de SFV	3
		Capacidade técnica pré-existente (instaladores e profissionais especializados)	1

Id	Categorias	Variáveis explicativas	Total de citações
		Média de instalações fotovoltaicas próximas	2
		Número de residências com SFV instalados	1
		Traços de personalidade (abertura a experiências, consciência, extroversão, agradabilidade, neuroticismo)	1
		Percentual da população em trânsito	1
6	Localização da residência	Radiação solar	4
		Variável referente a localização da residência	2
7	Economia e mercado	Indicador de atividade econômica	1
8	Regulamentos	Incentivos e subsídios	4
		Preço da energia elétrica	3

Fonte: Autoria própria (2020).

A seguir serão analisadas as influências de algumas das variáveis explicativas, ou fatores determinantes, empregadas na construção dos modelos econométricos utilizados nos artigos selecionados. E buscando alinhar a análise dessas variáveis explicativas com a Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (1983) serão oportunamente apresentadas as definições e descobertas conforme tratadas pelos autores dos artigos selecionados, bem como, com os conceitos apresentados por Rogers (1983).

2.3.1 Comportamento ou atitude ambiental

A literatura sobre os determinantes da adoção da tecnologia SFV residencial têm investigado a relação entre o comportamento ou atitude ambiental dos adotantes potenciais e suas motivações para adotar tais tecnologias (BALCOMBE; RIGBY; AZAPAGIC, 2013; SCHELLY, 2014). De acordo com Schelly (2014), uma visão comum, mesmo entre pesquisadores acadêmicos e formuladores de políticas, é que a adoção da tecnologia solar fotovoltaica é um comportamento motivado por questões ambientais.

Seguindo esta linha, alguns dos artigos selecionados para compor o referencial teórico para o presente estudo buscaram analisar o papel desempenhado pelo comportamento ou atitude ambiental das famílias sobre a adoção de SFV residenciais em diferentes contextos (INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019; SCHAFFER; BRUN, 2015; DHARSHING, 2017; BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019).

E no processo de análise destes artigos foi constatado o uso de três diferentes *proxies* (*proxy* é uma medida ou variável usada para substituir outras variáveis que não podem ser diretamente quantificadas, como a preocupação ambiental das famílias) como medidas relacionadas ao comportamento ou atitude ambiental das famílias.

Visto que parcela significativa dos estudos abordados nos artigos selecionados se referem a países europeus, uma medida usualmente empregada tem sido o percentual de votos direcionados ao partido verde (ou demais partidos de esquerda), pois presume-se que os eleitores destes partidos sejam mais conscientes ambientalmente (INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019; SCHAFFER; BRUN, 2015; DHARSHING, 2017).

Outros estudos usaram mais de uma medida, além dos votos direcionados ao partido verde. De Groot, Pepermans e Verboven (2016) fazem uso da decisão de instalar isolamento térmico pelas famílias da região de Flandres como *proxy*, enquanto Allan e McIntyre (2017) adotam a parcela de famílias do Reino Unido que reciclam os lixos de suas residências.

Além dessas, Best, Burke e Nishitaten (2019) consideram a participação em um esquema de incentivo ao uso de energia verde como uma medida de preocupação ou atitude ambiental das famílias. Estas três medidas indicam que tais famílias são ambientalmente preocupadas e, diante disso, estes estudos buscaram investigar se tal preocupação é um fator determinante para a adoção de SFV residenciais.

Entretanto, além do emprego de diferentes medidas para estudar o comportamento ou atitude ambiental das famílias com relação a decisão de adotar ou não SFV residenciais, os resultados obtidos pelos estudos também diferem.

Quatro estudos concluíram que a atitude ambiental não influencia a adoção dessa tecnologia (ALLAN; MCINTYRE, 2017; DHARSHING, 2017; INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019; SCHAFFER; BRUN, 2015). Enquanto dois estudos encontraram relação positiva entre o comportamento ambiental e a adoção de SFV residenciais (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016). Desse modo, e fazendo uso da afirmação de Dharshing (2017), a influência da atitude ambiental das famílias sobre a adoção de SFV residenciais permanece incerta.

2.3.2 Tamanho da residência

De maneira geral, é esperado que residências maiores estejam diretamente relacionadas a maiores taxas de adoção. Essa variável agiria de maneira indireta, pois maiores residências estão geralmente relacionadas a maiores consumos de eletricidade, que por sua vez conduzem a despesas financeiras mais elevadas (BALCOMBE; RIGBY; AZAPAGIC, 2013; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE, 2018). Além disso, para Rogers (1983) os adotantes iniciais

(*earlier adopters*) possuem unidades de tamanho maior (estas unidades podem ser fazendas, empresas, etc) do que os adotantes posteriores (*later adopters*).

E com relação ao tamanho da residência e sua influência sobre a adoção de SFV residenciais, também foram encontradas diferenças entre as medidas *proxies* usadas, assim como, entre os resultados obtidos nos estudos descritos nos artigos selecionados.

Enquanto Best, Burke e Nishitatenno (2019) e Graziano, Fiaschetti e Atkinson-Palombo (2019) adotam o número de quartos de uma residência como medida de tamanho; De Groote, Pepermans e Verboven (2016) empregam a área da residência em m² e Jayaweera, Jayasinghe e Weerasinghe (2018) usam o número de pavimentos como medida de tamanho.

Dois destes estudos confirmaram a hipótese de a adoção de SFV residenciais se tornar mais provável em residências maiores (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016). Em contrapartida, no estudo realizado por Graziano, Fiaschetti e Atkinson-Palombo (2019) a parcela correspondente a residências maiores apresentou efeito negativo sobre a adoção. E no estudo de Jayaweera, Jayasinghe e Weerasinghe (2018) apenas as residências de tamanho intermediário exerceram influência.

2.3.3 Tipo de ocupação da residência: residência alugada ou ocupada pelo proprietário

Dentro da categoria referente as características da residência, a variável tipo de ocupação da residência vem sendo investigada pela literatura sobre a adoção e difusão de SFV residenciais. A questão que se coloca é a seguinte: o fato de as famílias residirem em casas próprias ou alugadas impacta a adoção dessa tecnologia?

De maneira geral, pressupõe que o fato de a residência ser própria influencia positivamente a adoção de SFV, enquanto as residências alugadas exercem influência negativa. Assim como, áreas com grande concentração de residências alugadas são vistas como uma barreira a adoção de novas tecnologias de geração de energias renováveis (GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015; BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019).

E essa influência negativa se deve a quatro fatores: problemas relacionados a questão agente-principal e incentivos divididos, direitos de propriedade e custos de transação. Cabe destacar que estes fatores também afetam as residências multifamiliares (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015).

Todos os artigos que analisaram a relação residência alugada-adoção identificaram a relação negativa existente entre as residências ocupadas por locatários e adoção de SFV (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015; GRAZIANO; FIASCHETTI; ATKINSON-PALOMBO, 2019).

Com relação as residências ocupadas pelo proprietário, Schaffer e Brun (2015) identificaram efeito positivo desse tipo de residência sobre a adoção de SFV residenciais. Em contrapartida, Balta-Ozkan, Yildirim e Connor (2015) constataram um efeito negativo dessa variável sobre a adoção e, segundo os autores, esse resultado, juntamente com o efeito não significativo encontrado para a variável renda, destaca a importância do capital acumulado pela família.

2.3.4 Tipo da residência

O tipo da residência é outra variável que integra a categoria características da residência. Acredita-se que morar em residências separadas (não conjugadas) aumenta a probabilidade de adoção de SFV residenciais, pois tem maiores áreas de telhados, permitem acesso mais fácil (facilitando a instalação e manutenção) e possuem menores problemas com obstáculos que causam sombreamento (árvores ou outras construções) (DHARSHING, 2017; BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015).

Por outro lado, residir em apartamentos, bem como, em áreas com grande concentração de edifícios residenciais, prédios ou conjuntos de apartamentos reduz a probabilidade de adoção (DHARSHING, 2017; ALLAN; MCINTYRE, 2017). E de modo geral, quatro dos cinco artigos analisados e que empregam a variável explicativa tipo de residência corroboram a hipótese básica (ALLAN; MCINTYRE, 2017; BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; BUSIC-SONTIC; FUERST; 2018).

Por fim, um dos estudos concluiu que no geral, e conforme esperado, áreas com uma parcela maior de apartamentos conduzem a taxas mais baixas de adoção. Entretanto, o que chama atenção nos resultados apresentados, se deve ao fato dos autores identificarem que casas geminadas exercem um efeito mais forte sobre a adoção, o que contradiz a literatura existente, e referida há pouco, que casas separadas oferecem maiores e melhores áreas para instalação e manutenção dos SFV (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016).

2.3.5 Densidade populacional

Nos estudos analisados, os resultados obtidos para essa variável foram controversos. Entre os artigos, quatro identificaram a existência de relação negativa entre esta variável e a adoção de SFV residenciais (ALLAN; MCINTYRE, 2017; BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015). Em contrapartida, os resultados do trabalho conduzido por Inhoffen, Siemroth e Zahn (2019) indicam que o impacto dessa variável sobre a adoção de SFV residenciais não é significativo.

De maneira geral, para os autores destes artigos, áreas densamente povoadas inibem a adoção de SFV residenciais, pois em tais áreas há maior concentração de edifícios, conjuntos residenciais e residências conjugadas (geminadas), oferecendo poucos espaços para a instalação de SFV.

2.3.6 Densidade habitacional

Com relação a densidade habitacional, a análise é semelhante à realizada para a densidade populacional e os estudos novamente conduzem a descobertas diferentes. A densidade habitacional é geralmente calculada como a relação entre o número de residências e algum indicador referente a área (como a extensão territorial ou área total de terrenos residenciais).

No estudo realizado por Graziano, Fiaschetti e Atkinson-Palombo (2019) sobre os determinantes da difusão de SFV residenciais em Connecticut (EUA) a variável densidade habitacional não teve significância estatística. Enquanto Schaffer e Brun (2015) concluíram que a densidade habitacional é um importante fator para a adoção, na medida que ativa os efeitos de vizinhança (*peer-effects*) e conduzem a

uma maior taxa de adoção dessa tecnologia, facilitando o processo de comunicação e consequente difusão, pois para Rogers (1983) a difusão de inovações é um tipo especial de comunicação.

2.3.7 Nível educacional

Com relação a variável nível educacional, os estudos analisados estabelecem como *proxy* medidas relacionadas a qualificação profissional e educação dos tomadores de decisão nas famílias (o líder ou chefe da casa). E como hipótese básica assumem que níveis de qualificação profissional e educacional mais elevados conduzem a maiores taxas de adoção de SFV residenciais.

E esta hipótese está alinhada com a visão de Rogers (1983), ao definir os adotantes iniciais (*earlier adopters*) de uma inovação como os membros do sistema social com mais elevados níveis educacionais, bem como, apresentam um status social diferenciado e outras características relacionadas a estas. E quatro estudos confirmam a hipótese básica, que níveis educacionais mais elevados conduzem a uma maior adoção de SFV residenciais (BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; ALLAN; MCINTYRE, 2017; DHARSHING, 2017; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE, 2018).

Entretanto, o nível educacional não apresentou significados claros no estudo de De Groot, Pepermans e Verboven (2016). Em uma estimação dos determinantes do tamanho do SFV residencial a ser escolhido, a variável educação – nível superior chega a ter impacto negativo sobre a adoção.

2.3.8 Renda

Na Teoria da Difusão de inovações, a variável renda exerce um importante papel, pois os adotantes iniciais (*earlier adopters*) são caracterizados por possuírem rendas mais elevadas, indicando status social mais alto. Nesse sentido e de modo geral, maiores rendas conduzem a maiores taxas de adoção de uma inovação (ROGERS, 1983).

E nos artigos analisados foram usadas várias medidas *proxies*, como a renda média ou mediana domiciliar e renda per capita, líquidas ou brutas e em bases temporais distintas, como semanais, mensais, trimestrais e anuais. Mas,

independentemente da medida empregada, de modo geral, o resultado esperado é o mesmo, com a variável renda exercendo impacto positivo e direto sobre a adoção de SFV residenciais (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; DHARSHING, 2017; SCHAFFER; BRUN, 2015).

Três estudos confirmaram o resultado esperado, com a renda exercendo influência positiva e direta sobre a adoção de SFV residenciais (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; DHARSHING, 2017; SCHAFFER; BRUN, 2015). Entretanto, para dois estudos a variável renda não exerceu influência significativa sobre a adoção (BUSIC-SONTIC; FUERST, 2018; BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015).

Uma avaliação mais profunda do impacto da renda sobre a adoção de SFV residenciais é encontrada no estudo de De Groot, Pepermans e Verboven (2016). Os autores empregaram duas variáveis relacionadas a renda, a renda média familiar e o coeficiente de dispersão da renda. Esta última medida busca identificar os efeitos de maiores rendas sobre a adoção e que, para os autores, não podem ser identificados apenas pelo uso da variável renda média residencial (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016).

Nos diversos modelos estimados pelos autores, a renda média vai perdendo poder explicativo à medida que outras covariáveis (outras variáveis explicativas) vão sendo inseridas nos modelos (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016). E para captar o efeito incondicional da renda os autores rodam um modelo com apenas a renda como variável explicativa, sem nenhuma outra covariável, obtendo um coeficiente de renda incondicional de 1,6 (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016).

Os autores demonstram que um aumento de 1% na renda reflete em um aumento correspondente de 60% na adoção de SFV residenciais. Contudo, ao serem inseridas, sucessivamente, outras variáveis relacionadas a renda no modelo (como o consumo de eletricidade), seu poder explicativo se reduz progressivamente (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016).

A existência desse forte efeito de renda incondicional conduz a um efeito Matthew, situação em que as famílias mais ricas se beneficiam proporcionalmente

mais das políticas de incentivo do que as demais famílias, levando essas famílias a adotarem mais (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016).

A análise de De Groot, Pepermans e Verboven (2016) está alinhada com os resultados obtidos pelo estudo de Schaffer e Brun (2015), com as adoções de SFV residenciais sendo realizadas principalmente por famílias mais ricas, sobretudo em condições de incentivos financeiros, confirmando a afirmação de Rogers (1983).

2.3.9 Incentivos financeiros

Para Rogers (1983) os incentivos se referem a pagamentos diretos e indiretos, em dinheiro ou em espécie, disponibilizados a um indivíduo, a um grupo ou a sociedade como um todo, com o objetivo de desencadear mudanças comportamentais, como a promoção da adoção de uma inovação.

Os incentivos podem modificar a maneira como os indivíduos percebem a inovação, em termos de sua vantagem relativa. Podem também ser usados para aumentar a observabilidade (ou visualização) de uma inovação, bem como, para comunicar sua existência e características entre os membros de um sistema social (ROGERS, 1983).

Além disso, com base em seu estudo sobre inovações relacionadas ao planejamento familiar, Rogers (1983) indica que o uso de incentivos tem três possíveis impactos sobre o processo de difusão de uma inovação (SIMPSON; CLIFTON, 2017):

- a) Elevam a taxa de adoção, pois aumentam a vantagem relativa relacionada a inovação e atuam como um ponto de ação (*cue-to-action*) para aqueles que consideram a adoção da inovação em questão;
- b) Os Incentivos podem promover a adoção de uma inovação por indivíduos ou grupos de indivíduos diferentes daqueles que usualmente as adotariam. Nesse sentido, os incentivos podem proporcionar uma difusão mais inclusiva;
- c) Também podem desempenhar um impacto negativo sobre a difusão, pois se de um lado os incentivos têm condições de aumentar a base de adotantes de uma inovação, a qualidade das decisões de adoção pode ser comprometida. Entende-se que a decisão de adotar acaba sendo

influenciada pela presença dos incentivos e não por uma maior compreensão da inovação.

Em artigo recente, Simpson e Clifton (2017) estudaram os efeitos do uso de incentivos sobre a adoção de SFV residenciais na Austrália Ocidental, tendo como base a Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (1983) e estes três possíveis impactos sobre o processo de difusão de uma inovação. E, segundo os autores, os resultados do estudo confirmaram, em certa medida, a presença destes três efeitos (SIMPSON; CLIFTON, 2017).

De forma geral, entende-se que o uso de incentivos é importante, pois os SFV residenciais dependem dos incentivos para se difundirem, pois em muitos países ainda não conseguem competir em igualdade de condições com as tecnologias estabelecidas e mesmo com outras formas de GD a partir de fontes renováveis (CASTANEDA; ZAPATA; ARISTIZABAL, 2018; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE, 2018).

Cabe ressaltar que os subsídios oferecidos pelos governos podem ir em dois sentidos: mantêm os preços dos SFV residenciais abaixo do nível de preços do mercado para as famílias ou para os produtores são garantidos preços acima dos preços de mercado (RADOMES; ARANGO, 2015).

Com isso, o governo assume a diferença entre o custo real de aquisição do SFV residencial ou o custo de produção a um determinado nível de preços, estimulando as famílias a adotarem essa tecnologia (RADOMES; ARANGO, 2015). E nos artigos analisados foi detectado o uso de diferentes *proxies* para estudar o impacto dos esquemas de incentivo sobre a adoção dos SFV residenciais.

Mas, semelhante a variável renda, de modo geral e independentemente da medida usada, o resultado esperado é o mesmo, com a variável incentivos exercendo impacto positivo e direto sobre a adoção de SFV residenciais (CASTANEDA; ZAPATA; ARISTIZABAL, 2018; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE, 2018). E nos estudos analisados foi confirmada essa premissa, com os incentivos financeiros exercendo impacto positivo sobre a adoção de SFV residenciais.

Com relação as *proxies* usadas, no modelo empregado em seu estudo, De Groot, Pepermans e Verboven (2016) usam como *proxy* um subsídio financeiro fixo sobre o custo de aquisição dos SFV, Graziano e Gillingham (2015) adotam como *proxy* a participação no programa de incentivos Solarize Connecticut (que inclui subsídios) enquanto Busic-Sontic e Fuerst (2018) usam como *proxy* a participação em um esquema FIT.

Na seção seguinte será descrito de forma sucinta o funcionamento dos SFV residenciais e na sequência será discutida a geração distribuída de eletricidade, bem como, alguns dos esquemas de incentivo existentes em outros países e os atualmente em uso no Brasil.

2.4 Caracterização dos sistemas fotovoltaicos residenciais

O objetivo deste tópico é descrever brevemente o que são e como funcionam os SFV residenciais. Não se trata de discorrer sobre questões muito técnicas e operacionais dos sistemas, e sim, proporcionar uma visão geral da tecnologia abordada no presente estudo.

A energia solar pode ser usada tanto para a produção de energia térmica quanto elétrica. Para o último uso, as células fotovoltaicas (produzidas principalmente em silício e incorporadas em painéis solares) convertem a luz solar em eletricidade e, no caso de sistemas de GD, esta é alimentada na rede principal (SCHAFFER; BRUN, 2015).

O mercado disponibiliza atualmente quatro tipos de painéis para geração solar fotovoltaica: monocristalino, policristalino, amorfo e híbrido e cada um exibe vantagens e desvantagens em relação ao seu desempenho, eficiência, confiabilidade, custo e flexibilidade (RADOMES; ARANGO, 2015). Contudo, no presente estudo não foi feita nenhuma distinção entre essas tecnologias de painéis.

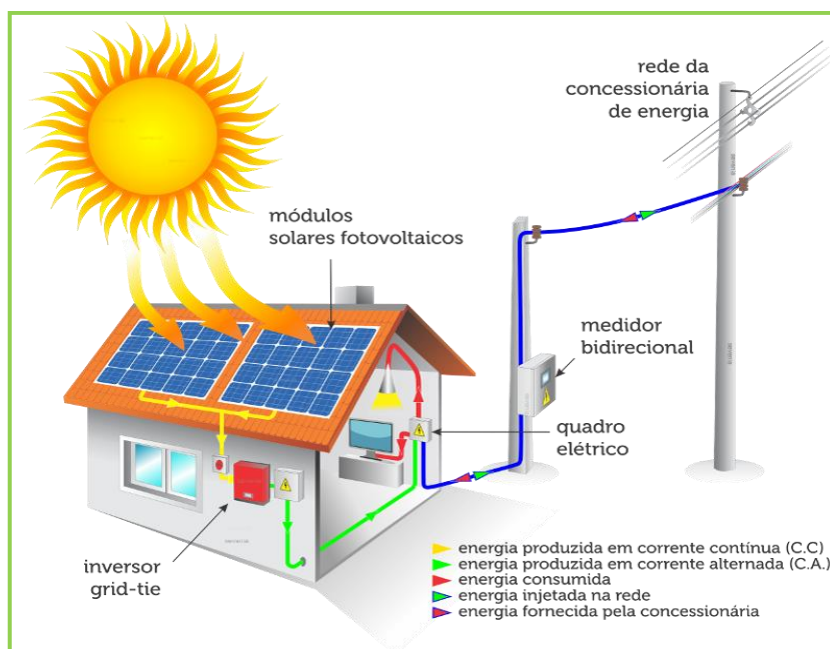
No Quadro 4 são mostrados os principais componentes dos SFV residenciais.

Quadro 4 - Principais componentes de um SFV residencial

Componentes	Descrição
1. Módulos solares fotovoltaicos	O módulo solar fotovoltaico é uma unidade formada por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica.
2. Inversor solar (ou <i>grid-tie</i>)	É um componente do sistema de geração que converte em corrente alternada (compatível com a rede elétrica) a energia produzida em corrente contínua pelas unidades geradoras, sendo geralmente utilizado em sistemas de geração cuja fonte é solar ou eólica.
3. Quadro elétrico	A energia que sai do inversor solar vai para o "quadro de luz", e assim, é distribuída para a residência.
4. Medidor bidirecional	O medidor bidirecional mede não apenas a eletricidade consumida por uma residência, mas também a eletricidade injetada na rede elétrica. Trata-se do próprio sistema <i>net metering</i> e é fornecido pela concessionária.

Fonte: COPEL (2020); ABNT (2013), ANEEL (2020)

Na Figura 3 é exposto um diagrama do funcionamento dos SFV residenciais e como seus componentes estão interconectados dentro do conceito de GD de energia elétrica.

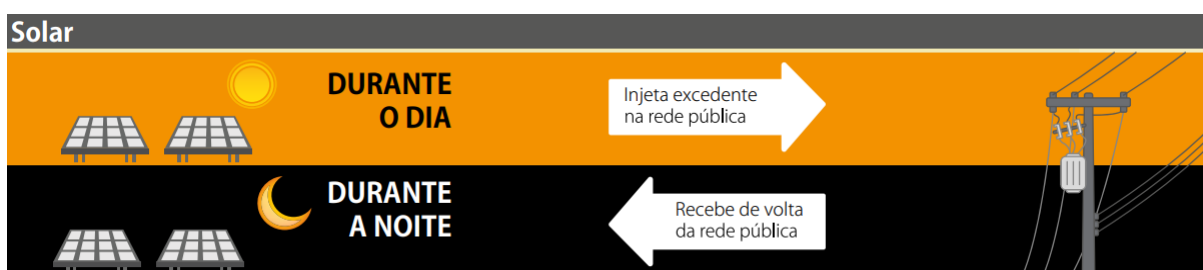
Figura 3 - Diagrama de um SFV residencial

Fonte: Azul Sol Energia Solar (2020)

A Figura 3 se refere ao diagrama de um SFV *on-grid*, onde os SFV residenciais são conectados à rede da concessionária de energia elétrica. Há também os chamados sistemas *off-grids*, que funcionam fora da rede e com dispositivos acessórios para armazenamento de energia (baterias).

Na Figura 4 é representada a ideia básica do funcionamento do sistema de compensação de energia (*net-metering*) inserido pela REN 482/2012 da ANEEL. Durante o dia os SFV residenciais geram eletricidade e a noite, quando não estão gerando eletricidade, eles recebem a eletricidade da rede da concessionária, dispensando o uso de baterias.

Figura 4 - Representação do mecanismo de compensação de energia



Fonte: BNB (2020).

Na próxima seção será discutida a geração distribuída de eletricidade (GD), seu histórico, o marco regulatório e o panorama atual da GD no país, bem como, alguns dos esquemas de incentivo existentes em outros países e os atualmente em uso no Brasil.

2.5 Geração distribuída

Geração distribuída (GD) é definida pela instalação de sistemas geradores de energia elétrica de pequeno porte (geralmente não planejadas) a partir de fontes renováveis ou combustíveis fósseis, comumente conectadas a rede de distribuição e caracterizadas por estarem próximas aos centros de consumo de energia elétrica (ANEEL, 2016; CARDOSO DE LIMA *et al.*, 2018; CASTANEDA; ZAPATA; ARISTIZABAL, 2018; BNB, 2019).

A GD vem se desenvolvendo nos últimos anos no Brasil, principalmente os SFV residenciais. Ao final de 2019 a capacidade instalada de geração de

eletricidade por meio das unidades de GD alcançou 2,15 Gw e desse total, os SFV residenciais foram responsáveis por 769 Mw (ANEEL, 2019; EPE, 2019).

Entretanto, esses números são tímidos, quando comparados com as experiências de outros países, como a Alemanha, Austrália, Estados Unidos e Inglaterra por exemplo. Na Austrália a taxa de adoção era de aproximadamente 20% (ao final de 2018), colocando o país como líder mundial na adoção dessa tecnologia (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; ZANDER *et al.*; 2019).

Esses países vêm adotando, desde o início da década de 1990, uma variedade de iniciativas de políticas públicas a fim de promover o desenvolvimento de sistemas de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, com destaque para os SFV residenciais (CARDOSO DE LIMA, *et al.*, 2018).

A iniciativa desses países demonstra que o desenvolvimento de políticas públicas é essencial para a ampliação e consolidação de tecnologias alternativas para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Este tópico será abordado na próxima seção.

A história da GD no Brasil tem início no ano de 2010, quando a ANEEL, órgão regulador do setor elétrico brasileiro promoveu a Consulta Pública nº 15/2010 e a Audiência Pública nº 42/2011, promovendo o debate acerca dos dispositivos legais utilizados no Brasil e em outros países referentes à conexão da geração distribuída de pequeno porte na rede de distribuição (ANEEL, 2016).

Nesse contexto, a ANEEL publicou, em 2012, as Resoluções Normativas (REN) 482 e 517, estabelecendo o marco regulatório para o sistema de GD no Brasil (ANEEL, 2012; GUCCIARDI, 2017). A REN 482/2012 visava a redução das barreiras para a instalação de centrais geradoras de pequeno porte em unidades consumidoras de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Tais resoluções definiram duas novas classes de produtores (geradores) / consumidores, a micro e minigeração distribuída, além da definição de padrões simplificados de acesso aos sistemas de distribuição e um sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*) (ANEEL, 2012; GUCCIARDI, 2017).

Para efeitos de diferenciação, a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kw), enquanto a minigeração distribuída refere-se às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 Kw e menor ou igual a 3 megawatt (Mw), para fontes hídricas, ou 5 Mw para as demais fontes renováveis (ANEEL, 2016).

A GD consiste em um modelo ou arranjo tecnológico de geração e distribuição de energia elétrica muito diferente do modelo atual, fundamentado em grandes usinas geradoras, centralizadas e distantes das áreas de consumo, produzindo eletricidade em larga escala e com grande infraestrutura de transmissão e distribuição associada (CARDOSO DE LIMA *et al.*, 2018; GUCCIARDI, 2017).

E os sistemas elétricos nacional e mundial possuem praticamente a mesma configuração, desde o seu início, há mais de cem anos. Assentam-se em grandes usinas elétricas, nucleares ou termoelétricas que geram eletricidade e por meio de uma rede de transmissão e distribuição esta eletricidade é entregue aos consumidores (GUCCIARDI, 2017; PONCE-JARA *et al.*, 2017).

A tecnologia GD se insere dentro do conceito das chamadas *smart grids* ou redes elétricas inteligentes, sendo uma das bases dessas redes. As *smart grids* e a GD mudam a maneira como a energia é gerada e transmitida até os consumidores finais (LOPES *et al.*, 2015).

A relação entre as *smart-grids* e a GD se refere a um conceito importante, que as inovações geralmente não são vistas de forma isoladas pelos adotantes, podendo ser percebidas como um conjunto de novas ideias interconectadas, onde a adoção de uma nova ideia pode desencadear a adoção de outras (ROGERS, 1983). E isso é definido como *cluster* de tecnologia, onde um ou mais elementos distinguíveis da tecnologia são percebidos como estando interconectados (ROGERS, 1983).

Conforme dados da ANEEL, foram instaladas 170.551 micro e mini unidades geradoras de energia elétrica no país durante o período de janeiro de 2014 a dezembro de 2019. Desse total, 170.186 são SFV, representando

aproximadamente 99% do total de unidades instaladas. E desse total de 170.186 SFV, 123.552 são SFV residenciais (ANEEL, 2020).

Atualmente a REN 482/2012 encontra-se em revisão; processo aberto através da Consulta Pública nº 25/2019, que culminou na realização da Audiência Pública nº 40/2019, com o objetivo de revisar às regras aplicáveis à micro e mini geração distribuída no texto da REN 482/2012 e à seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) (ANEEL, 2019).

De acordo com a ANEEL, foram alcançados todos os objetivos previstos com a REN 482/2012, principalmente para os SFV, consolidando um mercado para a GD no país. Entretanto, a ANEEL afirma que há a necessidade de aperfeiçoamento da REN 482/2012, em termos de condições de acesso à rede, ajustes nas obrigações e direitos dos envolvidos e a inclusão de disposições para reduzir as possibilidades de uso indevido da norma (ANEEL, 2019).

Na regra atual, os proprietários de SFV (residenciais e comerciais) pertencentes a faixa de baixa tensão, não pagam os custos de rede (TUSD - tarifa de uso do sistema de distribuição) nem outros encargos associados. Estes são assumidos pela concessionária de energia elétrica e repassados aos demais consumidores não adotantes de unidades de GD (ANEEL, 2019).

Diante disso, a ANEEL propôs a inclusão desses custos de rede (TUSD) e outros encargos no processo de medição e os proprietários de sistemas de GD de eletricidade passariam a pagar por estes itens. Contudo, foi estabelecido um período de transição para as alterações propostas, conforme Quadro 5 (ANEEL, 2019).

Quadro 5 - Resumo das mudanças no sistema de GD

	Geração no próprio local	Geração remota
PARA QUEM JÁ TEM GD (ou solicitar acesso até a publicação da nova norma)	<ul style="list-style-type: none"> - Continuam na regra atual do sistema de compensação até 31 de dezembro de 2030 - A partir de 1º de janeiro de 2031, o faturamento abrangerá o custo da rede + encargos 	<ul style="list-style-type: none"> - Continuam na regra atual do sistema de compensação até 31 de dezembro de 2030. - A partir de 1º de janeiro de 2031, o faturamento abrangerá o custo da rede + encargos
PARA NOVOS ENTRANTES (a partir da publicação da nova norma)	<ul style="list-style-type: none"> - O faturamento abrangerá o custo da rede (até 2020) - O faturamento abrangerá o custo da rede + encargos (2030 ou quando for atingida uma potência instalada pré-determinada de GD) 	<ul style="list-style-type: none"> - O faturamento abrangerá o custo da rede + encargos

Fonte: Elaboração própria (2020) com base nas informações da ANEEL (2020).

Buscar equilibrar a estrutura de custos das concessionárias é a justificativa dada pela ANEEL para as alterações propostas em seu sistema de compensação (*net metering*), acrescentando que tais alterações permitirão um desenvolvimento sustentável da GD no país (ANEEL, 2019). A ANEEL salienta que tal proposta está em consonância com as mudanças que muitos países vêm realizando em suas políticas de incentivos (ANEEL, 2019). E realmente vários países estão realizando ou já realizaram tais mudanças (ANEEL, 2019; DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016).

2.5.1 Políticas de incentivos a adoção de GD

O uso de políticas de incentivos para acelerar o processo de difusão de inovações constitui-se em uma prática bastante antiga. Segundo Rogers (1983), uma das funções do oferecimento de incentivos para os adotantes é aumentar a vantagem relativa de uma nova ideia.

Em muitos países, o investimento inicial necessário limita uma maior taxa de adoção dos SFV residenciais, pois estes tendem a não ser atrativos economicamente na ausência de incentivos. Isso reduz a vantagem relativa percebida dessa tecnologia pelos adotantes, tornando tais políticas essenciais

para a adoção e aceleração da difusão dessa tecnologia (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; KARAKAYA; SRIWANNAWIT, 2015).

O Departamento de Energia e Mudança Climática do Reino Unido (DECC) introduziu em 2010 o esquema de incentivo FIT (*feed-in-tariff*) e a Alemanha promulgou em 2000 sua Lei de Fontes de Energia Renovável (EEG - *Renewable Energy Sources Act*) buscando aumentar a participação das fontes renováveis de 23% em 2012 para 50% até 2030, priorizando essas fontes no acesso à rede e disponibilizando tarifas FIT mais elevadas (BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; BUSIC-SONTIC; FUERST, 2018; SCHAFFER; BRUN, 2015; RODE; WEBER, 2016; DHARSHING, 2017; INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019).

Tomando como exemplo a Alemanha, em 2000 foi lançado o programa cem mil telhados; sendo a continuação do programa mil telhados. Este último foi implementado em 1990 e considerado o primeiro incentivo e ao mesmo tempo uma demonstração dessa tecnologia por toda a Alemanha, resultando em mais de dois mil SFV residenciais instalados e conectados à rede (CARDOSO DE LIMA *et al.*, 2018; RODE; WEBER, 2016).

Alguns incentivos são amplamente utilizados por esses e outros países no intuito de promover a adoção das tecnologias de geração de energia a partir de fontes renováveis, entre os quais: i) *Feed-in-tariffs*; ii) Cotas e certificados verdes negociáveis; iii) Leilões; iv) Incentivos e créditos fiscais e v) *Net metering* ou medição líquida (DE FARIA; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017).

E os governos federais usam diferentes esquemas ou estratégias de incentivos, que podem ser categorizadas como sendo de curto ou de longo prazo (AQUILA *et al.*, 2017). O Quadro 6 descreve essas diferentes estratégias e nas seções seguintes serão apresentadas e analisadas as principais.

Quadro 6 - Principais estratégias de promoção dos SFV residenciais e demais TER

Estratégias	Descrição
1. Estratégias de Curto-Prazo	<ul style="list-style-type: none"> • Subsídios diretos • Reduções de tributos para projetos que usam fontes de energias renováveis • Cobrança de tributos por uma certa quantidade de emissões de CO₂
2. Estratégias de Longo-Prazo	<ul style="list-style-type: none"> • Tarifas de alimentação (<i>Feed-in-tariffs</i>) • Leilões • Sistemas de quotas e certificados verdes

Fonte: Aquila *et al.* (2017).

Segundo Aquila *et al.* (2017) a maioria das políticas governamentais para a promoção de tecnologias de energias renováveis adotam uma composição entre estratégias de curto e longo prazo. No entanto, para os autores, as estratégias de longo prazo são mais adequadas.

2.5.1.1 Tarifa de alimentação (*feed-in-tariff*)

As políticas que fazem uso das tarifas *feed-in-tariffs* (FIT) ou esquemas FIT, como são também conhecidas, apresentam maior eficiência na promoção das tecnologias de energias renováveis (TER), entre as quais os SFV residenciais, pois proporcionam estabilidade no fornecimento de eletricidade e garantem segurança financeira aos produtores (AQUILA *et al.*, 2017).

Nos esquemas FIT, os produtores de eletricidade a partir de fontes renováveis tem prioridade ao acesso à rede, recebem um valor fixo por kW/h de eletricidade gerada, garantido pelo governo por um período específico, de acordo com a tecnologia usada, a potência e instalada e outros fatores relacionados ao contexto de cada país (DHARSHING, 2017; ISLAM, 2014; RODE; WEBER, 2016).

O programa alemão EEG, já apresentado e lançado em 2000, concede acesso prioritário às fontes de energia renovável à rede de distribuição e obriga as operadoras de energia elétrica a comprar dos produtores a eletricidade gerada a partir de fontes renováveis, em troca de uma remuneração fixa durante vinte anos, de acordo com a tecnologia usada, a potência instalada e outros fatores (DHARSHING, 2017; RODE; WEBER, 2016).

Entretanto, tem ocorrido revisões dos esquemas de incentivo oferecidos, conduzindo a reduções nos valores das tarifas FIT. A Alemanha, a partir de 2012 introduziu um esquema de redução no valor das tarifas, dentro de uma visão dinâmica e relacionada ao conceito denominado de “*corridor*”, onde as taxas mensais de redução (fator de digressão) das tarifas são ajustadas conforme o crescimento do mercado de eletricidade (DHARSHING, 2017; RAMÍREZ *et al.*, 2017).

É um dos motivos dessas revisões dos esquemas de incentivo oferecidos, principalmente por meio das tarifas FIT, deriva dos questionamentos que estão sendo postos quanto a sua eficiência. São questionados a alocação dos recursos públicos e os impactos indesejados na alocação espacial dos SFV residenciais (INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019).

Argumenta-se que devido a existência de incentivos, as adoções não ocorrem, necessariamente, em áreas com maior radiação solar. E com o mesmo investimento poderia ser instalado SFV residencial semelhante em outra região, com radiação solar maior e com capacidade para gerar mais eletricidade (INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019).

Além disso, segundo alguns autores, o desenho atual das políticas de incentivo fundamentadas no uso de tarifas FIT pode ampliar as desigualdades econômicas e sociais entre regiões, principalmente pelo fato das famílias mais ricas se beneficiarem mais das políticas de incentivo (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016).

2.5.1.2 Leilões

Em um sistema de leilão, o governo convida os produtores de energia renovável a participar, dentro de uma certa base orçamentária ou capacidade de geração. Os leilões podem ser configurados para envolver várias ou algumas fontes de energia (renováveis ou não), conforme o direcionamento da política energética adotada, onde os lances mais baratos por KW/h são contratados e recebem um subsídio (AQUILA *et al.*, 2017).

De maneira simplificada, De Faria, Trigoso e Cavalcanti (2017, p. 471) definem os leilões como sendo “esquemas de licitação competitiva projetados para incorporar uma certa quantidade de geração renovável na rede, onde os licitantes de menor preço vencem o leilão”.

2.5.1.3 Sistemas de cotas

Um sistema baseado em cotas exige que uma certa quantidade de eletricidade seja gerada através de fontes de energias renováveis. Além disso, nesse mecanismo, os produtores de energia elétrica limpa recebem um certificado comercializável para cada unidade de eletricidade gerada (AQUILA *et al.*, 2017).

Entretanto, diferentemente do que ocorre nos esquemas FIT e na modalidade de leilões, os esquemas baseados em um sistema de cotas não garantem que o governo compre dos produtores a eletricidade gerada por eles. Ao invés disso, espera-se que esta eletricidade gerada seja absorvida pelo mercado privado (AQUILA *et al.*, 2017).

Um dos instrumentos derivados do sistema de cotas é a comercialização dos chamados certificados verdes. Nesse sistema, a eletricidade gerada a partir de fontes renováveis é medida e certificada por uma autoridade de certificação geralmente controlada por uma agência governamental (DE FARIA; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017).

Os certificados são exigidos por fornecedores de eletricidade ou consumidores que devem comprar certificados correspondentes a uma determinada cota do total de vendas ou consumo de eletricidade.

2.5.1.4 Sistema de medição líquida

Das políticas de incentivo à GD apresentadas neste estudo, esta é a única em vigor atualmente no país. A REN 482/2012 implantou o sistema de compensação de energia ou de medição líquida (*net metering*), já comentado em seção anterior, pelo qual a energia elétrica gerada pelos micros e minigeradores

é cedida, de forma gratuita, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa fornecida pela rede (ANEEL, 2012).

Com esse sistema, a partir do momento em que a unidade consumidora produz e injeta na rede uma quantidade de eletricidade superior à sua demanda, passa a ter direito a um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida no período de até 60 meses (ANEEL, 2015).

Destaca-se que esses créditos devem ser utilizados somente para compensar o consumo de eletricidade do proprietário do sistema de GD (DE FARIA; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017). O consumidor pode até compensar o consumo de uma outra unidade consumidora de sua propriedade (mesmo CNPJ ou CPF), desde que pertencente a mesma área de atuação da concessionária de energia elétrica.

A ANEEL, por meio de sua Nota Técnica nº 20/2012 -SRD/ANEEL destaca que o mecanismo de medição líquida não visa estimular o excesso de geração de eletricidade. Situação em que as famílias instalam SFV residenciais com potência instalada suficiente para gerar um volume de eletricidade maior ao que a família normalmente consome (ANEEL, 2012).

Mas esse sistema de compensação vem sendo questionado e é tema de discussão em vários países, quanto aos impactos socioeconômicos gerados pela ampla adoção da tecnologia SFV residencial (e outras formas de GD) (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016).

Esse questionamento também está ocorrendo no Brasil, fato que levou a ANEEL a iniciar um processo de revisão da REN 482/2012. Atualmente, os adotantes de GD são isentos da cobrança dos custos de infraestrutura da rede e demais encargos associados, que compõem as tarifas de eletricidade e são cobrados de todas as unidades consumidoras, independentes se são adotantes de GD ou não (ANEEL, 2019). Na próxima subseção serão abordadas as fontes de financiamento disponíveis no Brasil para a aquisição dessa tecnologia.

2.5.1.5 Fontes de financiamento disponíveis para a aquisição de SFV residenciais no Brasil

O processo de adoção de novas tecnologias e, nesse caso, a instalação de novas unidades de SFV residenciais depende não apenas de incentivos fiscais ou regulatórios, mas da existência de fontes de financiamento com prazos e taxas acessíveis.

Visto que há interesse na difusão dessa tecnologia, é necessário que sejam elaboradas políticas específicas para as famílias, pois são os maiores adotantes e é a elas que devem ser direcionados esforços mais específicos, como a concessão de empréstimos em pequena escala para a micro e minigeração distribuída (VAZQUEZ; HALLACK, 2018).

Dessa forma, os mecanismos de financiamento mais adequados para a GD seriam aqueles ofertados por bancos públicos, privados e agências de fomento, por meio de recursos reembolsáveis e de longo-prazo.

No levantamento de informações para seu artigo Gucciardi (2017) encontrou à época apenas duas fontes de financiamento disponíveis para investimentos residenciais, Construcard, da Caixa Econômica Federal (CEF) e o Crédito Material de Construção, oferecido pelo Banco do Brasil (BB).

Por sua vez, Bellido et. al. (2018) elencou em seu artigo três programas de apoio financeiro a GD, todos oferecidos por bancos públicos: FNE-Sol do Banco do Nordeste (BNB), Programa de Eficiência Energética e Finem, do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Construcard, da CEF. Destes, apenas o FNE-Sol e Construcard estavam disponíveis para micro e pequenas empresas, sendo que o último, estava disponível também para pessoas físicas.

Vazquez e Hallack (2018) observam em seu estudo, que os mecanismos de apoio financeiro específicos para a geração distribuída de eletricidade no Brasil ainda são bastante limitados. E conforme será apresentado a seguir, de fato, ainda há poucos mecanismos de financiamento para a GD no Brasil. Entretanto, houve um incremento nos instrumentos de apoio, quando comparado com os dados apresentados por Bellido et. al. (2018) e Gucciardi (2017).

Além do FNE-Sol, do BB e da CEF, outros três programas e mecanismos de financiamento públicos foram identificados durante a realização deste estudo, sendo apresentados no Quadro 7. Estes programas referem-se exclusivamente aos que financiam SFV residenciais, pois se forem incluídos aqueles que financiam sistemas de GD para fins industriais, comerciais e agropecuários, resultará num total de quatorze instituições.

Quadro 7 – Linhas de financiamento públicas disponíveis para GD no Brasil

	Instituição	Programa	Tecnologia beneficiada
1	Caixa Econômica Federal	Construcard	Todas
2	Banco do Brasil	BB Financiamento e BB Consórcio Bens Sustentáveis	Todas
3	Banco do Nordeste (BNB)	FNE Sol	Solar e eólica
4	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)	BNDES Finame - Energia Renovável	Solar e eólica
5	Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo S.A.	INOVAGRO	Solar, eólica e biogás

Fonte: Elaboração própria com base em - Caixa Econômica Federal (2020); Banco do Brasil (2020); Banco do Nordeste (2020); BNDES (2020); Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo (2018).

As principais fontes de financiamento de longo prazo no Brasil são bancos públicos, sendo o BNDES, BB Banco do Brasil (crédito rural) e a CEF Caixa Econômica Federal (financiamento habitacional) os principais responsáveis pelo financiamento em longo prazo no Brasil (LEMES; CHEROBIM; RIGO, 2018). Entretanto, até maio de 2018 o BNDES ainda não possuía nenhuma linha específica de financiamento para GD.

Em 2018 foram criados pelo BNDES três programas de apoio ao financiamento de projetos de GD: BNDES Finame - Energia Renovável; Fundo Clima - Subprograma Máquinas e Equipamentos Eficientes e Pronaf Eco. O BNDES Finame destina-se às tecnologias solar e eólica, o Fundo Clima à solar, eólica e biomassa e o Pronaf Eco atende a todas (BNDES, 2020).

Como em todos os programas de financiamento do BNDES, estas linhas contam com taxas e prazos diferenciados. Entretanto, a única que atende a pessoas físicas e, portanto, financia projetos de aquisição e instalação de SFV residenciais é a BNDES Finame - Energia Renovável (BNDES, 2020).

A criação destes programas representa um importante marco nas políticas de financiamento dos projetos de GD no Brasil, principalmente pela entrada em cena da mais importante instituição de fomento aos financiamentos de longo prazo do país (BNDES).

Destaca-se a presença do Bando do Nordeste do Brasil (BNB), como o primeiro Banco Público a oferecer uma linha de financiamento específica para projetos de GD. Trata-se do FNE-Sol, programa vinculado ao Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE) (BNB, 2018).

O FNE-Sol foi criado em maio de 2016 e trata-se de uma linha de financiamento exclusiva à micro e à minigeração distribuída de energia elétrica. A área de atuação do programa abrange todos os estados da região nordeste, além do norte de Minas Gerais e do Espírito Santo (BNB, 2018).

Inicialmente desenhado para ao atendimento de pessoas jurídicas e produtores rurais, a partir de 2018 o BNB lançou o FNE-Sol pessoa física, ampliando sua área de atuação. As duas modalidades contam com prazos e taxas diferenciadas, financiando até 100% do investimento.

Outra importante iniciativa ocorrida em 2018 (também relacionada ao programa FNE-Sol) foi a criação, pelo Ministério de Integração Nacional, de linhas de financiamento especiais para aquisição de sistemas de geração de energia solar (BRASIL 2018). Estas linhas foram criadas para os Fundos Constitucionais de Financiamento do Nordeste (FNE), da Região Norte (FNO) e Centro-Oeste (FCO) e destinam às demandas das pessoas físicas.

Além dessas iniciativas, várias Agências de Fomento e Bancos de Desenvolvimento Estaduais e Regionais passaram a oferecer linhas e programas de financiamento em parceria com o BNDES. Fora esses, há vários outros bancos que atuam como intermediários do BNDES.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No intuito de alcançar os objetivos propostos pelo presente estudo, neste capítulo serão detalhados os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento da pesquisa, cujo objetivo é responder à seguinte questão: **quais os principais fatores determinantes da adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil?**

3.1 Tipo de estudo

Para a realização deste estudo buscou-se estruturar uma metodologia de pesquisa capaz de responder ao problema de pesquisa proposto e, por conseguinte, contribuir para o aprimoramento dos processos organizacionais dos diversos atores envolvidos na indústria solar fotovoltaica brasileira, principalmente em termos de capacidade inovativa e empreendedora.

Em primeiro lugar, é sabido que toda pesquisa científica pressupõe um método ou uma teoria que a sustenta e norteia o processo de pesquisa, desde a definição do problema até à fase de coleta e análise dos dados.

E no presente estudo emprega-se o método dedutivo, pois tal método parte do pressuposto que a teoria existente sobre o tema direciona o processo de pesquisa e a partir desta são estabelecidas as hipóteses, coletados e analisados os dados, e ao final, as hipóteses são confirmadas ou rejeitadas e contribuições para a teoria podem ser propostas (BRYMAN; BELL, 2011).

Com a adoção do método dedutivo, a estratégia ou metodologia quantitativa passa a ser empregada (no presente estudo a relação é direta). Muito embora, o presente estudo exija levantamento e análise bibliográfica e documental, sua ênfase encontra-se na quantificação dos processos de coleta e análise de dados e por meio de técnicas estatísticas é verificada a existência de relações entre as variáveis estudadas (BRYMAN; BELL, 2011; LAKATOS; MARCONI, 2003).

Quanto a finalidade ou a natureza do presente estudo, classifica-se como pesquisa aplicada. Tais pesquisas possuem como característica principal o

interesse em sua aplicação aos casos reais (BRYMAN; BELL, 2011; GIL, 1999). E entende-se que o presente estudo pode servir como ferramenta de apoio aos atores envolvidos na indústria ou setor fotovoltaico brasileiro.

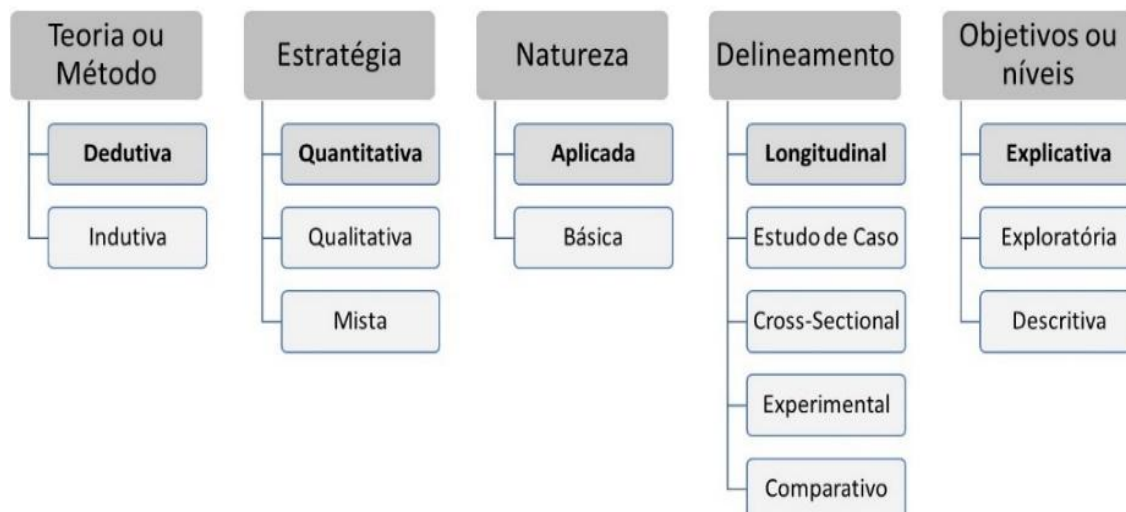
Estabelecidos o método, a estratégia e a natureza aplicada do presente estudo (não necessariamente segue tal ordem, mas torna mais claro o processo) deve ser observado um delineamento de pesquisa adequado. Delineamento pode ser definido como a estrutura ou o plano empregado para conduzir o processo de investigação científica, a maneira pelo qual um problema de pesquisa é concebido e estruturado, guiando a coleta e à análise dos dados (BRYMAN; BELL, 2011; KERLINGER, 1988).

Dessa forma, adota-se um delineamento longitudinal, normalmente empregado para identificar as mudanças que ocorrem no ambiente organizacional ao longo do tempo (BRYMAN; BELL, 2011). Tal delineamento se encaixa com o objetivo principal do presente estudo: identificar os principais fatores que determinam a adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil. A escolha de tal delineamento torna-se mais clara no momento da apresentação do modelo estatístico adotado.

Tendo sido definidos a teoria, a estratégia, a natureza e o delineamento a serem empregados, deve ser estabelecido o objetivo ou nível de alcance da pesquisa. Com relação aos objetivos a presente pesquisa classifica-se como explicativa. E as pesquisas explicativas objetivam identificar os fatores que determinam ou contribuem para ocorrência de determinados fenômenos, visando aprofundar o conhecimento sobre a realidade (GIL, 1999).

A Figura 5 exibe o enquadramento da pesquisa, com relação a teoria, estratégia, natureza, delineamento e objetivos empregados. Os retângulos superiores (em destaque) referem-se ao enquadramento escolhido para a realização do presente estudo.

Figura 5 – Enquadramento da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2020).

Na seção seguinte serão apresentadas as hipóteses de pesquisa, as premissas assumidas em relação a cada uma destas hipóteses, a descrição das variáveis empregadas e um quadro de referência entre hipóteses de pesquisa, variáveis empregadas e autores relacionados.

3.2 Hipóteses de pesquisa e descrição das variáveis usadas no modelo

Nesta seção são relacionadas e discutidas às hipóteses de pesquisa estabelecidas, os pressupostos assumidos para cada uma delas e para análise e verificação da confirmação ou rejeição de cada uma dessas hipóteses foi construído um modelo longitudinal de regressão não-linear para dados de contagem, a ser apresentado e discutido posteriormente.

Também são apresentadas e descritas as variáveis usadas nos modelos de regressão, tanto a variável dependente quanto as variáveis explicativas, assim como, um quadro de referência entre as variáveis e alguns autores que já empregaram estas variáveis em seus estudos. A seguir são detalhadas as hipóteses de pesquisa estabelecidas para o presente estudo:

H₁: A existência de fontes de financiamento federal exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais. E em consonância com

outros estudos, é esperada a confirmação desta hipótese, sendo a variável fontes de financiamento estatisticamente significativa e determinante para a adoção dos SFV residenciais (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; SIMPSON; CLIFTON, 2017; WOLSKE; STERN; DIETZ, 2017).

H₂: A adesão da UF ao convênio ICMS 16/2015 impacta positivamente a adoção de SFV residenciais.

A variável isenção de ICMS, juntamente com a variável fontes de financiamento federal constituem duas medidas *proxies* usadas para estudar o papel desempenhado pelos incentivos existentes no país. A isenção tributária (ou redução) e o acesso a fontes de financiamento são dois componentes dos esquemas de incentivo à adoção de tecnologias de energias renováveis utilizados em vários países (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; RADOMES; ARANGO, 2015).

E conforme antecipado, para Rogers (1983) os incentivos são usados com o objetivo de desencadear mudanças comportamentais nos membros de um sistema social, como a promoção da adoção de uma inovação. Desse modo, podem modificar a maneira como os indivíduos percebem a inovação, em termos de sua vantagem relativa (ROGERS, 1983).

Conseqüentemente, é esperada a confirmação dessa hipótese, com a variável ICMS sendo estatisticamente significativa e representando um dos fatores determinantes que dirigem a adoção de SFV residenciais.

H₃: A densidade populacional de cada UF possui efeito positivo sobre a adoção de SFV residenciais. Neste estudo é assumido que a densidade populacional, bem como, a densidade habitacional, se relacionam com o atributo observabilidade das inovações, conforme definição dada por Rogers (1983).

Em referência ao seu trabalho sobre a difusão de painéis solares na Califórnia (EUA) acrescenta que a visibilidade característica dos painéis solares estimula as redes interpessoais e os membros do sistema social passam a compartilhar informações sobre a nova tecnologia, reduzindo as incertezas associadas a ela (ROGERS, 1983).

Entretanto, o fator densidade populacional desempenha um papel controverso na literatura referente à adoção de SFV residenciais. Há estudos que identificaram que uma maior densidade populacional exerce impacto positivo sobre a adoção (SNAPE, 2016). Enquanto outros afirmam que densidades populacionais elevadas limitam a difusão dessa tecnologia (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; ALLAN; MCINTYRE, 2017). E apesar dessa controvérsia, é esperada a confirmação dessa hipótese, com a variável densidade populacional impactando positivamente a adoção.

H₄: A densidade habitacional de cada UF exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais. Conforme destacado, para o presente estudo considera-se que a densidade habitacional, bem como, a densidade populacional, se relacionam com o atributo observabilidade das inovações, conforme a definição de Rogers (1983).

E semelhantemente a variável densidade populacional há controvérsia nos resultados apresentados na literatura. Contudo, o presente estudo espera a confirmação dessa hipótese, sendo essa variável positiva, estatisticamente significativa e levando a maiores taxas de adoção de SFV residenciais (SCHAFFER; BRUN, 2015).

H₅: O rendimento domiciliar per capita da UF impacta positivamente a adoção de SFV residenciais. Para Rogers (1983) os adotantes iniciais (*earlier adopters*) geralmente possuem um status social mais elevado em relação aos adotantes posteriores (*later adopters*). E um dos indicadores do status social é o fator renda, juntamente com o nível de vida, posse de riqueza, prestígio profissional e outras características relacionadas a pertencer a uma determinada classe social (ROGERS, 1983).

De acordo com o exposto, o presente estudo pressupõe que essa hipótese seja confirmada, com o rendimento domiciliar per capita exercendo uma influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais, refletindo os resultados obtidos por estudos anteriores (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; DHARSHING, 2017; SCHAFFER; BRUN, 2015).

H₆: O consumo médio residencial de eletricidade da UF (kWh/mês) impacta positivamente a adoção de SFV residenciais. A base teórica adotada para a confirmação dessa hipótese é semelhante a empregada na hipótese H₅, referente ao rendimento domiciliar per capita. É utilizada a mesma alusão às características relacionadas por Rogers (1983) para descrever os adotantes iniciais de uma inovação.

Entende-se que existe uma relação positiva entre o consumo de eletricidade e a taxa de adoção de SFV residenciais. (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019). Para Balta-Ozkan, Yildirim e Connor (2015), essa relação positiva deve-se ao fato das famílias com maiores consumos de eletricidade serem mais propensas a adotar, a fim de se tornarem autossuficientes.

H₇: A taxa de desocupação de cada UF afeta negativamente a adoção de SFV residenciais. Nesta hipótese adota-se a mesma referência a obra de Rogers (1983), com relação as características relacionadas aos adotantes iniciais de uma inovação. Todavia, é esperado que a taxa de desocupação exerça um impacto negativo, pois entende-se que quanto maior a taxa de desocupação, menores serão os padrões de vida das famílias, e isso conseqüentemente, conduzirá a menores taxas de adoção.

E em conexão com a literatura, é esperada a confirmação dessa hipótese, pressupondo a influência negativa dessa variável sobre a adoção de SFV residenciais, onde maiores taxas de desocupação levam a menores taxas de adoção (DHARSHING, 2017; INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019; DHARSHING, 2017).

H₈: A tarifa média de eletricidade de cada UF exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais. Para o presente estudo entende-se que maiores tarifas de eletricidade conduzem a um aumento na percepção das famílias em relação ao atributo vantagem relativa dos SFV residenciais.

Entende-se ainda, que maiores tarifas médias de eletricidade podem levar as famílias a ponderar a adoção dessa tecnologia, devido a uma expectativa de

redução dos dispêndios financeiros mensais e dos riscos de oscilações nos preços da eletricidade, principalmente na presença de incentivos.

Por conseguinte, o presente estudo pressupõe a existência de uma relação positiva entre essa variável e a adoção de SFV residências, onde maiores tarifas conduzem a maiores taxas de adoção, portanto, espera-se a confirmação dessa hipótese (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015).

As variáveis explicativas associadas a cada uma destas hipóteses de pesquisa foram usadas no processo de estimação do modelo longitudinal de regressão não-linear para dados de contagem. E a partir dos resultados obtidos foram verificadas a influência de cada uma destas variáveis sobre a adoção de SFV residenciais no Brasil, bem como, confirmadas as respectivas hipóteses de pesquisa.

E estas variáveis explicativas foram selecionadas com base nas 48 variáveis explicativas identificadas após a análise dos artigos selecionados para compor o referencial teórico do presente estudo. De maneira ideal, seria interessante usar o maior número de variáveis explicativas possíveis, contudo, não há dados disponíveis para todas as variáveis identificadas.

Para as variáveis explicativas pertencentes a categoria comportamento ou atitude ambiental, os estudos descritos nos artigos selecionados usam várias medidas, como o percentual da população que votou em candidatos de partidos que defendem a bandeira ambiental, porém, no contexto brasileiro não há uma medida específica que possa ser utilizada.

E situação semelhante se afigura para outras variáveis explicativas que poderiam ser usadas, como aquelas pertencentes as categorias influências sociais e características da residência. E para as variáveis explicativas que apresentam medidas correspondentes no país, nem todas possuem dados para todo o período analisado.

Diante desse quadro, optou-se por empregar variáveis explicativas que apresentassem dados disponíveis para todo o período estudado e que permitissem capturar aspectos importantes do processo de adoção de SFV

residenciais, como o efeito exercido pelas políticas de incentivo existentes no país, o papel desempenhado pelo ambiente construído (por meio das variáveis demográficas: densidade habitacional e populacional) e pela demanda de eletricidade das famílias.

Cabe destacar que a inclusão da variável isenção de ICMS, caracterizada pela adesão da UF ao convênio ICMS 16/2015 é essencial para o objetivo do presente estudo, pois sua cobrança sobre a eletricidade produzida a partir da GD têm proporcionado grande discussão.

Logo após a publicação da REN 482/2012 em abril de 2012, a ANEEL publicou em novembro de 2012 a Nota Técnica 163/2012 -SRD/ANEEL propondo a abertura de audiência pública com o intuito de retificar a REN 482/2012, pois, segundo a ANEEL, o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) havia manifestado entendimento que o mecanismo de compensação de energia, criado a partir da REN 482/2012, representava uma operação de compra e venda de energia e, portanto, sujeita a tributação do ICMS (ANEEL, 2012).

Visando pôr fim a esta controvérsia, a ANEEL publicou em dezembro de 2012 a REN 517/2012, alterando a REN 482/2012 e enfatizando que o sistema de compensação de energia (*net metering*) não configurava uma forma de comercialização de energia, mas sim, um arranjo em que a energia ativa (produzida por uma unidade de GD) é injetada no sistema de distribuição por meio de um empréstimo gratuito à distribuidora (ANEEL, 2012, GUCCIARDI, 2017).

Entretanto, mesmo após as modificações introduzidas pela REN 517/2012, o CONFAZ publicou em abril de 2013 o convênio ICMS 06/2013, mantendo sua posição inicial. E somente em abril de 2015, através do convênio ICMS 16/2015 o CONFAZ autorizou a isenção da cobrança do ICMS sobre a parcela de energia consumida internamente, e gerada a partir das unidades de GD (CONFAZ, 2015; GUCCIARDI, 2017). Todavia, a adesão ao respectivo convênio é voluntária, cabendo as Secretarias da Fazenda de cada UF decidirem quanto a sua adesão (CONFAZ, 2015).

E no Quadro 8 são apresentadas e descritas cada uma das variáveis empregadas (dependente e explicativas) na construção do modelo longitudinal de regressão não-linear para dados de contagem. A variável número de unidades de SFV residenciais instaladas (Id 1) representa a variável resposta ou dependente, enquanto as demais variáveis (Id 2 a Id 9) correspondem as oito variáveis independentes ou explicativas.

Quadro 8 – Variáveis empregadas nos modelos de regressão

[Continua]

Id	Hipóteses	Variáveis	Descrição
1		Número de unidades de SFV residenciais instaladas	Refere-se ao total de unidades de SFV residenciais instaladas por trimestre e para cada UF.
2	H ₁	Fonte de financiamento federal	Corresponde a uma variável binária ou <i>dummy</i> de valores 0 e 1, sendo 1 quando estiverem disponíveis fontes de financiamento federal para a UF no respectivo período e 0 quando não existir.
3	H ₂	Isenção de ICMS	Corresponde a uma variável binária ou <i>dummy</i> de valores 0 e 1, sendo 1 quando a UF tiver aderido ao convênio ICMS 16/2015 para o respectivo período e 0 quando não existir a adesão.
4	H ₃	Densidade populacional da UF	Relação entre a população residente de cada UF para o respectivo período e a área em Km ² de cada UF.
5	H ₄	Densidade habitacional	Relação entre o número de unidades consumidoras de cada UF, fornecido pela EPE, e a área da UF em Km ² .
6	H ₅	Rendimento domiciliar per capita corrigido pelo IPCA	Corresponde ao rendimento domiciliar per capita, fornecido pelo IBGE, por meio de sua Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua. É calculado como a razão entre o total dos rendimentos domiciliares, em termos nominais e brutos do trabalho e de outras fontes. Em seu cálculo são considerados todos os moradores, inclusive os classificados como pensionistas, empregados domésticos e parentes dos empregados domésticos. Para fins de um melhor ajuste do modelo, os valores foram deflacionados pelo IPCA, tendo como período base o quarto trimestre de 2019.

[Conclusão]

Id	Hipóteses	Variáveis	Descrição
7	H ₆	Consumo médio residencial de eletricidade	Representa o consumo médio residencial de eletricidade de cada UF, medido em kWh/mês.
8	H ₇	Taxa de desocupação de cada UF	Representa a porcentagem de pessoas que fazem parte da força de trabalho e estão desempregadas, fornecida pelo IBGE, por meio de sua Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua. Segundo o IBGE, a força de trabalho é composta por pessoas em idade para trabalhar (maiores de 14 anos) e que estão trabalhando ou procurando trabalho (ocupadas e desocupadas). Os dados foram obtidos via Ipea Data.
9	H ₈	Tarifa média de eletricidade	Valor da tarifa média trimestral de eletricidade residencial de cada UF e, conforme informações obtidas junto a ANEEL, os valores já estão atualizados pelo IGP-M. Nos casos em que foi verificada a existência de mais de uma concessionária de energia para dada UF, a tarifa informada pela ANEEL considera a média ponderada, de acordo com o total de conexões e preços praticados pelas respectivas concessionárias.

Fonte: Autoria própria (2020).

No Quadro 9 são apresentadas as relações existentes entre os objetivos específicos, as hipóteses de pesquisa e as variáveis explicativas empregadas no modelo de regressão binomial negativo. Relembrando que há objetivos específicos que contemplam mais de uma hipótese de pesquisa, porém, a cada hipótese de pesquisa está associada uma única variável explicativa.

Também são estabelecidas as relações destas variáveis explicativas com os autores dos treze trabalhos selecionados por meio do levantamento bibliográfico, bem como, com o constructo associado à obra *Difusão de Inovações* de Rogers (1983).

Quadro 9 - Relação entre objetivos específicos, hipóteses de pesquisa, variáveis empregadas, autores relacionados e a relação com a obra Difusão de Inovações de Rogers (1983)

[Continua]

Objetivos específicos	Hipóteses	Referência na literatura (autores)	Relação com a obra Difusão de Inovações de Rogers (1983)	Variáveis empregadas
Analisar o impacto das políticas de incentivo sobre a adoção de SFV residenciais	H ₁	Graziano e Gillingham (2015) Radomes e Arango (2015) DE Groote; Pepermans e Verboven (2016)	Atributo - vantagem relativa: os incentivos financeiros, como a disponibilização de crédito em condições acessíveis e a isenção de tributos reduzem os custos iniciais, tornando os SFV residenciais acessíveis e em condições de oferecer um retorno financeiro superior as demais alternativas.	Fonte de financiamento federal
	H ₂	Radomes e Arango (2015)		Isenção de ICMS
Examinar a influência das características demográficas das UF sobre a adoção de SFV residenciais	H ₃	Balta-Ozkan, Yildirim e Connor (2015) Graziano e Gillingham (2015) Allan e Mcintyre (2017) DE Groote; Pepermans e Verboven (2016) Jayaweera, Jayasinghe e Weerasinghe (2018) Inhoffen, Siemroth e Zahn (2019)	Atributo - observabilidade: é o grau em que os resultados de uma inovação são visíveis para os outros. Quanto mais fácil é para os indivíduos ver os resultados de uma inovação, maior a probabilidade de adoção. Os painéis solares instalados são visíveis e estimulam o comportamento e o processo de comunicação dos pares.	Densidade populacional da UF
	H ₄	Schaffer e Brun (2015) Jayaweera, Jayasinghe e Weerasinghe (2018) Graziano, Fiaschetti e Atkinson-Palombo (2019)		Densidade habitacional
Verificar se os fatores socioeconômicos relacionadas a cada UF influenciam a adoção de SFV residenciais	H ₅	Graziano e Gillingham (2015) DE Groote; Pepermans e Verboven (2016) Balta-Ozkan, Yildirim e Connor (2015) Schaffer e Brun (2015)	Categoria de adotantes – <i>earlier adopters</i>: assume-se que existe uma relação linear entre as variáveis socioeconômicas, como a renda, e a capacidade de inovação (<i>innovativeness</i>). Nesse sentido, famílias com maiores rendas tender a ser mais inovadoras e potencialmente adotam mais. Os adotantes iniciais (<i>earlier adopters</i>) geralmente possuem um status social mais elevado em relação aos adotantes posteriores (<i>later adopters</i>). Entende-se que maiores rendas conduzem a maiores taxas	Rendimento domiciliar per capita corrigido pelo IPCA

[Conclusão]

Objetivos específicos	Hipóteses	Referência na literatura (autores)	Relação com a obra Difusão de Inovações de Rogers (1983)	Variáveis empregadas
		Busic-Sontic e Fuerst (2018) Best, Burke e Nishitaten (2019) Graziano, Fiaschetti e Atkinson-Palombo (2019) Inhoffen, Siemroth e Zahn (2019) Dharshing (2017)	de adoção.	
	H ₆	Balta-Ozkan, Yildirim e Connor (2015) Best, Burke e Nishitaten (2019)	Categoria de adotantes – <i>earlier adopters</i>: acredita-se que famílias com maiores rendas, geralmente, consomem mais eletricidade e maiores consumos conduzem a maiores taxas de adoção.	Consumo médio residencial de eletricidade
	H ₇	Dharshing (2017) Inhoffen, Siemroth e Zahn (2019)	Categoria de adotantes – <i>earlier adopters</i>: a relação aqui é o contrário da existente entre as características dos <i>earlier adopters</i> e a renda. Entende-se que quanto maior a taxa de desocupação, menores serão os padrões de vida das famílias, e isso conseqüentemente, conduzirá a menores taxas de adoção.	Taxa de desocupação de cada UF
Apurar se a tarifa média de eletricidade de cada UF exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais	H ₈	Graziano e Gillingham (2015) Radomes e Arango (2015) Best, Burke e Nishitaten (2019)	Atributo - vantagem relativa: tarifas médias de eletricidade mais elevadas tornam os SFV residenciais mais atraentes e em condições de oferecer um retorno financeiro superior a eletricidade fornecida pela companhia de energia elétrica.	Tarifa média de eletricidade

Fonte: Autoria própria (2020).

3.3 Procedimentos empregados para coleta de dados

Na presente seção é detalhado o procedimento empregado para a coleta, assim como, as diversas fontes utilizadas para obtenção dos dados necessários e que subsidiam o presente estudo. São também disponibilizados os caminhos ou locais de acesso para obtenção e visualização detalhada destes dados, bem como, será também realizada uma descrição da população alvo do presente estudo.

3.3.1 Fontes dos dados

Os dados utilizados no presente estudo provêm de diferentes fontes, de acordo com a informação necessária e objetivos estabelecidos. Os dados referentes as unidades de SFV residenciais instaladas foram coletadas junto a base de Outorgas e Registros de Geração de Energia: Unidades Consumidoras com Geração Distribuída da ANEEL (ANEEL, 2020).

Esta base contempla todas as unidades instaladas de SFV de geração distribuída no Brasil durante o período analisado, de janeiro de 2014 a dezembro de 2019 (ANEEL, 2020). No portal da ANEEL foram também obtidas as informações referentes a tarifa média trimestral de energia elétrica residencial de cada UF para o período em estudo (ANEEL, 2020).

Já as informações referentes a existência de fontes de financiamento público federal foram extraídas diretamente do portal do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), mais especificamente de sua linha de financiamento para pessoas físicas e microempreendedores - BNDES Finame - Energia Renovável (BNDES, 2020).

Por meio do portal do Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ - foi possível, através da busca e leitura de seus convênios, o estabelecimento de uma cronologia da adesão de cada UF ao convênio 16/2015, que serve como

referência para a construção do banco de dados, mais especificamente, da variável *dummy* referente a respectiva adesão das UF.

Os dados e as estimativas da população, bem como da área de cada UF em km², foram retirados do portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2020). E junto ao portal da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD Contínua (também do IBGE) foram obtidas as informações relativas ao rendimento domiciliar per capita para o período em estudo (IBGE, 2020).

No portal do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), por meio de sua ferramenta Ipea Data, foram coletadas informações sobre a série histórica do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), usado para deflacionar os valores referentes ao rendimento domiciliar per capita, tendo o quarto trimestre de 2019 como base (trimestre 24). Nesse portal também foram obtidas as informações da taxa de desocupação de cada UF (fornecida originalmente pela PNAD Contínua) (IPEA, 2020).

As informações referentes ao consumo médio residencial de eletricidade e ao número de unidades consumidoras conectadas ao sistema elétrico foram obtidas junto ao Portal da EPE, por meio de seu Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019 (EPE, 2020). No Quadro 10 é apresentado um resumo das fontes de dados utilizadas na realização do presente estudo, bem como, os respectivos locais de acesso a estes dados.

Quadro 10 - Resumo das fontes e locais de acesso aos recursos (dados) da pesquisa

Recursos	Fonte dos recursos	Caminho de acesso
Número de unidades de SFV residenciais instaladas	Portal ANEEL	ANEEL/Informações Técnicas / Geração Distribuída /Unidades Consumidoras com Geração Distribuída/ Busca por data de conexão
Fonte de financiamento federal	Portal BNDES	BNDES/Menu/Financiamentos/Catálogo Completo de Soluções Financeiras/Microempreendedores e Pessoa Física/Sustentabilidade e Cultura/Crédito/BNDES Finame - Energia Renovável
Isenção de ICMS	Portal CONFAZ	CONFAZ/Convênios ICMS
População da UF	Portal IBGE	IBGE/Estatísticas/Por Tema/Sociais/População/Estimativas da População/Publicações
Rendimento domiciliar per capita	Portal IBGE	IBGE/Estatísticas/Por Tema/Sociais/População/PNAD/Séries Históricas
Tarifa média de energia	Portal ANEEL	ANEEL/Informações técnicas/Tarifas
Consumo médio residencial de eletricidade	Portal EPE	https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica
Número de unidades consumidoras	Portal EPE	https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica
Taxa de desocupação de cada UF	Portal Ipea Data	IPEA/Ipea Data/Regional/Temas/Emprego
Área da UF em km ²	Portal IBGE	IBGE/Geociências/Organização do território /Estrutura territorial
IPCA	Portal Ipea Data	IPEA/Ipea Data / Índices analíticos/Preços/IPCA Geral

Fonte: Autoria própria (2020).

E na seção a seguir será detalhada e discutida a população referente ao presente estudo, sua composição, abrangência e o período analisado.

3.3.2 Descrição da População, abrangência e período estudado

De acordo com Fávero e Belfiore (2017) e Toledo e Ovalle (1985) define-se população como o conjunto ao qual pertencem todos os indivíduos, objetos ou

elementos a serem estudados e que apresentam uma ou mais características em comum.

Essa definição se assemelha a dada por Triola (2008) ao conceituar população como a coleção completa de todos os elementos (sejam estes, medidas, pessoas, empresas, países, estados, etc) objetos de um estudo, dando ênfase ao termo completo, no sentido que a população deve incluir todos os elementos a serem estudados.

Outra importante definição é a de censo, caracterizado por Triola (2008) como o conjunto de dados obtidos de todos os membros de uma determinada população. População e censo são dois dos elementos básicos da análise estatística, assim como, amostra, variável, dados e parâmetros (FÁVERO; BELFIORE, 2017). Há um elo nas definições de população apresentadas por Fávero e Belfiore (2017), Toledo e Ovalle (1985) e Triola (2008), justamente seu sentido de completude ou totalidade dos elementos a serem estudados.

Dessa forma, a base de dados do presente estudo (em formato de painel), contempla todas as unidades instaladas de SFV residenciais de micro e minigeração distribuída de energia elétrica (vínculo existente entre os elementos) no Brasil, durante o período analisado (corte temporal) e que se busca compreender (censo), caracterizando o presente estudo como uma análise censitária.

Para fins de registro, destaca-se que a primeira unidade de SFV residencial de geração distribuída de energia elétrica instalada e conectada à rede no país data de fevereiro de 2009, em Porto Velho (RO), um sistema de 15 Kw. Em junho do mesmo ano foi instalado um segundo sistema na mesma cidade. Estes constituem os dois primeiros SFV residenciais de GD instalados e conectados à rede no país, dentro do novo conceito de micro e minigeração distribuída de energia elétrica (definido pela REN 482/2012 da ANEEL).

O recorte temporal utilizado no presente estudo compreende o período de janeiro de 2014 a dezembro de 2019, com abrangência nacional e faz uso de uma

base de dados completa, contemplando 123.552 SFV residenciais instalados e subdivididos por UF.

Como o presente estudo busca identificar os fatores determinantes da adoção de SFV residenciais, considera-se que a família ao adotar essa tecnologia está inovando, pois não importa se essa tecnologia (ou inovação tecnológica) foi lançada no momento presente ou há anos atrás, o importante é a família reconhecer essa tecnologia como nova para ela (Rogers, 1983).

Nesse sentido, cada um dos 123.552 SFV residenciais (supondo uma única instalação por indivíduo) adotados e instalados ao longo do período em estudo, corresponde a uma decisão de inovação. A Tabela 1 exhibe o número total de unidades de SFV residenciais instalados por UF e na Tabela 2 estão consolidados os totais de unidades instaladas por região.

Tabela 1 – SFV residenciais no Brasil – unidades instaladas por UF

[Continua]

ID	UF	TOTAL
1	MG	24.254
2	SP	22.590
3	RS	14.633
4	RJ	8.254
5	PR	7.581
6	SC	7.322
7	MT	5.572
8	GO	4.853
9	MS	3.817
10	CE	3.120
11	BA	2.998
12	ES	2.324
13	PE	2.124
14	MA	2.063
15	PB	1.907
16	RN	1.730
17	PA	1.684
18	PI	1.555
19	TO	1.528
20	DF	1.198
21	SE	779
22	AL	717

[Conclusão]

ID	UF	TOTAL
23	AM	408
24	RO	258
25	AP	124
26	AC	117
27	RR	42
Total		123.552

Fonte: Autoria própria (2020).

De acordo com os dados contidos nas respectivas tabelas, constata-se que as UF das regiões sudeste e sul concentram a maior parcela do total de unidades instaladas no país. Esse aspecto será explorado em maiores detalhes na seção referente a apresentação e análise das estatísticas descritivas.

Tabela 2 - SFV residenciais no Brasil – unidades instaladas por Região

Regiões	Total
Sudeste	57.422
Sul	29.536
Nordeste	16.993
Centro-Oeste	15.440
Norte	4.161
Total	123.552

Fonte: Autoria própria (2020).

A Tabela 3 mostra o total de unidades de SFV residenciais instaladas por modalidades de consumo. Observa-se que a modalidade de geração na própria unidade consumidora é predominante, contudo, no presente estudo todas as unidades de SFV residenciais são tratadas indistintamente e independente da modalidade de consumo adotada.

Tabela 3 - Número de unidades de SFV residenciais instalados por modalidade

Modalidades	Quantidade
Geração na própria unidade consumidora	107.245
Autoconsumo remoto	16.042
Geração compartilhada	239
Múltiplas unidades consumidoras	26
TOTAL	123.552

Fonte: Elaboração própria (2020).

Por fim, a Tabela 4 apresenta o número total de unidades de SFV residenciais conforme a potência instalada da central geradora. Constata-se a predominância de unidades de microgeração distribuída.

Tabela 4 - Número de unidades de SFV residenciais instalados conforme a potência instalada

Modalidades	Quantidade
Microgeração distribuída	123.531
Minigerção distribuída	21
TOTAL	123.552

Fonte: ANEEL (2020).

Resumidamente, a população alvo do presente estudo é constituída pela totalidade das unidades de SFV residenciais adotadas (e instaladas) ao longo do período compreendido de janeiro/2014 a dezembro/2019, sendo formada predominantemente por unidades de microgeração distribuída, com geração de energia na própria unidade consumidora e localizadas principalmente nas UF das regiões sul e sudeste do país.

3.4 Instrumentos e formas de análise dos resultados

Nesta seção será discutida a estrutura da base de dados empregada no presente estudo, os principais conceitos relacionados ao uso de modelos de regressão não-lineares para dados em painel, bem como, será detalhado o processo de construção do modelo a ser adotado.

3.4.1 Modelos longitudinais de regressão não-lineares para dados em painel

Para a realização do presente estudo foi empregado um modelo longitudinal de regressão não-linear para dados em painel, posto que tais modelos são úteis quando se objetiva estudar o comportamento de determinado fenômeno, representado pela variável dependente, na presença de estruturas de dados agrupados, com medidas repetidas ou longitudinais (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

A principal vantagem da utilização de modelos longitudinais de regressão consiste em possibilitar ao pesquisador o estudo das diferenças existentes em determinado fenômeno entre indivíduos em cada *cross-section*, além de permitir a análise da evolução temporal deste mesmo fenômeno para cada indivíduo. É por isso que os modelos longitudinais também são conhecidos por modelos com muitas *cross-sections* ao longo do tempo (FÁVERO; BELFIORE, 2017, p.791).

Em um conjunto de dados estruturados em painel, a mesma unidade de corte transversal (uma família, uma empresa, um estado) é acompanhada ao longo do tempo. Sinteticamente, os dados em painel apresentam duas dimensões: uma espacial e outra temporal (FÁVERO; BELFIORE, 2017; GUJARATI; PORTER, 2011; HSIAO, 2003).

Em uma estrutura em painel, os dados se encontram agrupados, de tal forma que cada linha horizontal representa uma *cross-section* e cada linha vertical representa uma respectiva série longitudinal (FÁVERO; BELFIORE, 2017; GUJARATI; PORTER, 2011; HSIAO, 2003). Na Tabela 5 é exibido um recorte da estrutura da base de dados empregada neste estudo.

Na linha horizontal em destaque observa-se que o estado do Acre (UF AC) no trimestre 17 apresentava os seguintes dados:

- População de 869.265 habitantes;
- Havia 211.790 unidades consumidoras (resid);
- Nesse trimestre foram adotadas (instaladas) cinco unidades de SFV residencial;

- Disponha de fonte de financiamento federal para aquisição dos SFV (dado pelo valor 1 da variável dummy fin);
- Possuía isenção de ICMS sobre a eletricidade gerada (dado pelo valor 1 da variável dummy ICMS);
- Apresentava uma densidade populacional (dens_pop) de 5,3 hab/Km²;
- A densidade habitacional (dens_hab) era igual a 1,3 unidades consumidoras/ Km²;
- O consumo médio de eletricidade (consumo) era de 178,1 kWh/mês;
- O rendimento domiciliar per capita era de R\$ 948,00 (rend);
- E a tarifa média de eletricidade era de R\$ 648,00 (tarif) e;
- A taxa de desocupação (tx_desoc) do período era de 14,4%.

Tabela 5 - Recorte de parte do painel utilizado no estudo

UF	Temp	Pop	Resid	unid	fin	icms	dens_pop	dens_hab	consumo	Rend	tarif	tx_desoc
AC	6	831.665	193.461	1	0	0	5,1	1,2	185,8	890	608	8,7
AC	11	844.137	201.728	1	0	1	5,1	1,2	184,9	847	632	12,1
AC	13	856.457	208.733	2	0	1	5,2	1,3	186,1	832	666	15,9
AC	14	856.457	208.733	2	0	1	5,2	1,3	186,1	832	673	14,9
AC	15	856.457	208.733	1	0	1	5,2	1,3	186,1	832	693	13,5
AC	16	856.457	208.733	7	0	1	5,2	1,3	186,1	832	706	12,2
AC	17	869.265	211.790	5	1	1	5,3	1,3	178,1	948	648	14,4
AC	18	869.265	211.790	1	1	1	5,3	1,3	178,1	948	646	13,5
AC	19	869.265	211.790	6	1	1	5,3	1,3	178,1	948	691	13,1
AC	20	869.265	211.790	6	1	1	5,3	1,3	178,1	948	703	13,1
AC	21	881.935	212.010	16	1	1	5,4	1,3	193,1	890	725	18
AC	22	881.935	212.010	21	1	1	5,4	1,3	193,1	890	765	13,6
AC	23	881.935	212.010	19	1	1	5,4	1,3	193,1	890	792	12,8
AC	24	881.935	212.010	29	1	1	5,4	1,3	193,1	890	810	13,6

Fonte: Autoria própria (2020).

De maneira semelhante, ao se realizar uma análise vertical, pode ser visualizada a evolução ao longo do tempo de cada uma dessas variáveis para a UF do Acre (AC). Tal procedimento pode, analogamente, ser adotado para cada uma das demais unidades de análise (cada UF), bem como, para qualquer outra variável, como a evolução das unidades instaladas por trimestre (temp) e por região (regiao).

Os dados em painel do presente estudo são chamados de painel desbalanceado e curto. Um painel é denominado desbalanceado quando cada unidade de corte transversal (cada UF) não apresenta o mesmo número de observações (GUJARATI; PORTER, 2011).

É também denominado de painel curto, porque o número de elementos de corte transversal (UF) é superior ao número de períodos observados. No presente painel há vinte e sete UF e vinte e quatro períodos, correspondente a cada um dos trimestres ($27 > 24$) (GUJARATI; PORTER, 2011).

Além disso, a variável dependente do presente estudo (unidades de SFV residenciais instaladas) se apresenta na forma quantitativa e com valores discretos e não negativos, o que a caracteriza como dados de contagem. Dessa forma, para estes tipos de dados devem ser empregados os modelos longitudinais de regressão não-lineares para dados de contagem, portanto, os modelos Poisson e binomial negativo (CAMERON; TRIVEDI, 2013; FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Os modelos Poisson e binomial negativo pertencem à família dos modelos lineares generalizados (*Generalized Linear Models*) e possuem como objetivo estudar o comportamento de uma dada variável dependente Y , que se apresenta através de valores discretos e não negativos, com base no comportamento das variáveis explicativas (CAMERON; TRIVEDI, 2013; FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Contudo, o modelo de regressão de tipo Poisson é frequentemente de uso limitado, pois é comum que os conjuntos de dados apresentem o fenômeno denominado de superdispersão nos dados e/ou excesso de zeros (KLEIBER; ZEILEIS; JACKMAN, 2008), derrubando seu principal requisito, o da equidispersão da variável dependente – onde a média e a variância da variável dependente em estudo são iguais (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Tendo em vista o disposto na teoria e a realidade da estrutura dos dados em estudo, optou-se pela construção de um modelo de regressão longitudinal não-linear binomial negativo, dada a existência da superdispersão nos dados, característica que será explorada mais adiante.

Ao estudarem o padrão de difusão da tecnologia SFV residencial no estado de Connecticut, EUA, Graziano e Gillingham (2015) usaram um modelo de regressão não-linear binomial negativo com efeitos fixos, semelhante a abordagem que foi empregada no presente estudo.

Na sequência serão apresentadas as etapas de estimação do modelo longitudinal de regressão não-linear binomial negativo, pelo método de máxima verossimilhança, para dados de contagem.

3.4.1.1 Modelo longitudinal de regressão não-linear binomial negativo

Trabalhar com modelagem de dados de contagem é tarefa comum entre as ciências sociais e sociais aplicadas, ao qual pertence a administração. Entretanto, dada a limitação apresentada pelo modelo Poisson ao se trabalhar com bases de dados que apresentam o fenômeno de superdispersão, os modelos longitudinais não-lineares binomiais negativos se afiguram como uma maneira mais adequada nessas situações (FÁVERO; BELFIORE, 2017; KLEIBER; ZEILEIS; JACKMAN, 2008).

O processo de estimação do modelo foi elaborado por meio de uma sequência de três etapas, conforme recomendado pela literatura sobre o tema (FÁVERO; BELFIORE, 2017; VENABLES; RIPLEY, 2002). As etapas são as seguintes:

- a) Análise do conjunto de dados;
- b) Estimação do modelo Poisson e verificação da existência do fenômeno de superdispersão nos dados e;
- c) Estimação do modelo binomial negativo.

3.4.1.1.1 *Análise do conjunto de dados*

A primeira etapa consiste em compreender como os dados se encontram distribuídos, analisando, de modo precípua, o comportamento da variável

dependente. Procura-se compreender como se afigura sua distribuição ao longo do tempo e se apresenta média e variância iguais, situação essa que conduziria a elaboração de um modelo Poisson.

Conforme será apresentado na seção de análise descritiva dos dados, verifica-se a existência de heterogeneidade e conseqüente assimetria na distribuição das unidades de SFV residenciais ao longo do período em análise, indicando a possível presença do fenômeno de superdispersão dos dados da variável dependente.

Segundo Fávero e Belfiore (2017) devem ser seguidos os seguintes procedimentos para a confirmação da ocorrência do fenômeno de superdispersão nos dados:

- I. Análise de decomposição da variância e;
- II. Teste para verificação de existência de superdispersão.

O primeiro será realizado nesta seção e não se refere a um procedimento confirmatório, contudo, indica a possível existência da superdispersão da variável dependente. Enquanto o teste para verificação de existência de superdispersão nos dados será realizado na próxima seção, pois é aplicado a partir da estimação do modelo Poisson.

A Tabela 6 mostra a análise da decomposição da variância da variável dependente ou resposta, onde se observa que a variação ou variância *within* é superior (mais forte) à variação *between*. A variação *within* refere-se às variações que ocorrem ao longo do tempo para cada indivíduo (cada UF no presente estudo). Já a variação *between* está relacionada às variações existentes entre os indivíduos de uma população ou amostra (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Tabela 6 - Decomposição da variância da variável dependente

Variância	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Observações
Overall	232,24	585,62	1	5.945	N = 532
Between		263,92	4,20	1.010,58	n = 27
Within		517,51	-773,34	5.235,99	T-bar = 19.7037

Fonte: Autoria própria (2020).

Com base nos resultados obtidos, não se pode afirmar a existência de diferenças entre as UF. Eles informam que as variações existentes para cada UF ao longo do tempo são maiores ou mais fortes do que as variações entre as próprias UF para um mesmo instante do tempo (mesma *cross-section*) (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

A variância (ou variação) *overall* da variável dependente, unidades instaladas de SFV residenciais, é superior à média calculada [(variância = $585,62^2$) > (232,24)], indicando a possível existência de superdispersão nos dados.

Entretanto, conforme salienta Fávero e Belfiore (2017), até esse momento não se deve afirmar, categoricamente, que esteja ocorrendo o fenômeno de superdispersão nos dados. Para os autores, essa confirmação ocorre após a realização do respectivo teste para verificação de existência de superdispersão nos dados.

3.4.1.1.2 *Estimação do modelo Poisson e verificação da existência da superdispersão nos dados*

Nesta seção será estimado um modelo longitudinal de regressão não-linear do tipo Poisson. A partir dos resultados obtidos por meio deste modelo será realizado o teste de verificação da existência da superdispersão nos dados.

De acordo com a literatura sobre a estimação de modelos longitudinais de regressão não-lineares para dados em painel é recomendável que toda

modelagem para dados de contagem se inicie com a elaboração de um modelo Poisson, dado a simplicidade desse modelo (FÁVERO; BELFIORE, 2017; KLEIBER; ZEILEIS; JACKMAN, 2008; VENABLES; RIPLEY, 2002).

É sempre importante ressaltar que, quando a variável dependente apresentar dados de contagem, a estimação de um modelo de regressão Poisson deverá sempre ser elaborada inicialmente, a fim de que, a partir da mesma, possa ser aplicado um teste para verificação de existência de superdispersão. Caso ocorra superdispersão nos dados, aí sim o pesquisador poderá recorrer à estimação de um modelo de regressão binomial negativo, em detrimento da estimação do modelo Poisson (FÁVERO; BELFIORE, 2017, p.726).

Após a elaboração do modelo Poisson, deve ser realizado o teste de verificação da ocorrência do fenômeno de superdispersão. Caso confirmada a presença, será dado prosseguimento a modelagem, porém, por meio de um modelo binomial negativo (FÁVERO; BELFIORE, 2017; KLEIBER; ZEILEIS; JACKMAN, 2008; VENABLES; RIPLEY, 2002).

De acordo com Fávero e Belfiore (2017), o modelo Poisson pode ser definido a partir da expressão (1), ao passo que a taxa média de unidades de SFV residenciais instaladas trimestralmente é expressa por (2), com variância igual à média (3).

$$\ln(\hat{Y}) = \ln(\lambda_i) = \alpha + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{kit} \quad (1)$$

$$\lambda_i = e^{(\alpha + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{kit})} \quad (2)$$

$$E(Y) = \lambda \text{ e } Var(Y) = \lambda \quad (3)$$

A variável Y assume valores quantitativos discretos e não negativos, representando a quantidade de ocorrências de certo evento (o que a caracteriza como dados de contagem) para determinado indivíduo i ao longo de um período t (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

No presente estudo, Y representa o número de unidades instaladas de SFV residenciais por trimestre e para cada UF, dadas as respectivas variáveis explicativas. Além disso, devem ser estimados os parâmetros β para cada uma das variáveis explicativas.

Fazendo uso das variáveis empregadas no presente estudo, as expressões (1) e (2) podem ser reescritas conforme as expressões (4) e (5) a seguir. No Quadro 11 são mostradas as descrições das variáveis.

$$\ln(\lambda_i) = (\text{med_un}) = \alpha + \beta_1 \text{fin}_{1it} + \beta_2 \text{icms}_{2it} + \beta_3 \text{pop}_{3it} + \beta_4 \text{rend}_{4it} + \beta_5 \text{tarif}_{5it} + \beta_6 \text{cons}_{6it} + \beta_7 \text{hab}_{7it} + \beta_8 \text{tx_desoc}_{8it} \quad (4)$$

Quadro 11 - Variáveis empregadas nas expressões (4) e (5)

Variáveis	Descrição
med_un	Média de unidades instaladas por trimestre
fin	Fonte de financiamento federal
icms	Isenção de ICMS
pop	Densidade populacional
rend	Rendimento domiciliar per capita
tarif	Tarifa média de eletricidade
cons	Consumo médio residencial de eletricidade
hab	Densidade habitacional
tx_desoc	taxa de desocupação

Fonte: Autoria própria (2020).

Por meio da análise de decomposição da variância de Y (variável dependente), apresentada na Tabela 6 foi constatado que a variância *overall* é superior à sua média, indicando a possível ocorrência do fenômeno de superdispersão nos dados. Todavia, conforme antecipado, Fávero e Belfiore (2017) recomendam a realização de teste confirmatório para verificação de existência de superdispersão nos dados, cujo resultado é apresentado na Tabela 7.

O valor-P do teste t ($t P > |t|$) obtido (em destaque na Tabela 7) e correspondente ao parâmetro β da variável lambda, é menor do que 0,05 (o resultado obtido foi igual a zero), logo, ao nível de confiança de 95%, os dados da variável dependente apresentam-se superdispersos. Ressalta-se que resultado semelhante seria obtido pela estimação do modelo *pooled* binomial negativo (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Tabela 7 - Resultado do teste para verificação de existência de superdispersão nos dados

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	532
Model	78247891	1	78247891	F (1,531)	=	34.80
Residual	1,19E+13	531	2248645.8	Prob > F	=	0.0000
Total	1,27E+13	532	2391501.53	R-squared	=	0.0615
				Adj R-squared	=	0.0597
				Root MSE	=	1499.5
Yasterisco	Coef	Std. Err.	t	P > t	[95% Conf. Interval]	
Lambda	.8256889	.1399718	5.90	0.000	.5507224	1.100655

Fonte: Autoria própria (2020).

Com base neste teste, o modelo mais adequado para se trabalhar com o conjunto de dados do presente estudo é o modelo longitudinal de regressão não-linear binomial negativo (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

3.4.1.1.3 Estimação do modelo binomial negativo

Nesta seção serão estimados três modelos longitudinais de regressão não-lineares para dados em painel curto: um Modelo de Efeitos Fixos (*within*), um Modelo de Efeitos Aleatórios (*Random*) e o Modelo POLS (*Pooled Ordinary Least Squares*).

Antes de serem estimados os modelos com efeitos específicos individuais, os modelos de efeitos fixos e de efeitos aleatórios, deve ser considerado um modelo de regressão do tipo *Pooled*, conforme adotado no presente estudo (FÁVERO; BELFIORE, 2017; CAMERON; TRIVEDI, 2013).

A abordagem de estimação pelo modelo *Pooled* ou *POLS* (*Pooled Ordinary Least Squares*) é considerada a mais simples para estimação de um modelo longitudinal de regressão não linear (FÁVERO; BELFIORE, 2017; GUJARATI; PORTER, 2011).

Nesse modelo os dados são de certa forma, “empilhados” e é estimada uma “grande regressão”, desprezando a natureza de corte transversal e temporal dos dados, formando uma grande *cross-section*, e por meio do método de MQO (Mínimos Quadrados Ordinários) são estimados os parâmetros do modelo (FÁVERO; BELFIORE, 2017; GUJARATI; PORTER, 2011). O modelo pode ser expresso da seguinte forma:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{kit} + \mu_i \quad (6)$$

No modelo *Pooled*, todas as 532 observações da base de dados são “empilhadas” juntas, pressupondo que os coeficientes de regressão (parâmetros) são idênticos para todas as UF e, além disso, assumem os seguintes pressupostos (GUJARATI; PORTER, 2011):

- a) As variáveis explicativas são não estocásticas;
- b) As variáveis explicativas são estritamente exógenas (não estão vinculadas aos valores do termo de erro) e;
- c) Os termos de erro são distribuídos de maneira idêntica, com média zero e variância constante e normalmente distribuída.

Isso requer um controle da autocorrelação dos termos de erro para cada elemento (UF), por meio da utilização de erros-padrão robustos com agrupamentos por elementos (para cada UF) (FÁVERO; BELFIORE, 2017; GUJARATI; PORTER, 2011).

O modelo de regressão de efeitos fixos (*within*) considera a existência de efeitos individuais a_i , o que não ocorre no modelo *Pooled*, permitindo variações no intercepto (a_i) para cada UF, porém, o intercepto permanece constante ao longo

do tempo para a mesma UF (FÁVERO; BELFIORE, 2017, CAMERON; TRIVEDI, 2013).

Nesse sentido, nos modelos com efeitos fixos, os interceptos a_i representam a heterogeneidade existente entre os indivíduos em análise (cada UF), sendo esta decorrente de diversos fatores (FÁVERO; BELFIORE, 2017; GUJARATI; PORTER, 2011; CAMERON; TRIVEDI, 2013).

Os coeficientes dos parâmetros β de um modelo longitudinal de regressão com efeitos fixos são obtidos pela eliminação dos efeitos individuais a_i (intercepto) de cada UF por meio de uma transformação *within* aplicada pela diferenciação de médias (FÁVERO; BELFIORE, 2017; CAMERON; TRIVEDI, 2013).

Para cada UF, são obtidos os valores médios de cada variável (rend, pop, tarif, etc) e estes são subtraídos dos valores individuais (para cada UF) de cada observação. Os valores assim obtidos são, portanto, corrigidos pela média e estimados por MQO (GUJARATI; PORTER, 2011). O modelo de estimação de efeitos fixos, também conhecido como modelo de diferença de médias, pode ser expresso da seguinte forma:

$$(Y_{it} - \bar{Y}_i) = b_1 \cdot (X_{1it} - \bar{X}_{1i}) + b_2 \cdot (X_{2it} - \bar{X}_{2i}) + \dots + \beta_k \cdot (X_{kit} - \bar{X}_{ki}) + (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i) \quad (7)$$

Por outro lado, a estimação por modelos de efeitos aleatórios (*Random effects*) ocorre pelo método de Mínimos Quadrados Generalizados (*Generalized Least Squares*), podendo ser expresso como segue (FÁVERO; BELFIORE, 2017):

$$Y_{it} = \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{kit} + (\alpha_i + \varepsilon_{it}) \quad (8)$$

O termo α_i captura o comportamento dos efeitos aleatórios existentes entre os elementos e apresenta média e variância *between*. Já o termo ε_{it} corresponde aos termos de erro idiossincráticos com média e variância *within*, representando

as variações do erro dentro de cada UF. Os termos de erro podem ser expressos da seguinte forma: $\mu_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}$. E são correlacionados ao longo do tempo para cada indivíduo (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Os modelos de efeitos aleatórios consideram tanto as variações ocorridas dentro do próprio elemento (UF) ao longo do tempo (*within*), quanto às variações entre os próprios elementos (*between*) (CAMERON; TRIVEDI, 2013; FÁVERO; BELFIORE, 2017). Seus parâmetros podem ser estimados de acordo com a expressão (9) a seguir (FÁVERO; BELFIORE, 2017):

$$\begin{aligned} (Y_{it} - \theta_i \bar{Y}_i) &= \alpha \cdot (1 - \theta_i) + \beta_1 \cdot (X_{1it} - \theta_i \bar{X}_{1i}) + \beta_2 \cdot (X_{2it} - \theta_i \bar{X}_{2i}) + \dots \\ &+ \beta_k \cdot (X_{kit} - \theta_i \bar{X}_{ki}) + \alpha_i \cdot (1 - \theta_i) + (\varepsilon_{it} - \theta_i \bar{\varepsilon}_i) \end{aligned} \quad (9)$$

A expressão geral do modelo binomial negativo (comum para os três modelos a serem estimados) adotado neste estudo pode ser expressa de forma similar à do modelo Poisson. A expressão (10) apresenta a expressão geral do modelo, enquanto a taxa média de unidades de SFV residenciais instaladas trimestralmente para cada UF é dada pela expressão (11), com média e variância distintas, conforme a expressão (12).

$$\ln(\hat{Y}) = \alpha + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{kit} \quad (10)$$

$$\mu = e^{(\alpha + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{kit})} \quad (11)$$

$$E(Y) = \mu \text{ e } Var(Y) = \mu + \phi \cdot \mu^2 \quad (12)$$

O modelo binomial negativo estimado pelo método de verossimilhança é também denominado de NB2 (*negative binomial 2 regression model*), tendo em vista que considera uma especificação quadrática para a variância, conforme

apresentado na expressão (12) (CAMERON; TRIVEDI, 2013; FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Fazendo uso das variáveis empregadas no presente estudo, as expressões (10) e (11) podem ser reescritas conforme as expressões (13) e (14) a seguir (as variáveis são as mesmas descritas no Quadro 11):

$$\ln(\hat{Y}) = (\text{med_un}) = \alpha + \beta_1 \text{fin}_{1it} + \beta_2 \text{icms}_{2it} + \beta_3 \text{pop}_{3it} + \beta_4 \text{rend}_{4it} + \beta_5 \text{tarif}_{5it} + \beta_6 \text{cons}_{6it} + \beta_7 \text{hab}_{7it} + \beta_8 \text{tx_desoc}_{8it} \quad (13)$$

$$\mu = (\text{taxa med_un}) = e^{(\beta_1 \text{fin}_{1it} + \beta_2 \text{icms}_{2it} + \beta_3 \text{pop}_{3it} + \beta_4 \text{rend}_{4it} + \beta_5 \text{tarif}_{5it} + \beta_6 \text{cons}_{6it} + \beta_7 \text{hab}_{7it} + \beta_8 \text{tx_desoc}_{8it})} \quad (14)$$

No capítulo seguinte será realizada a análise e apresentação dos resultados, tanto em termos da análise descritiva quanto dos resultados dos modelos estimados.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As estatísticas descritivas serão apresentadas na seção 4.1, a seção 4.2 apresenta os resultados dos três modelos estimados e na seção 4.3 será realizada a seleção do modelo mais adequado para o presente estudo, bem como, será verificado o atendimento das hipóteses de pesquisa.

4.1 Estatísticas Descritivas

Na Tabela 8 é apresentado o sumário estatístico das variáveis constantes no modelo (exceção as *dummies*). Deve ser destacado que das oito variáveis explicativas, em seis será utilizado o logaritmo natural, no lugar dos valores originais, no processo de estimação do modelo de regressão binomial negativo. Foi empregado esse procedimento porque os valores dessas variáveis explicativas exibem variação significativa entre as UF.

Como exemplo, a UF Roraima possui os menores valores observados para as variáveis referentes às densidades populacional e habitacional, 2,35 hab/Km² e 0,56 unidades consumidoras/Km² respectivamente. Enquanto o DF possui os maiores valores, 522,97 hab/Km² e 165,29 unidades consumidoras/Km². Portanto, trabalhar com o logaritmo natural dessas e das outras quatro variáveis, conforme pode ser visto na Tabela 8, reduz a possibilidade de viés nos resultados.

Tabela 8 - Sumário estatístico (exceto variáveis *dummies*)

[Continua]

Variáveis	Média	Desv. padrão	Variância	Mín	Máx
Variável dependente					
Unidades instaladas	232,24	585,62	342,95	1	5.945
Variável explicativas					
Fonte de financiamento federal					
ICMS (Adesão ao convênio ICMS 16/2015)					
Log. dens. Populacional	3,53	1,40	1,96	0,85	6,26
Log. dens. Habitacional	2,38	1,50	2,25	-0,65	5,10

[Conclusão]

Variáveis	Média	Desv. padrão	Variância	Mín	Máx
Log. consumo médio residencial por UF (kWh/mês)	5,06	0,24	0,06	4,66	5,75
Log. rendimento domiciliar per capita	7,06	0,34	0,12	6,4	7,9
Log. tarifa média de eletricidade	6,4	0,20	0,04	5,8	6,87
Taxa de desocupação	11,04	3,49	12,18	2,7	21,5
Total de observações: 532					

Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme destacado, o presente estudo se concentra nos SFV de micro e minigeração distribuída de eletricidade residenciais, pois de acordo com os dados da Tabela 9, esta classe de consumo representa a parcela dominante dos SFV instalados. Do total de SFV instalados no período em análise, 72,60% das unidades pertencem a essa classe de consumo, seguida pela classe de consumo comercial, com 18,01%. Essas duas são, portanto, as mais representativas.

Tabela 9 - Unidades de SFV residenciais instalados por Região

Classe de Consumo	Quantidade	%
Residencial	123.552	72,60%
Comercial	30.648	18,01%
Rural	10.638	6,25%
Industrial	4.540	2,67%
Poder Público	799	0,46%
Iluminação pública	9	0,01%
TOTAL	170.186	100,00%

Fonte: Autoria própria (2020).

Nesse ponto é interessante ressaltar alguns aspectos com relação as informações apresentadas na Tabela 9, pois vários estudos encontraram resultados semelhantes em outros países, onde a classe de consumo residencial também representa a maior parte dos SFV instalados (BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016)

De acordo com o estudo realizado por De Groote, Pepermans e Verboven (2016) na região de Flandres (Bélgica), entre 2006 a 2012, os SFV residenciais com potência instalada até 10 kw representavam 97,50% do total de SFV

instalados na região, com uma taxa de adoção de 8,5% (2.577.058 residências e 220.464 SFV residenciais instalados).

Em estudo conduzido no Reino Unido, entre 2010 e 2013, Balta-Ozkan, Yildirim e Connor (2015) relataram que dos 398.198 sistemas de geração de energia renovável registradas no programa de incentivos FIT (*feed-in-tariff*), 392.470 eram SFV, sendo que deste último 96,9% referem-se a SFV residenciais com até 10 kw, semelhante ao estudo de De Groot, Pepermans e Verboven (2016).

E no Brasil, com base nos dados apresentados na Tabela 10, aproximadamente 90% dos SFV residenciais instalados no país até o final de 2019 possuíam potência instalada de até 10 kw, semelhante ao verificado nestes países, indicando que a maioria das instalações é composta por sistemas de baixa e média potência (ANEEL, 2020).

Tabela 10 - Distribuição dos SFV - por potência instalada (10 kw)

Potência instalada	Nº unidades	%
Até 10 (kW)	110.705	89,60%
> 10 (kW)	12.847	10,40%
TOTAL	123.552	100,00%

Fonte: Autoria própria (2020).

Com relação a distribuição das unidades de SFV residenciais instaladas entre as quatro modalidades de consumo, pode ser constatado a partir da Tabela 11 que cerca de 87% destas unidades geram eletricidade a partir da modalidade geração na própria unidade consumidora. Das outras três modalidades, o autoconsumo remoto é a mais representativa, com 13% das unidades instaladas.

Tabela 11 - Unidades de SFV residenciais instalados por modalidade de geração

Modalidade	Nº Unidades	%
Geração na própria UC	107.245	86,8%
Autoconsumo remoto	16.042	12,98%
Geração compartilhada	239	0,19%
Múltiplas UC	26	0,02%
TOTAL	123.552	100,00%

Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme já discutido (no referencial teórico), as modalidades de autoconsumo remoto, geração compartilhada e empreendimento com múltiplas unidades consumidoras foram três inovações criadas por meio da REN 687/2015 de 2015 (ANEEL, 2015). Contudo, a Tabela 11 demonstra que tais modalidades são pouco difundidas no país, muito embora sejam vistas como arranjos ou modelos de negócios com potencial para impulsionar o setor fotovoltaico brasileiro (ALSOL, 2018; ANEEL, 2018).

A necessidade de se desenvolver modelos de negócios inovadores é um tema abordado por vários estudos, entre os quais as chamadas “Comunidades ou fazendas solares”, semelhantes aos empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras (FUNKHOUSER *et al.*, 2015; STAUCH; VUICHARD, 2019). E esta e outras questões levaram a ANEEL a dar início ao processo de revisão da REN 482/2012, conduzido pela Agência com o objetivo de aprimorar as regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída no país (ANEEL, 2019).

Isso resultou na consulta pública 025/2019, realizada pela ANEEL, que contou com a participação de diversos atores, entre os quais, organizações com e sem fins lucrativos, públicas e privadas, cooperativas, consultorias, institutos de pesquisa, universidades, concessionárias e associações representativas das empresas de toda a cadeia produtiva do setor fotovoltaico (ANEEL, 2019).

Referente aos empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, a ANEEL trata do assunto na seção 3.4 de sua Nota Técnica nº 0062/2018-SRD/SCG/SRM/SGT/SRG/SMA/ANEEL, de 25 de maio de 2018:

Esse tipo de geração teria benefícios para o sistema, pois diminuiria o fluxo de potência em grandes centros consumidores. Porém, a estagnação desse tipo de geração implica na necessidade de a Agência reavaliar os critérios adotados e consultar a sociedade sobre as eventuais barreiras ainda existentes para a geração local em condomínios. Logo, são aguardadas contribuições acerca dos motivos que levaram à não proliferação da modalidade de empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras e das modificações na regulamentação da ANEEL que poderiam contribuir com o desenvolvimento da micro e minigeração em condomínios (ANEEL, 2018, p.28).

Na sequência são apresentados na Tabela 12 os números referentes às unidades de SFV residenciais instaladas por UF durante o período estudado, bem como, a participação relativa percentual de cada uma das UF no total.

Os Estados de Minas Gerais (MG), São Paulo (SP), Rio Grande do Sul (RS), Paraná (PR) e Rio de Janeiro (RJ) representam aproximadamente 60% do total das unidades de SFV residenciais instaladas no país. Isso faz com que as UF das regiões Sul e Sudeste concentrem a maior parte das unidades instaladas.

Tabela 12 - SFV residenciais no Brasil – 2014-2019 – unidades instaladas e participação relativa (%) – por UF

[Continua]

ID	UF	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	Part. %
1	MG	40	253	1.066	2.278	4.881	15.736	24.254	19,6%
2	SP	26	143	1.040	2.232	4.708	14.441	22.590	18,3%
3	RS	22	120	468	1.077	3.299	9.647	14.633	11,8%
4	RJ	19	139	457	803	1.738	5.098	8.254	6,7%
5	PR	13	81	391	573	1.670	4.853	7.581	6,1%
6	SC	11	77	238	1.464	2.052	3.480	7.322	5,9%
7	MT		7	73	199	823	4.470	5.572	4,5%
8	GO	1	18	552	382	804	3.096	4.853	3,9%
9	MS	18	68	72	189	563	2.907	3.817	3,1%
10	CE	22	79	131	266	787	1.835	3.120	2,5%
11	BA	10	30	81	191	630	2.056	2.998	2,4%
12	ES	5	12	357	179	475	1.296	2.324	1,9%
13	PE	4	26	61	121	405	1.507	2.124	1,7%
14	MA	1	16	36	109	349	1.552	2.063	1,7%
15	PB	11	3	26	89	354	1.424	1.907	1,5%
16	RN	5	34	68	110	339	1.174	1.730	1,4%
17	PA	1	3	33	74	336	1.237	1.684	1,4%
18	PI			22	54	324	1.155	1.555	1,3%
19	TO	2	14	29	101	358	1.024	1.528	1,2%
20	DF		32	74	175	351	566	1.198	1,0%

[Conclusão]

ID	UF	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	Part. %
21	SE			13	78	198	490	779	0,6%
22	AL		1	15	41	157	503	717	0,6%
23	AM			4	18	69	317	408	0,3%
24	RO		2	9	24	45	178	258	0,2%
25	AP				1	37	86	124	0,1%
26	AC		1	1	12	18	85	117	0,1%
27	RR			1	3	5	33	42	0,0%
TOTAL		211	1.159	5.318	10.843	25.775	80.246	123.552	100,0%

Fonte: Autoria própria (2020).

Assim como os Estados de Minas Gerais (MG), São Paulo (SP), Rio Grande do Sul (RS), Paraná (PR) e Rio de Janeiro (RJ) representam aproximadamente 60% do total de unidades instaladas no país, esses Estados são também responsáveis por igual parcela da potência total instalada (Kw) das unidades de SFV residenciais do país (Tabela 13).

Tabela 13 - SFV residenciais no Brasil – 2014-2019 – Potência instalada e Participação relativa (%) – por UF

[Continua]

ID	UF	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	Part. %
1	MG	132	877	4.283	10.475	22.336	82.422	120.525	15,7%
2	SP	135	503	4.181	8.964	21.219	77.238	112.240	14,6%
3	PR	40	283	1.489	2.467	7.599	98.826	110.703	14,4%
4	RS	65	461	2.170	5.815	17.385	50.222	76.118	9,9%
5	RJ	62	589	1.921	3.773	9.171	29.066	44.583	5,8%
6	MT		31	495	1.430	6.172	34.629	42.758	5,6%
7	SC	34	301	977	5.301	11.072	22.008	39.694	5,2%
8	GO	1	71	421	1.026	5.164	24.679	31.362	4,1%
9	CE	57	295	569	1.542	5.266	15.065	22.794	3,0%
10	MS	53	225	282	990	3.117	17.594	22.261	2,9%
11	MA	33	99	205	864	2.785	13.841	17.827	2,3%
12	BA	44	140	342	1.108	3.359	12.700	17.693	2,3%
13	PE	18	164	346	757	2.764	10.378	14.427	1,9%
14	PB	14	6	155	603	2.428	9.644	12.850	1,7%
15	RN	25	146	371	630	2.301	8.849	12.321	1,6%
16	PA	1	6	109	325	2.429	9.096	11.965	1,6%
17	ES	38	37	576	804	2.466	7.816	11.736	1,5%
18	PI			184	376	2.454	8.095	11.109	1,4%
19	TO	16	68	147	673	2.357	7.379	10.640	1,4%
20	DF		157	406	1.023	2.108	4.230	7.924	1,0%
21	SE			65	453	1.111	3.260	4.889	0,6%
22	AL		11	88	309	919	3.403	4.730	0,6%
23	AM			25	168	557	2.829	3.580	0,5%

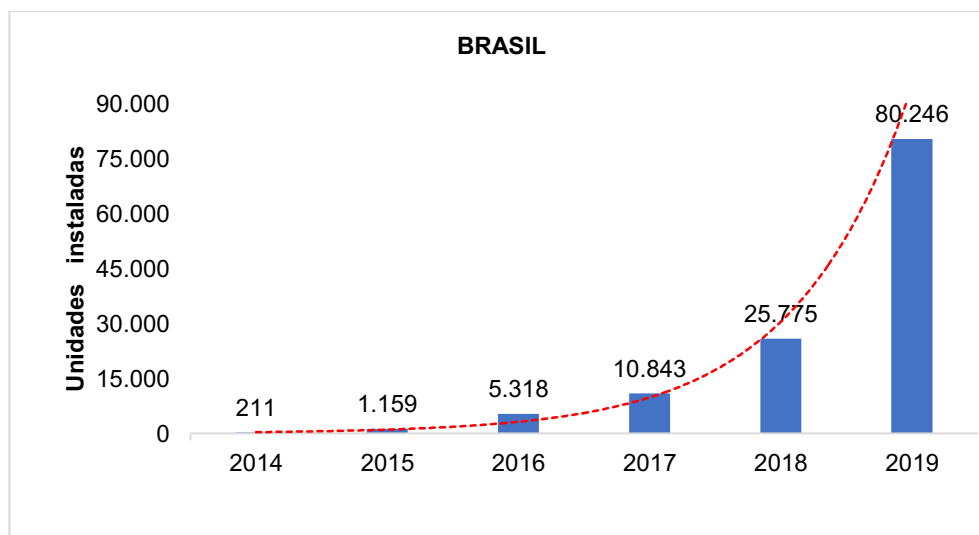
ID	UF	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	Part. %
24	RO		7	45	130	672	1.188	2.041	0,3%
25	AC		4	2	100	121	761	989	0,1%
26	AP				2	208	603	813	0,1%
27	RR			3	17	130	340	490	0,1%
TOTAL		768	4.480	19.859	50.124	137.671	556.163	769.064	100,0%

Fonte: Autoria própria (2020).

Essa concentração da adoção de SFV residenciais em algumas regiões também é comum em outros países. E diversos estudos têm sido conduzidos para estudar esse fenômeno, dentro da corrente teórica que busca compreender esses padrões espaciais da adoção de SFV residenciais (BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015)

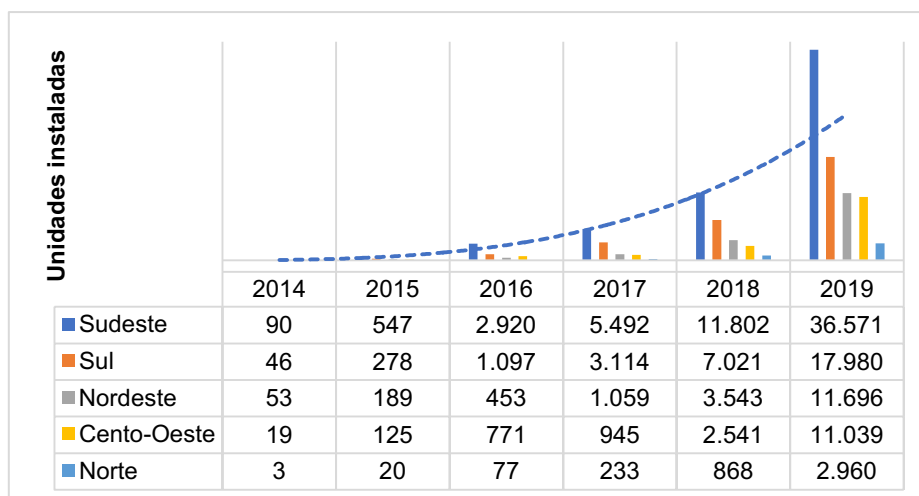
Na Grã-Bretanha as regiões sudeste e leste apresentam as maiores taxas de adoção (BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; BUSIC-SONTIC; FUERST, 2018). E com relação a Alemanha, embora os SFV estejam distribuídos nacionalmente, há uma concentração na região sul do país (SCHAFFER; BRUN, 2015).

A seguir também são apresentados os valores totais dos SFV residenciais instalados por ano, de 2014 a 2019 (Gráfico 1), podendo ser observado o crescimento no número de adoções, passando de 211 unidades instaladas em 2014 para mais de 80 mil em 2019 (ANEEL, 2020).

Gráfico 1 - Evolução dos SFV residenciais instalados no Brasil: 2014-2019

Fonte: Autoria própria (2020).

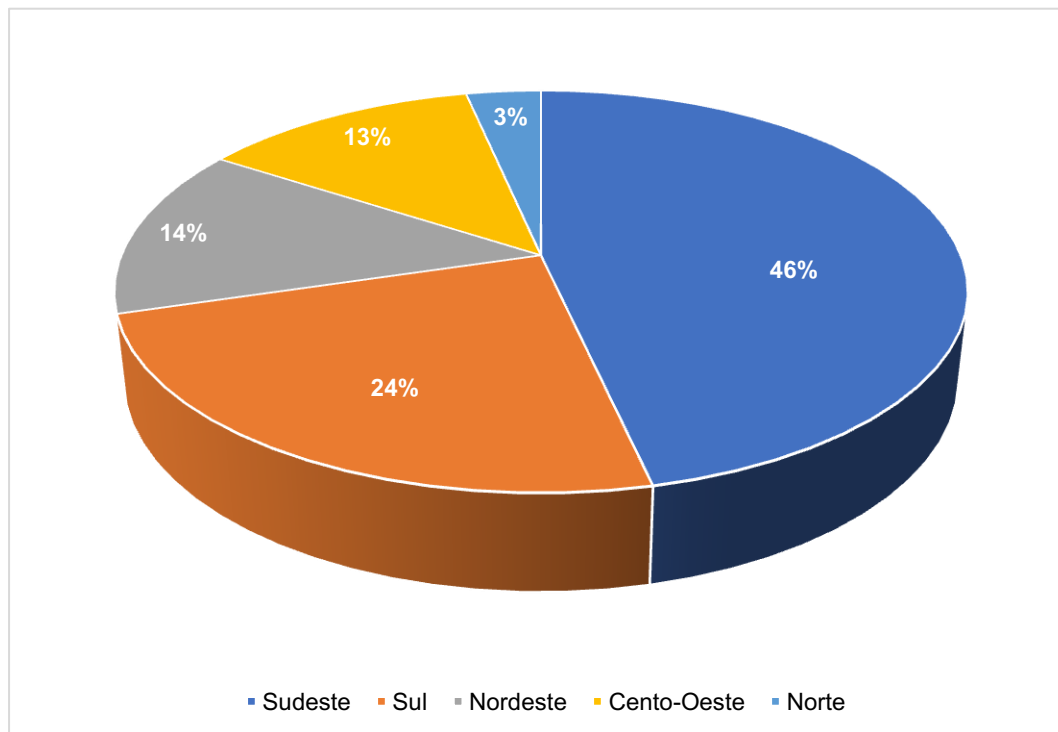
No Gráfico 2 é exibida uma visão da evolução do número de unidades de SFV residenciais instalados em cada uma das regiões do país. A partir do Gráfico 2 pode ser observado que vêm ocorrendo uma aceleração no padrão de adoção dessa tecnologia no país.

Gráfico 2 - SFV residenciais no Brasil – 2014-2019 – evolução no total de unidades instaladas por Região

Fonte: Autoria própria (2020).

E conforme já adiantado, a maior parte das adoções de SFV residenciais estão concentradas nas regiões Sul e Sudeste, congregando aproximadamente 70% do total das unidades instaladas (Gráfico 3).

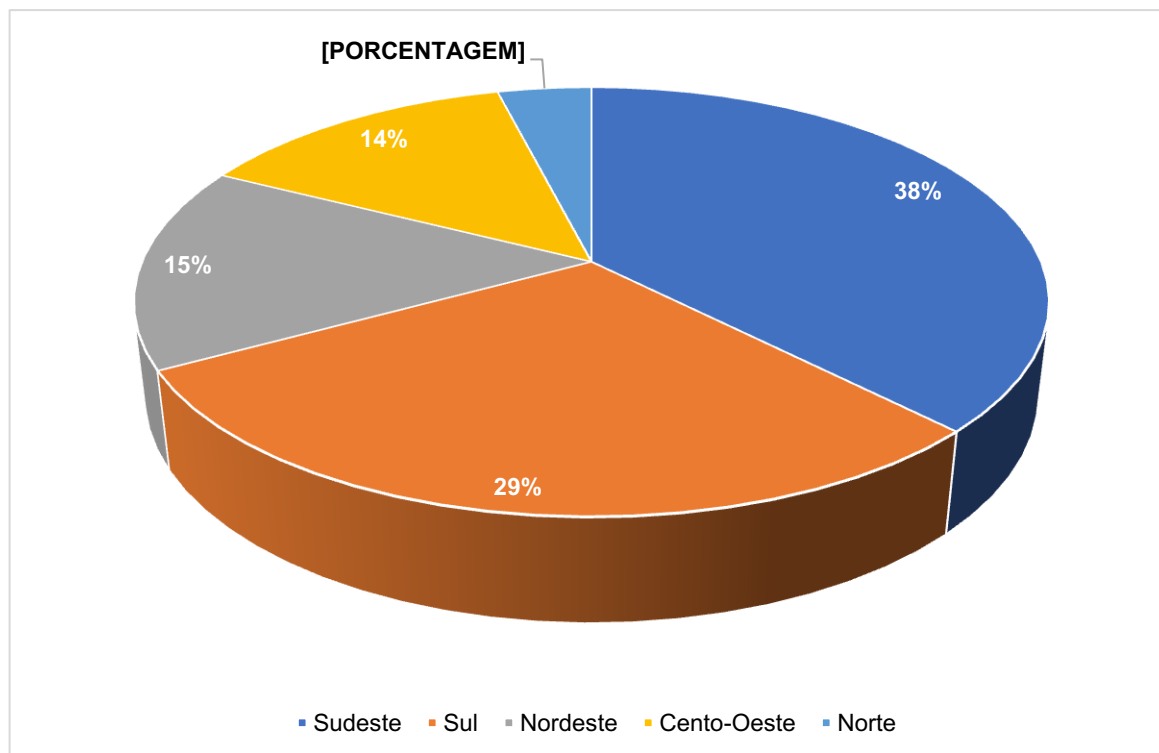
Gráfico 3 - Participação relativa (%) de cada Região no total de unidades instaladas no período - 2014 – 2019



Fonte: Autoria própria (2020).

E da mesma forma que a maior parte dos investimentos se encontram nas regiões Sul e Sudeste do país, aproximadamente 70% do total da potência instalada (Kw) dos SFV residenciais de micro e minigeração de energia elétrica do país encontra-se nessas duas regiões (Gráfico 4).

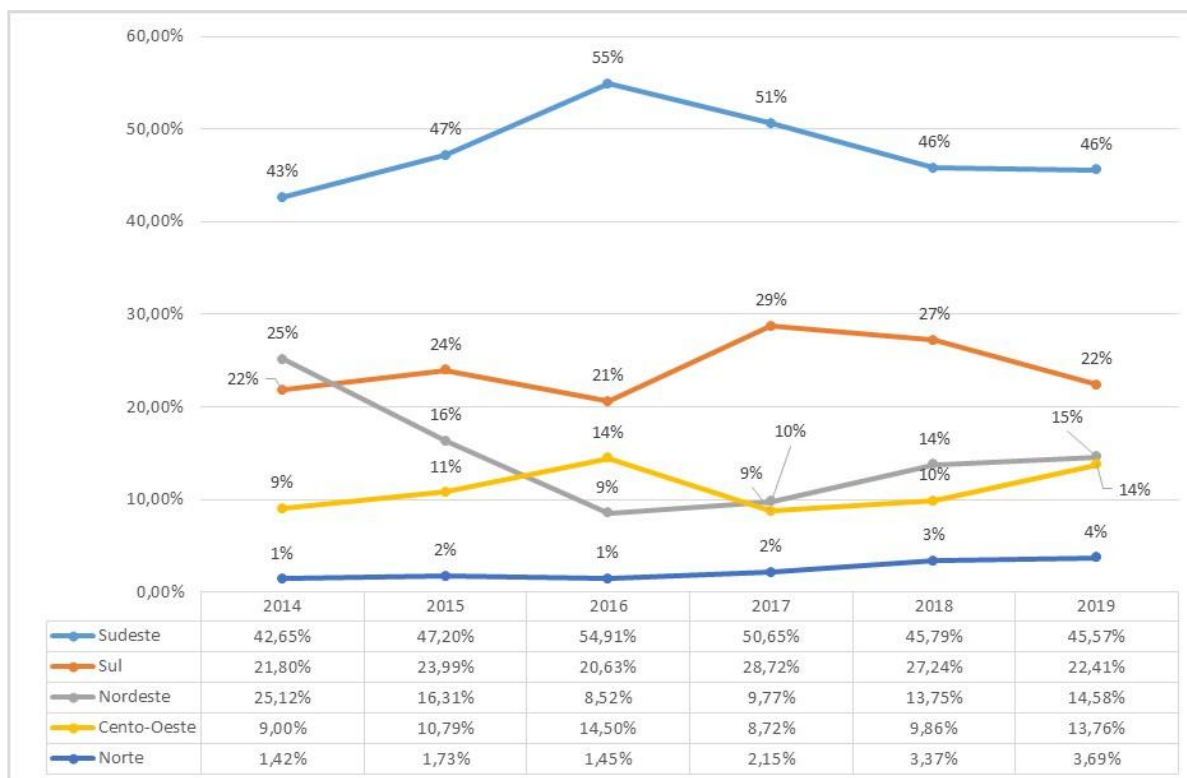
Gráfico 4 - Participação relativa (%) de cada região na potência total instalada no período - 2014 – 2019



Fonte: Autoria própria (2020).

No Gráfico 5 é apresentada a evolução da participação relativa (%) de cada região no total de unidades de SFV residenciais instalados no período em análise. Pode ser verificado que as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte tiveram um aumento em sua participação relativa e a região Sul permaneceu estável. Entretanto, a região Nordeste tinha uma participação relativa de 25% em 2014 e agora possui aproximadamente 15% (se bem que vem retomando o crescimento nos últimos anos).

Gráfico 5 - Evolução da participação relativa (%) de cada região no total de unidades instaladas de SFV residenciais no período - 2014 – 2019



Fonte: Autoria própria (2020).

Este tipo de comportamento é digno de ser analisado, pois segundo Pereira *et al.* (2017) a região Nordeste é a que apresenta as melhores condições climáticas, dentre todas as demais regiões, e foi a primeira a contar com uma fonte de financiamento regular, por meio do Banco do Nordeste.

Os Gráficos 1 e 2 demonstram que vêm ocorrendo um esforço em incentivar a adoção dessa tecnologia no país, tanto que a taxa de adoção vem crescendo. Contudo, esse esforço não está sendo suficientemente efetivo em difundir de forma consistente a tecnologia SFV residencial no país.

A Tabela 14 apresenta a taxa de adoção dessa tecnologia ao final de 2019 e por UF, ilustrando uma situação diferente das Tabelas 12 e 13 onde foram

mostradas o total de adoções de SFV residenciais e a potência instalada ao longo do período estudado.

Nas Tabelas 12 e 13 a UF Minas Gerais ocupa a primeira posição em termos de SFV residenciais instalados e em potência instalada, entretanto, quando considerada a taxa de adoção, a UF Minas Gerais cai para a quarta posição, com uma taxa de adoção de 0,325%.

As UF Mato Grosso e Mato Grosso do Sul ocupam a primeira e segunda posição em termos de taxa de adoção, com 0,491% e 0,419% respectivamente. Essa taxa de adoção explica parte do crescimento da Região Centro-Oeste na participação (%) sobre o total de unidades de SFV adotadas e instaladas, de 9% em 2014 para 13,7% ao final de 2019 (conforme Gráfico 5).

Três UF que não figuram entre as dez primeiras posições no total SFV residenciais instalados, Espírito Santo, Piauí e Tocantins, ocupam a quinta, nona e décima posição em termos de taxa de adoção. Elas possuem taxas de adoção superiores a São Paulo, Rio de Janeiro e Ceará, que estão entre as dez UF com maior número de unidades de SFV residenciais instalados.

Tabela 14 - Taxa de adoção de SFV residências entre as residências conectadas a rede elétrica por UF – valores totais até dezembro/2019

[Continua]

ID	UF	Nº UNIDADES	Nº RESIDÊNCIAS	TAXA DE ADOÇÃO %
1	MT	5.572	1.135.097	0,491%
2	MS	3.817	911.472	0,419%
3	RS	14.633	4.114.961	0,356%
4	MG	24.254	7.454.286	0,325%
5	TO	1.528	498.033	0,307%
6	SC	7.322	2.435.214	0,301%
7	PR	7.581	3.952.776	0,192%
8	GO	4.853	2.613.056	0,186%
9	ES	2.324	1.310.465	0,177%
10	PI	1.555	1.114.558	0,140%
11	PB	1.907	1.372.335	0,139%
12	RN	1.730	1.297.376	0,133%
13	RJ	8.254	6.359.992	0,130%
14	SP	22.590	17.832.649	0,127%
15	DF	1.198	952.177	0,126%
16	CE	3.120	2.935.298	0,106%

[Conclusão]

ID	UF	Nº UNIDADES	Nº RESIDÊNCIAS	TAXA DE ADOÇÃO %
17	SE	779	826.643	0,094%
18	MA	2.063	2.276.955	0,091%
19	PA	1.684	2.323.588	0,072%
20	AL	717	1.052.601	0,068%
21	AP	124	183.418	0,068%
22	PE	2.124	3.330.803	0,064%
23	BA	2.998	5.402.274	0,055%
24	RO	258	466.685	0,055%
25	AC	117	212.010	0,055%
26	AM	408	883.561	0,046%
27	RR	42	132.113	0,032%
TOTAL		123.552	73.380.396	0,168%

Fonte: Autoria própria (2020).

A Tabela 14 antecipa os resultados da Tabela 15, pois as taxas de adoção mais elevadas de três UF da Região Centro-Oeste e das UF da Região Sul faz com que estas Regiões apresentem as mais altas taxas de adoção do país.

Tabela 15 - Taxa de adoção de SFV residências entre as residências conectadas a rede elétrica por Região – valores totais até dezembro/2019

ID	REGIÕES	Nº UNIDADES	Nº RESIDÊNCIAS	TAXA DE ADOÇÃO %
1	Sul	29.536	10.502.951	0,281%
2	Centro-Oeste	15.440	5.611.802	0,275%
3	Sudeste	57.422	32.957.392	0,174%
4	Norte	4.161	4.699.408	0,089%
5	Nordeste	16.993	19.608.843	0,087%
TOTAL		123.552	73.380.396	0,168%

Fonte: Autoria própria (2020).

A Tabela 16 mostra outra característica do padrão de adoção dos SFV residenciais no Brasil, que este padrão não segue, necessariamente, os padrões espaciais de distribuição da população (tanto em números absolutos quanto em termos de densidade populacional) e da renda.

Tabela 16 - Comparativo entre o padrão de adoção de SFV residenciais em relação a população e ao rendimento domiciliar per capita (dados referentes a dez/2019).

ID	UF	Taxa de adoção %	Posição dens. populacional	Posição população	Posição rendimento
1	MT	0,491%	25	17	9
2	MS	0,419%	19	21	7
3	RS	0,356%	13	6	4
4	MG	0,325%	14	2	10
5	TO	0,307%	23	24	14
6	SC	0,301%	8	10	5
7	PR	0,192%	12	5	6
8	GO	0,186%	17	12	11
9	ES	0,177%	7	14	8
10	PI	0,140%	18	19	24
11	PB	0,139%	9	15	19
12	RN	0,133%	10	16	13
13	RJ	0,130%	2	3	3
14	SP	0,127%	3	1	2
15	DF	0,126%	1	20	1
16	CE	0,106%	11	8	18
17	SE	0,094%	5	22	16
18	MA	0,091%	16	11	27
19	PA	0,072%	21	9	25
20	AL	0,068%	4	18	26
21	AP	0,068%	22	26	22
22	PE	0,064%	6	7	17
23	BA	0,055%	15	4	20
24	RO	0,055%	20	23	12
25	AC	0,055%	24	25	21
26	AM	0,046%	27	13	23
27	RR	0,032%	26	27	15

Fonte: Autoria própria (2020).

A UF Mato Grosso possui, conforme exposto e com base nos dados de dezembro de 2019, a maior taxa de adoção de SFV residenciais do país, entretanto, exibe em termos de rendimento domiciliar per capita e população, o nono maior rendimento e a décima sétima maior população (em números absolutos) e a vigésima quinta densidade populacional.

E essa relação prevalece para outras UF, como o Mato Grosso do Sul, com a segunda maior taxa de adoção e sétimo maior rendimento domiciliar per capita,

a vigésima primeira maior população e a décima nona densidade populacional. Por outro lado, a UF Distrito Federal possui o maior rendimento domiciliar per capita, a maior densidade populacional, a vigésima população em números absolutos e a décima quinta maior taxa de adoção de SFV residenciais do país.

Esse padrão espacial da adoção dos SFV residenciais já foi apontado por outros estudos, como o conduzido por Graziano e Gillingham (2015), onde constataram que os agrupamentos (*clusters*) espaciais, de adotantes dessa tecnologia, no estado de Connecticut (EUA), não seguem (totalmente) os padrões espaciais de distribuição da renda e da população.

As informações apresentadas nesta seção, retratando como vem ocorrendo o padrão de adoção dessa tecnologia entre as UF e as cinco Regiões, destacam a importância de buscar identificar os fatores determinantes da adoção dessa tecnologia no país.

A seção seguinte apresentará os resultados do modelo de regressão binomial negativo, bem como, serão verificadas as hipóteses de pesquisa estabelecidas neste estudo.

4.2 Resultados do modelo longitudinal de regressão não linear binomial negativo

Nesta seção serão exibidos e discutidos os resultados da estimação dos três modelos: *pooled*, por efeitos aleatórios (*random*) e por efeitos fixos (*within*). Além disso, serão aplicados os testes para seleção do modelo mais ajustado aos dados do presente estudo.

4.2.1 Seleção dos modelos estimados

A Tabela 17 mostra os resultados da estimação dos três modelos. Geralmente os coeficientes estimados pelo modelo *Pooled* são maiores aos estimados pelos modelos de efeitos aleatórios e fixos, contudo, não é o caso nesse processo de estimação.

Tabela 17 - Comparação entre os modelos estimados

Variáveis explicativas	Pooled		Efeitos Aleatórios		Efeitos Fixos	
	Coef.	Erros-padrão	Coef.	Erros-padrão	Coef.	Erros-padrão
Fonte de financiamento federal	1.1611785	.11292726	1.1862846	.08000553	1.1921677	.07988729
ICMS	.66894873	.24821124	.43441291	.10544622	.4307973	.10487802
Log. rendimento domiciliar per capita	2.6483095	.75631945	-1.007137	.34122132	-1.3024264	.33460203
Log. tarifa média de eletricidade	4.6310303	.63988618	3.0296885	.26941872	3.0701936	.27046982
Log. dens. Habitacional	.2583594	.14756632	.31390758	.05194986	.31356052	.05178157
Log. consumo médio	-1.8426657	.76926931	1.6192651	.40491033	2.1531446	.39515904
Taxa de desocupação	-.05107969	.04399706	-.01333896	.01609727	-.00876302	.01610584

Fonte: Autoria própria (2020).

Entretanto, a característica principal prevalece, pois as medidas dos erros-padrão dos modelos de efeitos aleatórios e fixos se reduzem quando comparadas as do modelo *pooled*, demonstrando a capacidade dos dois primeiros para captar o fenômeno de superdispersão existente no conjunto de dados em estudo. Isso dá um indicativo que a seleção do modelo final ficará entre o modelo de efeitos aleatórios e o modelo de efeitos fixos (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

4.2.1.1 Seleção dos modelos estimados

Para a seleção do modelo final serão empregados dois procedimentos. O primeiro consiste em analisar o resultado do teste razão de verossimilhança, que é parte integrante dos resultados da estimação do modelo binomial negativo por efeitos aleatórios. Este teste permite avaliar, dentre o modelo *pooled* binomial negativo e o modelo binomial negativo por efeitos aleatórios, qual o mais ajustado (FÁVERO; BELFIORE, 2017). Em seguida será aplicado o teste de Hausman, que compara o modelo estimado por efeitos aleatórios (*random*) com o modelo estimado de efeitos fixos (*within*) (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

A Tabela 18 apresenta os resultados da estimação do modelo binomial negativo por efeitos aleatórios. Em sua parte inferior, conforme já mencionado, é mostrado o resultado do teste razão de verossimilhança, que compara os estimadores dos parâmetros obtidos pela estimação *pooled* aos obtidos pela estimação por efeitos aleatórios (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

A partir do resultado desse teste, pode-se rejeitar a hipótese de que os estimadores dos parâmetros obtidos pelo modelo *pooled* binomial negativo são mais apropriados (probabilidade $\chi^2 < 0,05$). Portanto, ao nível de significância de 5%, há diferenças estatisticamente significativas entre cada uma das UF ao longo do tempo e que, em uma comparação entre os dois modelos, tais diferenças justificam a adoção da estimação por efeitos aleatórios (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Tabela 18 - Resultado da estimação do modelo por efeitos aleatórios

[Continua]

Wald chi2(7) = 1010.33				
Log likelihood = - 2757.077				
Prob > chi2 = 0.0000				
Variáveis	Coefficiente β	Erros-padrão	z de Wald	P > z
Fonte de financiamento federal	1.186285	.0800055	14.83	0.000
ICMS	.4344129	.1054462	4.12	0.000
Log. rendimento domiciliar per capita	-1.007137	.3412213	-2.95	0.003
Log. tarifa média de eletricidade	3.029689	.2694187	11.25	0.000
Log. dens. habitacional	.3139076	.0519499	6.04	0.000
Log. consumo médio	1.619265	.4049103	4.00	0.000
Taxa de desocupação	-.013339	.0160973	-0.83	0.407

[Conclusão]

				Wald chi2(7)	=	1010.33
Log likelihood = - 2757.077				Prob > chi2	=	0.0000
Variáveis		Coeficiente β	Erros-padrão	z de Wald		P > z
	/ln_r	-.4724297	.2507117			
	/ln_s	2.188697	.4064701			
	r	.6234856	.1563151			
	s	8.923576	3.627167			
LR test vs. pooled: chibar2(01) = 469.19				Prob >= chibar2 = 0.000		

Fonte: Autoria própria (2020).

Resta agora realizar a seleção entre os modelos estimados por efeitos fixos e aleatórios. E para a escolha entre esses dois modelos será aplicado o teste de Hausman, que conforme antecipado, compara o modelo estimado por efeitos aleatórios (*random*) e o modelo estimado por efeitos fixos (*within*). Diferenças significativas entre as estimações realizadas por esses dois modelos sugerem a existência de inconsistência do modelo estimado por meio de efeitos aleatórios (FÁVERO; BELFIORE, 2017; GUJARATI; PORTER, 2011).

As hipóteses subjacentes a esse teste são as seguintes:

H₀: os efeitos individuais α_i referentes a cada uma das UF e as variáveis explicativas apresentam correlação estatisticamente igual a zero, sendo aleatórios os efeitos individuais, o que conduz a existência de similaridade (consistência) entre os coeficientes estimados por efeitos fixos e por efeitos aleatórios;

H₁: os efeitos individuais não são aleatórios. Logo, ao nível de significância de 5%, não há similaridade estatística entre os coeficientes estimados pelos dois métodos.

O padrão de decisão a um nível de significância de 5% é o seguinte: se o valor da probabilidade χ^2 for significativa, o modelo de efeitos fixos é mais adequado do que o modelo de efeitos aleatórios (GUJARATI; PORTER, 2011).

A Tabela 19 exibe o resultado do teste de Hausman, porém, retornou mensagem de não adequação do modelo de efeitos aleatórios. Esta mensagem surgiu em todas as estimações realizadas, independente das transformações feitas nas variáveis explicativas.

Tabela 19 - Teste de Hausman

Variáveis explicativas	Coeficientes			
	(b)	(B)	(b-B)	sqrt(diag(V_b-V_B))
	Ef. Fixos	Ef. Aleatórios	Difference	Erros-padrão
Fonte de financiamento federal	1.1921677	1.1862846	.0058831	
ICMS	.4307973	.43441291	-.0036156	
Log. rendimento domiciliar per capita	-1.3024264	-1.007137	-.2952894	
Log. tarifa média de eletricidade	3.0701936	3.0296885	.0405051	.0238218
Log. dens. habitacional	.31356052	.31390758	-.0003471	
Log. consumo médio	2.1531446	1.6192651	.5338795	
Taxa de desocupação	-.00876302	-.01333896	.0045759	.0005252

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtnbreg

B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtnbreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

$$\begin{aligned} \chi^2(7) &= (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B) \\ &= -38.00 \quad \chi^2 < 0 \implies \text{model fitted on these data fails} \\ &\quad \text{to meet the asymptotic assumptions of the Hausman test;} \\ &\quad \text{see suest for a generalized test} \end{aligned}$$

Fonte: Autoria própria (2020).

Dessa forma, entende-se que o modelo por efeitos aleatórios não demonstrou se ajustar a heterogeneidade existente entre os valores das variáveis de cada UF, mesmo com ajustes nas escalas das variáveis empregadas.

Para a variável representativa da população foi empregado em uma primeira estimação o valor original, na sequência a densidade populacional e, por fim, optou-se pelo logaritmo natural desta última. Isto levou a adoção do modelo binomial negativo por efeitos fixos.

Tal fato não invalida o modelo adotado, apesar dos coeficientes das variáveis Log. rendimento domiciliar per capita e Log. consumo médio apresentarem diferenças, as estimativas dos demais coeficientes são próximas. Além disso, os erros-padrão dessas duas variáveis não são elevados.

E esse entendimento advém do uso comum de modelos de regressão não lineares e com efeitos fixos quando se trabalha com dados de contagem. Conforme exposto em outra seção, Graziano e Gillingham (2015) usaram um modelo de regressão não-linear binomial negativo com efeitos fixos para estudarem o padrão de difusão dos SFV residenciais em Connecticut, EUA.

Em outro estudo, Rode e Weber (2016) também trabalharam com dados de contagem e usaram um modelo de regressão não-linear do tipo Poisson com efeitos fixos para estudar o processo de difusão, em termos temporais e espaciais, dos SFV residenciais na Alemanha.

Em um terceiro estudo, sobre os determinantes da adoção dessa tecnologia, na região de Flandres (Bélgica), os autores também empregam um modelo de regressão do tipo Poisson, contudo, usam o método dos momentos generalizados (GMM), diferente do empregado no presente estudo (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016).

4.2.1.2 Apresentação do modelo binomial negativo por efeitos fixos

Nesta seção será discutido o resultado do modelo longitudinal de regressão não linear binomial negativo por efeitos fixos, estimado por meio do software Stata. No Quadro 12 são apresentadas a variável dependente, unidades instaladas (de SFV residenciais) e as variáveis explicativas.

Cabe destacar que a variável densidade populacional foi retirada do modelo, pois apresentou forte correlação (0,9975) com a variável densidade habitacional. Entre as duas optou-se pela segunda, pois está relacionada diretamente a população base dos adotantes atuais e futuros, o número de unidades consumidoras, que representam o total de residências que estão conectadas a rede de eletricidade (EPE, 2019).

Quadro 12 - Variáveis empregadas no modelo final

Variável dependente
Unidades de SFV instaladas por trimestre
Variáveis explicativas
Fonte de financiamento federal
ICMS (Adesão ao convênio ICMS 16/2015)
Log. consumo médio residencial por UF (kWh/mês)
Log. rendimento domiciliar per capita
Log. tarifa média de eletricidade
Log. dens. habitacional
Taxa de desocupação

Fonte: Autoria própria (2020).

Na Tabela 20 é exposto o resultado do modelo de regressão longitudinal não-linear binomial negativo com efeitos fixos e na sequência serão analisados os resultados obtidos.

Tabela 20 - Resultado do modelo de regressão binomial negativo por efeitos fixos

Log likelihood = - 2499.7951		Prob > chi2 = 0.0000		
Variáveis	Coefficiente β	Erros-padrão	z de Wald	P > z
Fonte de financiamento federal	1.192168	.0798873	14.92	0.000
ICMS	.4307973	.10487	4.11	0.000
Log. rendimento domiciliar per capita	-1.302426	.334602	-3.89	0.000
Log. tarifa média de eletricidade	3.070194	.2704698	11.35	0.000
Log. dens. Habitacional	.3135605	.0517816	6.06	0.000
Log. consumo médio	2.153145	.395159	5.45	0.000
Taxa de desocupação	-.008763	.0161058	-0.54	0.586

Fonte: Autoria própria (2020).

O modelo estimado demonstrou ser significativo, pois apresenta a probabilidade da estimativa χ^2 inferior a 0,05 (na verdade é nula, sendo Prob > chi2 = 0.00), conduzindo a rejeição da hipótese nula de que todos os parâmetros β sejam estatisticamente iguais a zero ao nível de significância de 5%. Dessa forma, ao menos uma variável explicativa é estatisticamente significativa para determinar o número de unidades de SFV residenciais instaladas (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Entretanto, além do modelo estimado ser significativo, há, igualmente, a necessidade de verificar a significância estatística de cada um dos coeficientes estimados para as variáveis explicativas que compõem o modelo (FÁVERO; BELFIORE, 2017). E essa verificação ocorre pela análise do valor-P da estatística z de Wald para cada um dos coeficientes estimados, de acordo com as hipóteses seguintes (FÁVERO; BELFIORE, 2017):

H₀: se valor-P calculado da estatística z de Wald for superior a 0,05, a variável explicativa deve ser excluída do modelo;

H₁: se valor-P calculado da estatística z de Wald for inferior 0,05, a variável explicativa deve ser mantida no modelo.

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 20, a variável taxa de desocupação não foi considerada estatisticamente significativa a um nível de significância de 5%, pois seu valor-P calculado da estatística z de Wald foi igual a 0.586 (superior a 0,05), devendo ser excluída do modelo.

Dessa forma, foi estimado um novo modelo de regressão longitudinal não-linear binomial negativo com efeitos fixos, porém, sem a variável taxa de desocupação. A seção a seguir detalha o novo modelo e com base nos resultados obtidos foi realizada a verificação da confirmação ou rejeição das hipóteses de pesquisa estabelecidas para o presente estudo.

4.2.1.3 Modelo final

Na Tabela 21 podem ser visualizados os resultados do novo modelo estimado, e a probabilidade da estimativa χ^2 é inferior a 0,05 (Prob > chi2 = 0.00), logo, o modelo estimado existe, sendo descartada a hipótese nula, de que todos os parâmetros β sejam estatisticamente iguais a zero ao nível de significância de 5%.

Além disso, e conforme esperado, todos os coeficientes das variáveis explicativas também são estatisticamente significativos, pois os valores-P calculado da estatística z de Wald são igualmente inferiores a 0,05 para todos os coeficientes.

Tabela 21 - Resultado do modelo final de regressão binomial negativo por efeitos fixos

Log likelihood = - 2499.7951		Prob > chi2 = 0.0000			
Variáveis	IRR	Coefficiente β	Erros-padrão	z de Wald	P > z
Fonte de financiamento federal	3.25918	1.181476	.0772793	15.29	0.000
ICMS	1.505982	.4094452	.0970012	4.22	0.000
Log. rendimento domiciliar per capita	.2928191	-1.2282	.3067995	-4.00	0.000
Log. tarifa média de eletricidade	21.5074	3.068397	.2712967	11.31	0.000
Log. dens. Habitacional	1.35977	.3073156	.0506688	6.07	0.000
Log. consumo médio	8.454022	2.134642	.3949346	5.41	0.000

Fonte: Autoria própria (2020).

A luz dos resultados obtidos a partir do modelo de regressão longitudinal não-linear binomial negativo com efeitos fixos estimado, serão agora analisadas cada uma das hipóteses de pesquisa estabelecidas para o presente estudo.

4.2.1.4 Verificação das hipóteses de pesquisa e discussão dos resultados

De maneira geral, os estudos realizados sobre a adoção de SFV residenciais postulam que a existência de fontes de financiamento a disposição das famílias pode aumentar a probabilidade de adoção da tecnologia SFV residencial (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; SIMPSON; CLIFTON, 2017; WOLSKE; STERN; DIETZ, 2017).

Sendo assim, a hipótese de pesquisa H_1 estabelece que a existência de fontes de financiamento federal exerce influência positiva sobre a decisão das famílias em adotar SFV residenciais. E a partir dos resultados obtidos e apresentados na primeira linha da Tabela 21, constata-se a confirmação dessa hipótese.

A coluna IRR (*incidence rate ratio*) indica que a taxa de incidência ou o total de unidades instaladas de SFV residenciais de GD por trimestre, na presença de fontes

de financiamento federal é, em média e tudo o mais constante, multiplicado por um fator de 3,259, representando um aumento de 225,9% por trimestre.

E estes resultados estão em acordo com a literatura referente ao contexto brasileiro, pois foi constatado que os potenciais adotantes dependem da existência de fontes de financiamento para a aquisição de SFV residenciais, contudo, não existem linhas de crédito específicas, a disposição das famílias, em todos as UF do país. Além disso, ainda existem barreiras burocráticas que impedem o acesso às poucas linhas de crédito existentes (GARLET *et al.*, 2019).

Conforme apontado no presente estudo, houve um incremento nas linhas de crédito oferecidas por instituições públicas para a adoção da tecnologia SFV residencial, sendo que, algumas destas linhas também são oferecidas para outras modalidades de GD a partir de fontes renováveis. Porém, este número ainda é pequeno e, conforme apontado por Garlet e outros (2019), há a necessidade de reduzir as barreiras burocráticas existentes.

E com relação a hipótese de pesquisa H₂, o presente estudo entende que a adesão da UF ao convênio ICMS 16/2015 impacta positivamente a adoção de SFV residenciais pelas famílias.

A variável isenção de ICMS, refere-se a uma particularidade do contexto brasileiro da GD e, conforme antecipado, tributos semelhantes formam os componentes básicos dos esquemas de incentivo adotados em vários países para promover a adoção de tecnologias de energias renováveis (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016; RADOMES; ARANGO, 2015).

Para o presente estudo, entende-se que a adoção e consequente difusão dessa tecnologia no Brasil depende da existência de incentivos fiscais e financeiros (CARSTENS; CUNHA, 2019; GARLET *et al.*, 2019). No contexto de vários países, assim como no Brasil, esta tecnologia não consegue competir em igualdade de condições com as tecnologias estabelecidas, logo, depende da existência de incentivos (CASTANEDA; ZAPATA; ARISTIZABAL, 2018; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE, 2018).

E os resultados obtidos (exibidos na segunda linha da Tabela 21) confirmam essa hipótese, sendo a IRR dessa variável igual a 1,505, indicando que a adesão da UF ao convênio ICMS 16/2015 aumenta, em média e tudo o mais constante, em 50,5% o total de unidades instaladas de SFV residenciais por trimestre.

As hipóteses H_1 e H_2 vinculam-se ao primeiro objetivo específico deste trabalho, buscando analisar o impacto das políticas de incentivo sobre a adoção de SFV residenciais no Brasil e, nesse sentido, é essencial que as autoridades governamentais direcionem esforços para a ampliação dos esquemas de incentivos existentes.

Já a hipótese de pesquisa H_3 afirma que a densidade populacional de cada UF possui efeito positivo sobre a adoção de SFV residenciais. Porém, esta hipótese não pôde ser testada, pois a variável explicativa densidade populacional foi retirada do modelo por estar correlacionada com a variável densidade habitacional, e optou-se pela manutenção desta última para as estimações seguintes.

Quanto a densidade habitacional, os estudos referentes a adoção de SFV residenciais divergem acerca de sua influência na decisão das famílias em adotar essa tecnologia. Não obstante, este estudo considera que maiores concentrações residenciais oferecem maior área útil de telhados disponível para instalação dos sistemas (SCHAFFER; BRUN, 2015).

Destarte, a hipótese H_4 pressupõe que a densidade habitacional de cada UF exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais. E os resultados obtidos, de fato, confirmam essa hipótese (quinta linha da Tabela 21), pois foi encontrado um coeficiente de 0,3073 e um IRR de 1,359, indicando que um aumento de 1% na densidade habitacional resulta, em média e tudo o mais constante, em um aumento de 35,9% no total de unidades instaladas de SFV residenciais por trimestre.

No que diz respeito ao fator renda, alguns estudos indicam a existência de uma relação positiva entre a renda e a consequente adoção de SFV residenciais, sendo, portanto, um fator determinante na decisão das famílias em adotar essa tecnologia (DHARSHING, 2017; SCHAFFER; BRUN, 2015).

Argumenta-se, que embora os preços dos SFV residenciais vêm decrescendo progressivamente, seus custos iniciais de instalação ainda permanecem comparativamente maiores a outras fontes de geração de energia, limitando a difusão dessa tecnologia. Conseqüentemente, a adoção dessa tecnologia torna-se mais provável entre grupos de adotantes com padrão de renda mais elevado (DHARSHING, 2017; SCHAFFER; BRUN, 2015).

Adicionalmente, para Rogers (1983) os adotantes iniciais (*earlier adopters*) de uma determinada inovação, geralmente, possuem um status social mais elevado. E um dos indicadores do status social é o fator renda, juntamente com o nível de vida, posse de riqueza, prestígio profissional e outras características relacionadas a pertencer a uma determinada classe social.

Nesse sentido, a hipótese de pesquisa H₅ assume que o rendimento domiciliar per capita da UF impacta positivamente a adoção de SFV residenciais. Todavia, esta hipótese foi rejeitada, indicando a existência de relação negativa entre o nível de rendimento e a adoção de SFV residenciais no Brasil. O resultado obtido surpreende e contradiz alguns estudos anteriores e que fundamentaram a premissa básica da existência de relação positiva entre esta variável e a conseqüente adoção (DHARSHING, 2017; ROGERS, 1983; SCHAFFER; BRUN, 2015).

Foi encontrado um coeficiente negativo de -1,228 e um IRR de 0,292 (terceira linha da Tabela 21). Esse foi o único coeficiente negativo obtido e, nesse caso, cabe destacar que o IRR é o resultado do fator $e^{-1,228}$, gerando o valor obtido de 0,292. Isso significa que um aumento de 1% no rendimento domiciliar per capita conduz, em média e tudo o mais constante, a uma redução de 29,2% no total de unidades instaladas de SFV residenciais por trimestre.

Entretanto, resultado semelhante foi obtido por Inhoffen, Siemroth e Zahn (2019), em estudo sobre como a decisão das famílias alemãs de adotar SFV residenciais é influenciada pelas famílias que já adotaram e instalaram seus sistemas.

Os autores identificaram que a renda média familiar desempenha um papel pouco significativo sobre a adoção (INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019).

Os autores acrescentam que a variável renda média familiar em interação com a variável representativa dos SFV residenciais já adotados, a chamada base instalada (a base instalada é geralmente usada como *proxy* representativa dos efeitos sociais ou de rede) exerce impacto negativo sobre a probabilidade de adotar essa tecnologia (os autores empregam um modelo de regressão logit) (INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019).

No já mencionado estudo de De Groot, Pepermans e Verboven (2016) os autores identificaram que o coeficiente da renda média familiar decresce ao serem inseridas outras variáveis no modelo e, no geral, exerce um pequeno e não significativo efeito sobre a adoção de SFV residenciais, a não ser durante parte do período analisado – e sob a presença de uma política de incentivos mais robusta.

Os autores justificam essa queda no valor do coeficiente correspondente a renda média familiar e seu impacto não significativo, ao fato de existirem outras variáveis correlacionadas com a renda média familiar (DE GROOTE; PEPERMANS; VERBOVEN, 2016).

E no presente estudo, as variáveis densidade habitacional e consumo médio residencial de eletricidade se encontram positivamente correlacionadas com a variável rendimento domiciliar per capita (o que não inviabiliza o modelo), semelhante ao observado por De Groot, Pepermans e Verboven (2016). Desta forma, acredita-se que parte do poder explicativo (ou influência) dessa variável, no presente estudo foi incorporado pelas outras duas variáveis explicativas.

Além disso, uma outra justificativa possível para o resultado obtido, poderia estar vinculada aos eventos específicos associados a vida econômica de cada família, como o recebimento de aposentadorias, heranças ou qualquer outro rendimento extraordinária recebido, bem como, a riqueza acumulada ao longo da vida familiar (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; SCHELLY, 2014).

Esses eventos, em muitos casos, podem dissociar a adoção dessa tecnologia do fator renda atual, conforme demonstrado em estudo anterior conduzido por Schelly (2014) no estado de Wisconsin (EUA). A autora, por meio de uma pesquisa qualitativa junto a 48 adotantes de SFV residenciais, buscou compreender o que os motivou a adotar essa tecnologia, e descobriu que eventos específicos associados a vida econômica de cada família são fatores determinantes para a adoção, até mais importantes que o cálculo econômico (SCHELLY, 2014).

Em outra situação, e conforme já discutido, ao estudarem o padrão de difusão dos SFV residenciais em Connecticut (EUA), Graziano e Gillingham (2015) identificaram que os agrupamentos (*clusters*) espaciais, de adotantes dessa tecnologia, não seguem (totalmente) os padrões espaciais de distribuição da renda e da população. Os autores constataram que alguns dos municípios mais ricos dos EUA, localizados no estado de Connecticut, possuem taxas de adoção de SFV residenciais menores do que cidades menos ricas (GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015).

O presente estudo faz uso de uma base de dados nacional, com os dados desagregados ao nível de cada UF, diferente do estudo conduzido por Graziano e Gillingham (2015), que trabalharam com dados no âmbito estadual e desagregados ao nível municipal. E, apesar das bases de dados serem distintas, foram encontradas similaridades, pois de modo geral, as taxas de adoção dos SFV residenciais no Brasil também não seguem os padrões espaciais de distribuição da renda, conforme discutido na seção anterior.

Outro fator importante abordado na literatura relativa à adoção de SFV residenciais é o consumo ou demanda de eletricidade pelas famílias. O consumo de eletricidade é considerado um fator determinante da adoção, pois maiores consumos de eletricidade, mantidas as demais condições constantes, conduzem a uma maior probabilidade de adoção dessa tecnologia pelas famílias (BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE; 2018).

E a hipótese de pesquisa H_6 deste estudo estabelece que o consumo médio residencial de eletricidade da UF (kWh/mês) impacta positivamente a adoção de SFV

residenciais. Essa hipótese foi confirmada e o consumo médio residencial de eletricidade da UF representa o segundo fator mais influente sobre a adoção dessa tecnologia no Brasil.

Conforme mostrado na sexta linha da Tabela 21 foi encontrado um coeficiente de 2,1346 e um IRR de 8,454, indicando que um aumento de 1% no consumo médio residencial resulta, em média e tudo o mais constante, em um aumento de 745,4% no total de unidades instaladas de SFV residenciais por trimestre. E o resultado obtido no presente estudo é consistente com os resultados encontrados em trabalhos anteriores (BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE; 2018).

De acordo com o trabalho de Balta-Ozkan, Yildirim e Connor (2015), as famílias com maiores consumos de eletricidade formam o grupo dos adotantes iniciais ou *earlier adopters*, compondo o segundo grupo de famílias a adotar SFV residenciais, após os inovadores (ROGERS, 1983). Isso indica que essas famílias possuem um entendimento do papel exercido pelos SFV residenciais sobre a economia no consumo de eletricidade residencial, influenciando a adoção dessa tecnologia (BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015; JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE; 2018;).

Alguns dos trabalhos analisados indicam a influência negativa exercida pela taxa de desocupação (ou desemprego) sobre a adoção de SFV residenciais, onde maiores taxas de desocupação levam a menores taxas de adoção (DHARSHING, 2017; INHOFFEN; SIEMROTH; ZAHN, 2019).

Para Inhoffen, Siemroth e Zhan (2019) as interações sociais proporcionam um aumento da taxa de adoção de SFV residenciais. E em localidades com taxas de desocupação mais elevadas o efeito das interações sociais diminuem e, conseqüentemente, reduz também o número de SFV residenciais instalados.

Face ao exposto, a hipótese de pesquisa H7 afirma que a taxa de desocupação de cada UF afeta negativamente a adoção de SFV residenciais. Logo, esperava-se que essa hipótese fosse confirmada, porém, não foi considerada

estatisticamente significativa, levando a sua rejeição. O resultado foi inesperado, contudo, descoberta semelhante foi obtida em outro estudo (GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015).

Uma possível justificativa para esse resultado pode ser encontrada na natureza das informações utilizadas no presente estudo, pois a taxa de desocupação refere-se a um valor médio agregado da UF, não representando, necessariamente, as taxas de desocupação das localidades onde, efetivamente, estão ocorrendo as adoções. Entretanto, seria interessante aprofundar a análise para compreender melhor esse resultado.

Com relação ao fator preço da eletricidade, alguns estudos dedicaram-se a compreender a influência desse fator sobre a decisão das famílias em adotar a tecnologia SFV residencial (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015). No já citado trabalho de Kastner e Stern (2015), os autores relatam que dentre os 26 estudos analisados, quinze investigaram a relação existente entre o preço da energia e as decisões de investimentos relevantes em energia realizados pelas famílias, sendo que em seis desses estudos foi encontrada uma relação positiva.

Por conseguinte, o presente estudo, por meio da hipótese de pesquisa H8, acredita que a tarifa média de eletricidade de cada UF exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais. E segundo os resultados obtidos a partir do modelo final de regressão binomial negativo, apresentado na quarta linha da Tabela 21, esta hipótese foi confirmada.

Este resultado já era esperado e confirma o que já havia sido identificado em outros estudos (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019; GRAZIANO; GILLINGHAM, 2015). Aliás, foi identificado que a tarifa média de eletricidade é o principal fator determinante da adoção da tecnologia SFV residencial no Brasil.

Devido aos valores elevados de seu coeficiente e IRR encontrados, 3,068 e 21,50 respectivamente, foram realizadas outras estimativas, sob várias combinações de transformação das variáveis. Os resultados obtidos conduziram a coeficientes

menores, entretanto, não alteraram a decisão quanto a confirmação dessa hipótese, bem como, as decisões de inclusão ou exclusão das demais variáveis do modelo foram mantidas, portanto, não alteraram o conjunto de variáveis estatisticamente significativas.

Em estudo conduzido no distrito de Colombo, no Sri Lanka, os autores fizeram uso de um modelo de regressão não linear binomial negativo inflado de zeros, modelo semelhante ao empregado no presente estudo, e os coeficientes obtidos de algumas variáveis foram superiores aos encontrados no presente estudo (JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE, 2018).

Como exemplo, para as variáveis percentual de residentes entre 70 e 79 anos, percentual de residentes entre 40 e 49 anos e percentual de residentes com formação superior ou acima, os coeficientes encontrados foram de 27,58; 22,36 e 12,85 respectivamente (JAYAWEERA; JAYASINGHE; WEERASINGHE, 2018).

Deste modo, entende-se que os resultados obtidos para a variável explicativa tarifa média de eletricidade é consistente e indica sua forte influência sobre a adoção de SFV residenciais no Brasil. O Quadro 13 apresenta uma síntese dos resultados obtidos através da análise das hipóteses de pesquisa.

Quadro 13 - Resumo dos resultados obtidos

Hipóteses de pesquisa	Resultado
H ₁ : A existência de fontes de financiamento federal exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais	Confirmada
H ₂ : A adesão da UF ao convênio ICMS 16/2015 impacta positivamente a adoção de SFV residenciais	Confirmada
H ₃ : A densidade populacional de cada UF possui efeito positivo sobre a adoção de SFV residenciais	Variável explicativa foi retirada do modelo
H ₄ : A densidade habitacional de cada UF exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais	Confirmada
H ₅ : O rendimento domiciliar per capita da UF impacta positivamente a adoção de SFV residenciais	Rejeitada
H ₆ : O consumo médio residencial de eletricidade da UF (kWh/mês) impacta positivamente a adoção de SFV residenciais	Confirmada
H ₇ : A taxa de desocupação de cada UF afeta negativamente a adoção de SFV residenciais	Rejeitada
H ₈ : A tarifa média de eletricidade de cada UF exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais	Confirmada

Fonte: Autoria própria (2020).

A partir do Quadro 13, verifica-se que das oito hipóteses de pesquisa estabelecidas para o presente estudo, cinco foram confirmadas, H₁, H₂, H₄, H₆ e H₈, enquanto H₅ e H₇ foram rejeitadas e a H₃ não foi testada. Logo, a existência de fontes de financiamento federal, adesão da UF ao convênio ICMS 16/2015, densidade habitacional de cada UF, consumo médio residencial de eletricidade da UF e a tarifa média de eletricidade de cada UF exercem influência positiva sobre a adoção da tecnologia SFV residencial no Brasil.

Por outro lado, o rendimento domiciliar per capita da UF impacta negativamente a adoção da tecnologia SFV residencial no país, a taxa de desocupação de cada UF não foi considerada estatisticamente significativa, portanto, não exerce influência sobre a adoção e a variável explicativa densidade populacional foi retirada do modelo por estar fortemente correlacionada com a variável densidade habitacional, portanto, a hipótese de pesquisa H₃ não pôde ser testada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo geral identificar os fatores determinantes da adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil. Nesse sentido, foi utilizada uma estratégia de pesquisa quantitativa, por meio de dados em painel e coletados a partir de fontes secundárias, com delineamento longitudinal, considerando a adoção entre as unidades federativas (UF) e ao longo do período analisado (2014 a 2019), com tratamento estatístico dos dados e uso de um modelo longitudinal de regressão não-linear binomial negativo com efeitos fixos.

Para definição das variáveis explicativas (fatores determinantes) usadas no modelo de regressão binomial negativo estimado foi realizado um levantamento bibliográfico, resultando nas seguintes variáveis: fontes de financiamento federal, densidades populacional e habitacional, rendimento domiciliar per capita, tarifa média de eletricidade, consumo médio residencial de eletricidade e taxa de desocupação.

Além destas, foi incluída a adesão de cada UF ao convênio ICMS 16/2015, pois trata-se de uma variável explicativa relacionada ao contexto brasileiro da geração distribuída de eletricidade. E através da análise do referido convênio e dos convênios posteriores foi possível estabelecer uma cronologia da adesão de cada UF.

No intuito de responder ao objetivo geral proposto neste trabalho foram estabelecidos quatro objetivos específicos. Cabe destacar, que para cada um destes objetivos específicos encontra-se vinculada uma ou mais hipóteses de pesquisa e a cada uma dessas hipóteses associa-se uma variável explicativa (fator determinante a ser investigado).

O primeiro objetivo específico buscou analisar o impacto das políticas de incentivo sobre a adoção de SFV residenciais. E as duas variáveis explicativas associadas a este objetivo foram consideradas estatisticamente significativas: existência de fontes de financiamento federal e adesão da UF ao convênio ICMS 16/2015.

Portanto, a partir dos resultados obtidos, conclui-se que as políticas de incentivo desempenham um papel importante, sendo consideradas um fator determinante e com impacto positivo sobre a adoção e consequente difusão da tecnologia solar fotovoltaica residencial no país.

O segundo objetivo específico consistia em verificar se os fatores socioeconômicos referentes a cada UF influenciam a adoção de SFV residenciais. E três variáveis explicativas estavam vinculadas a este objetivo específico: rendimento domiciliar per capita, consumo médio residencial de eletricidade e taxa de desocupação.

Entretanto, apenas a variável explicativa relativa ao consumo médio residencial de eletricidade provou ser estatisticamente significativa. Logo, considera-se o consumo médio residencial de eletricidade um fator determinante e com impacto positivo sobre a adoção da tecnologia SFV residencial no país. Aliás, constatou-se que representa o segundo fator determinante mais influente sobre a adoção dessa tecnologia.

A partir do resultado obtido, acredita-se que famílias com consumos de eletricidade mais elevados tendem a adotar SFV residenciais por razões relacionadas a economia em suas contas mensais de eletricidade, fato este já destacado na literatura sobre o tema (BALTA-OZKAN; YILDIRIM; CONNOR, 2015). E com relação ao rendimento domiciliar per capita, a partir dos resultados obtidos, foi considerado um fator determinante, porém, exerce uma influência negativa sobre a adoção de SFV residenciais.

Devido a correlação existente entre o rendimento domiciliar per capita e as variáveis densidade habitacional e consumo médio residencial de eletricidade, conjectura-se que parte do seu poder explicativo tenha sido incorporado por estas outras duas variáveis após a inclusão destas no processo de estimação do modelo de regressão.

Quanto a taxa de desocupação, mostrou ser não significativa estatisticamente, sendo retirada do processo de estimação do modelo de regressão final. Logo,

compreende-se que a taxa de desocupação não é um fator determinante da adoção de SFV residenciais no Brasil.

Salienta-se que esse resultado pode ser atribuído a natureza das informações utilizadas neste trabalho, pois a taxa de desocupação refere-se a um valor médio agregado ao nível da UF e pode não representar a taxa de desocupação onde, efetivamente, estão ocorrendo as adoções.

Porém, é prudente aprofundar a análise para compreender melhor esse resultado. Uma possível saída, ainda no nível da UF, seria o uso de taxas de desocupação por faixas etárias, pois segundo o IBGE, este indicador contempla a parcela da força de trabalho, maior de 14 anos e que está procurando trabalho. Considera-se que tal procedimento permitiria visualizar quais faixas etárias exercem mais influência sobre a adoção de SFV residenciais, pois acredita-se que indivíduos de meia idade são adotantes mais prováveis (BEST; BURKE; NISHITATENO, 2019).

Portanto, das três variáveis explicativas vinculadas ao segundo objetivo específico, duas podem ser consideradas fatores determinantes da adoção de SFV residenciais no contexto brasileiro. Contudo, apenas o consumo médio residencial de eletricidade impacta positivamente a adoção dessa tecnologia.

O terceiro objetivo específico procurou examinar a influência das características demográficas das UF sobre a adoção de SFV residenciais, e a este objetivo estavam associadas duas variáveis explicativas: as densidades populacional e habitacional de cada UF.

A variável explicativa densidade populacional foi excluída do processo de estimação por estar correlacionada com a variável densidade habitacional, e esta última foi mantida no modelo. Quanto a densidade habitacional, demonstrou ser significativa estatisticamente, sendo assim, trata-se de um fator determinante e com impacto positivo sobre a adoção de SFV residenciais no Brasil.

A literatura referente ao tema diverge acerca do impacto desempenhado pela densidade habitacional sobre a adoção de SFV residenciais. Contudo, para o

presente trabalho, acredita-se que maiores concentrações residenciais podem oferecer maior área útil de telhados disponível para instalação desses sistemas.

Visando aprofundar o entendimento do efeito da densidade habitacional sobre adoção de SFV residenciais, recomenda-se a realização de estudos considerando as características das residências, pois tais estudos podem oferecer resultados mais robustos sobre o papel desempenhado por este fator determinante.

Por fim, o quarto e último objetivo específico buscou apurar se a tarifa média de eletricidade de cada UF exerce influência positiva sobre a adoção de SFV residenciais. A tarifa média de eletricidade foi considerada significativa estatisticamente, bem como, o principal fator determinante e com impacto positivo sobre a adoção da tecnologia SFV residencial no Brasil.

E tendo respondido a todos os objetivos específicos, faz-se necessário discutir acerca do atendimento do objetivo geral proposto: identificar os fatores determinantes da adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil.

Após a estimação do modelo longitudinal de regressão não-linear binomial negativo com efeitos fixos, foram identificados seis fatores determinantes da adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil: fontes de financiamento federal, adesão da UF ao convênio ICMS 16/2015, rendimento domiciliar per capita, densidade habitacional, tarifa média de eletricidade e consumo médio residencial de eletricidade. Conclui-se que estes dois últimos representam os principais fatores determinantes da adoção no contexto brasileiro.

Por outro lado, o rendimento domiciliar per capita é um fator determinante da adoção de SFV residenciais, porém, exerce um impacto negativo. Enquanto a taxa de desocupação não apresentou significância estatística e, logo, não é considerada um fator determinante. Cabe lembrar que a densidade populacional foi retirada do modelo.

Após as considerações referentes aos objetivos do presente trabalho, faz-se necessário discorrer sobre suas contribuições. Da perspectiva teórica, este trabalho identificou - através de um estudo empírico, de corte longitudinal e usando uma base

de dados (em painel) completa de âmbito nacional e ao nível de cada UF – alguns dos fatores determinantes da adoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil.

O autor não encontrou estudo semelhante em trabalhos anteriores, portanto, o presente estudo preenche três lacunas de pesquisa até então existentes na literatura. Trata-se do primeiro estudo conduzido fora da Europa, buscando identificar os determinantes da adoção de sistemas fotovoltaicos residenciais, fundamentado em uma análise censitária, com abrangência nacional e corte longitudinal, considerando aspectos temporais e regionais.

As outras duas lacunas derivam desta, caracterizando-se como o primeiro estudo, com tais características, realizado no contexto de um país em desenvolvimento, sendo conseqüentemente, o primeiro estudo do gênero no Brasil.

Além disso, o presente estudo também identificou que a análise do número de unidades instaladas de SFV residenciais por UF não é um bom indicador do sucesso da adoção dessa tecnologia, pois o total de unidades instaladas não reflete a efetiva taxa de adoção dessa tecnologia.

Também foi constatado que o padrão espacial da adoção da tecnologia SFV residencial no Brasil não segue, necessariamente, os padrões espaciais de distribuição da renda e da população. E esta descoberta está em consonância com o trabalho realizado por Graziano e Gillingham (2015), conforme já discutido.

E a partir destas duas últimas constatações deriva sua principal contribuição prática. O presente trabalho contribui para o aperfeiçoamento de políticas públicas direcionadas para a promoção da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil, principalmente em termos regionais, dado o padrão desigual da adoção entre as diversas UF.

Os resultados também atestam que o emprego de políticas públicas de incentivo é essencial para promover a adoção e difusão da tecnologia solar fotovoltaica residencial no Brasil, contudo, a atual taxa de adoção, em torno de 0,17%, demonstra que tais políticas não estão sendo efetivas.

O presente trabalho também pode contribuir como ferramenta de gestão para os atores envolvidos neste mercado. Pois o padrão desigual da adoção dessa tecnologia pode ser visto como uma oportunidade para as empresas estabelecidas ampliarem seus negócios (principalmente em termos da expansão de sua área de atuação), bem como, propicia condições para o desenvolvimento de novos modelos de negócios (fazendas e comunidades solares por exemplo).

Com relação as limitações do presente trabalho, além do viés do pesquisador, fator inerente a qualquer pesquisa, estas limitações podem estar relacionadas a estratégia de pesquisa e ao modelo econométrico adotado.

Uma opção seria a realização de um estudo fundamentado em uma estratégia de pesquisa qualitativa, que poderia trazer novas informações, permitindo aprofundar o entendimento dos fatores determinantes, bem como, de outros aspectos relacionados a adoção de SFV residenciais no Brasil.

Todavia, em virtude de a ANEEL possibilitar o acesso a um banco de dados detalhado, contemplando todas as adoções de SFV residenciais no Brasil, o uso de uma estratégia de pesquisa quantitativa e de um modelo econométrico foi escolhido, pois permite uma visão abrangente dos fatores determinantes da adoção de SFV residenciais no Brasil.

Outra limitação está relacionada ao nível das informações analisadas, referente as UF. A análise ao nível das UF pode ter encoberto algumas relações importantes, que poderiam ter sido visualizadas caso fosse realizada uma análise mais desagregada ao nível dos municípios.

Com relação a propostas de pesquisas futuras, uma primeira consiste em empregar outro modelo econométrico - mantendo o mesmo enquadramento de pesquisa adotado para atender ao problema de pesquisa do presente estudo e a mesma estrutura da base de dados em painel.

Cabe destacar que no presente estudo foi utilizado o número de unidades de SFV residenciais instaladas por UF como variável dependente, que se caracteriza como um dado de contagem. Desse modo, a seleção da variável dependente e, além

disso, o fato desta apresentar-se superdispersa conduziu ao emprego de um modelo longitudinal de regressão não-linear binomial negativo para dados de contagem.

Nesse sentido, recomenda-se a realização de um estudo usando a taxa de adoção de SFV residenciais por UF e/ou a potência instalada (em Kw) por UF como variável dependente, o que resultaria no emprego de um modelo econométrico distinto do utilizado no presente estudo, pois, a variável dependente não seria mais um dado de contagem. Conseqüentemente, passaria a ser usado um modelo longitudinal linear de regressão para dados em painel curto.

E a mudança na variável dependente não altera somente o modelo econométrico empregado, os resultados e as relações entre as variáveis podem ser alterados. De maneira exemplificada, duas UF que apresentam para um dado período o mesmo número de unidades de SFV residenciais instaladas, podem não possuir (o mais provável) a mesma taxa de adoção e/ou a mesma potência instalada (em Kw).

Entende-se, que subjacente a escolha da variável dependente há várias formas de enxergar o mesmo fenômeno ou de responder a um determinado problema de pesquisa (que para o presente estudo refere-se aos fatores determinantes da adoção da tecnologia SFV residencial no Brasil). Logo, a realização de um estudo usando a taxa de adoção de SFV residenciais e/ou a potência instalada (em Kw) como variável dependente propiciaria novos entendimentos sobre o processo de adoção e conseqüente difusão da tecnologia SFV residencial no Brasil.

Como uma segunda proposta de pesquisa futura, cabe destacar que resultados mais assertivos acerca dos fatores determinantes da adoção da tecnologia SFV residencial no Brasil podem ser proporcionados por meio do emprego de modelos econométricos espaciais e em conjunto com informações geradas a partir de Sistemas de Informações Geográficas (GIS).

Nesse sentido, um estudo sobre o padrão espacial da adoção de sistemas fotovoltaicos residenciais no Brasil, através do uso de um modelo econométrico espacial, encontra-se em fase inicial de desenvolvimento pelo autor. Este estudo

considerará uma gama maior de variáveis explicativas, e com o emprego de um sistema gerenciador de banco de dados relacional e integrado a um sistema GIS possibilitará uma maior possibilidade de análises.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Cadernos temáticos ANEEL micro e minigeração distribuída, sistema de compensação de energia elétrica.** 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>> Acesso em: 12 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Consulta Pública nº 025/2019**, de 17 de outubro de 2019, Brasília. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=38556&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp>. Acesso em: 13 mai. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Nota Técnica nº 0078/2019**, de 07 de outubro de 2019, Brasília. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_auth=rwdexocb&p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideParticipacaoPublica=3366&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_javax.portlet.action=visualizarParticipacaoPublica>. Acesso em: 13 mai. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Nota Técnica nº 0062/2018**, de 25 de maio de 2018, Brasília. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas-antigas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=37685&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp>. Acesso em: 13 mai. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Nota Técnica nº 10**, de 08 de setembro de 2010, Brasília. Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica_0043_GD_SRD.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL).. **Outorgas e Registros de Geração: Unidades Consumidoras com Geração Distribuída**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2>. Acesso em: 10 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL).. **Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 003/2019-SRD/SGT/SRM/SRG/SCG/SMA/ANEEL**, de 07 de outubro de 2019, Brasília. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=38566&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp>. Acesso em: 13 mai. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012, Brasília. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 517**, de 11 de dezembro de 2012, Brasília. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 687**, de 24 de novembro de 2015, Brasília. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

AQUILA, G. *et al.*. An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 70, p. 1090-1098, 2017.

ALLAN, G. J.; MCINTYRE, S. G. Green in the heart or greens in the wallet? The spatial uptake of small-scale renewable technologies. **Energy Policy**. v.102, p. 108-115, 2017.

ARTS J.W.C.; FRAMBACH R.T.; BIJMOLT T.H.A. Generalizations on consumer innovation adoption: A meta-analysis on drivers of intention and behavior. **International Journal of Research in Marketing**. v. 28, p. 134-144, 2011.

BALCOMBE, P.; RIGBY, D.; AZAPAGIC, A. Motivations and barriers associated with adopting microgeneration energy technologies in the UK. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.22, p. 655-666, 2013.

BALTA-OZKAN; YILDIRIM, J.; CONNOR, P. M. Regional distribution of photovoltaic deployment in the UK and its determinants: A spatial econometric approach. **Energy Economics**. v. 51, p. 417-429, 2015.

BELLIDO, M. H. *et al.*. Barriers, challenges and opportunities for microgrid implementation: The case of Federal University of Rio de Janeiro. **Journal of Cleaner Production**. v. 188, p. 203-216, 2018.

BEST, R.; BURKE, P. J.; NISHITATENO, S. Understanding the determinants of rooftop solar installation: evidence from household surveys in Australia. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**. v. 63, p. 922-939, 2019.

BOLLINGER B.; GILLINGHAM K. Peer effects in the diffusion of solar photovoltaic panels. **Marketing Science**. v. 31, p. 900-912, 2012.

BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 abr. 2002.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Financiamento para geração de energia solar ganha novas condições 2018**. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/ultimas-noticias/-/asset_publisher/ZSVIyvX09vib/content/financiamento-para-geracao-de-energia-solar-ganha-novas-condicoes> Acesso em: 17 nov. 2018.

BRASIL. **Contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF, 2015 Disponível em <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL_INDC_portugues_FINAL.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

BROWN, D.; HALL, S.; DAVIS, M. E. Prosumers in the post subsidy era: an exploration of new prosumer business models in the UK. **Energy Policy**. v.135, 2019.

BRYMAN, A.; BELL, E. **Business research methods**. 3. ed. New York: Oxford University Press, 2011.

BUSIC-SONTIC, A.; FUERST, F. Does your personality shape your reaction to your neighbours' behaviour? A spatial study of the diffusion of solar panels. **Energy and Buildings**. v. 158, p. 1275-1285, 2018.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. Count Panel Data. In: BALTAGI, B. H. *et al.* (Org.). **The Oxford handbook of panel data**. New York: Oxford, 2013. p. 233-257.

CARDOSO DE LIMA, G. S. *et al.* Sustainable development enhanced in the decision process of electricity generation expansion planning. **Renewable Energy**. v. 123, p. 563-577, 2018.

CARSTENS, D. D. D. S.; CUNHA, S. K. D. Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. **Energy Policy**. v. 125, p. 396-404, 2019.

CASTANEDA, M.; ZAPATA, S.; ARISTIZABAL, A. Assessing the Effect of Incentive Policies on Residential PV Investments in Colombia. **Energies**. v.11, n.2614, 2018.

CHILD, M. *et al.* Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100% renewable energy system in Europe. **Renewable Energy**. v. 139, p. 80-101, 2019.

CHOWDHURY, S.; SUMITA, U.; ISLAM, A.; BEDJA, I. Importance of policy for energy system transformation: Diffusion of PV technology in Japan and Germany. **Energy Policy**. v. 68, p. 285-293, 2014.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA (COPEL). **Micro e Minigeração – Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FB57635122BA32D4B03257B630044F656>> Acesso em: 07 fev. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. **Convênio ICMS 16**. Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15> Acesso em: 22 nov. 2018.

CHRISTENSEN, C. M.; BOWER, J. L. Customer power, strategic investment, and failure of leading firms. **Strategic Management Journal**. v. 17, p. 197-218, 1996.

DHARSHING, S. Household dynamics of technology adoption: A spatial econometric analysis of residential solar photovoltaic (PV) systems in Germany. **Energy Research & Social Science**. v. 23, p. 113-124, 2017.

DE FARIA, H.; TRIGOSO, F. B. M.; CAVALCANTI, J. A. M. Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.75, p. 469-475, 2017.

DE GROOTE, O.; PEPERMANS, G.; VERBOVEN, F. Heterogeneity in the adoption of photovoltaic systems in Flanders. **Energy Economics**. v. 59, p. 45-57, 2016.

DONG, C. *et al.*. What is the probability of achieving the carbon dioxide emission targets of the Paris Agreement? Evidence from the top ten emitters. **Science of the Total Environment**. v. 622-623, p. 1294-1303, 2018.

DONG, C.; SIGRIN, B.; BRINKMAN, G. Forecasting residential solar photovoltaic deployment in California. **Technological Forecasting and Social Change**. v. 117, p. 251-265, 2017.

DOS SANTOS, L.; CANHA, L.; BERNARDON, D. Projection of the diffusion of photovoltaic systems in residential low voltage consumers. **Renewable Energy**. v. 116, p. 384-401, 2018.

DRANKA, G. G.; FERREIRA, P. Planning for a renewable future in the Brazilian power system. **Energy**. v.164, p. 496-511, 2018.

DUSEK, V. **Philosophy of technology: an introduction**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. Disponível em: <http://aleteya.cs.buap.mx/~jlavalle/filMetInvComp/Philosophy_of_Technology__An_Introduction.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE).. **Balço Energético Nacional**, 2019. Disponível em:<<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf>> Acesso em: 06fev. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Energia Renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/livro-sobre-energia-renovavel-hidraulica-biomassa-eolica-solar-oceânica>> Acesso em: 10 jan. 2020.

EUROPEAN COMMISSION. Communication from the commission. The European Green Deal. In: **EUR-Lex**, 11 dez. 2019. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/TXT/?uri=CELEX:52019DC0673>>

lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640>. Acesso em: 15 jan. 2020.

FAGERBERG, J. Innovation: A Guide to the Literature In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D. C.; NELSON, R. R. (Org.). **The Oxford handbook of innovation**. Oxford: Oxford University Press. p. 1-27, 2004. Disponível em: <<https://www.nber.org/papers/w10212>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

FÁVERO, L. P. L.; BELFIORE, P. P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel, SPSS e Stata**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FUNKHOUSER, E.; BLACKBURN, G.; MAGEE, C.; RAI, V. Business model innovations for deploying distributed generation: The emerging landscape of community solar in the U.S. **Energy Research & Social Science**. v. 10, p. 90-101, 2015.

GARLET T.B. *et al.* Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 111, p. 157-169, 2019.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
GRAZIANO, M.; FIASCHETTI, M.; ATKINSON-PALOMBO, C. Peer effects in the adoption of solar energy technologies in the United States: An urban case study. **Energy Research & Social Science**. v. 48, p. 75-84, 2019.

GRAZIANO M.; GILLINGHAM K. Spatial patterns of solar photovoltaic system adoption: The influence of neighbors and the built environment. **Journal of Economic Geography**. v.15, p. 815-839, 2015.

GUCCIARDI, G. C. Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design and impact. **Utilities Policy**. v. 49, p.104-115, 2017.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D.C. **Econometria Básica**, 5. ed. São Paulo: AMGH Editora LTDA, 2011.

HÄGERSTRAND, T. **A propagação de ondas de inovação**. Trad. Melissa Steda; Wagner Nabarro. Boletim Campineiro de Geografia, v. 3, n. 2, p. 348-368, 2013.

HALL, B. H. Innovation and diffusion. In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D. C.; NELSON, R. R. (Org.). **The Oxford handbook of innovation**. Oxford: Oxford

University Press. p. 1-48, 2004. Disponível em: <<https://www.nber.org/papers/w10212>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

HSIAO, C. **Analysis of panel data**. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

INHOFFEN, J.; SIEMROTH, C.; ZAHN, P. Minimum prices and social interactions: Evidence from the German renewable energy program. **Energy Economics**. v. 78, p. 350-364, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html?edicao=20652>> Acesso em: 30 jan. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2019**. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Estatísticas mundiais de energia**. Disponível em: <<https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/world-energy-balances-and-statistics>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper)**. Abu Dhabi, 2019. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

ISLAM T. Household level innovation diffusion model of photo-voltaic (PV) solar cells from stated preference data. **Energy Policy**. v. 65, p. 340-350, 2014.

JAYAWEERA, N.; JAYASINGHE, C. L.; WEERASINGHE, S. N. Local factors affecting the spatial diffusion of residential photovoltaic adoption in Sri Lanka. **Energy Policy**. v. 119, p. 59-67, 2018.

JOSHI, L, P. *et al.*. Adoption of solar photovoltaic lighting in rural India: Role of localization strategy. **Energy and Buildings**. v. 202, p. 1-4, 2019.

KAPOOR, K. K.; DWIVEDI, Y. K. Sustainable consumption from the consumer's perspective: Antecedents of solar innovation adoption. **Resources, Conservation, and Recycling**. v.152; p. 1-12, 2020.

KARAKAYA, E.; SRIWANNAWIT, P. Barriers to the adoption of photovoltaic systems: The state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 49, p. 60-66, 2015.

KASTNER, I.; STERN, P. C. Examining the decision-making processes behind household energy investments: A review. *Energy Research & Social Science*. v. 10, p. 72-89, 2015.

KERLINGER, F. N. **Metodologia da pesquisa em ciencias sociais: um tratamento conceitual**. 8 ed. São Paulo: EPU, 1988.

KURDGELASHVILI, L. *et al.*. An empirical analysis of county-level residential PV adoption in California. *Technological Forecasting & Social Change*. v. 139, p. 321-333, 2019.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LEMES JUNIOR, A. B.; RIGO, C. M.; CHEROBIM, A. P. M. S. **Administração financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras. Aplicações e casos nacionais**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2016.

LOPES, Y.; FERNANDES, N. C.; MUCHALUAT-SAADE, D. C. **Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação. Livro de Minicursos do SBRC 2015**. 1. ed., 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) - Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

MÜLLER, S.; RODE, J. The adoption of photovoltaic systems in Wiesbaden, Germany. *Economics of Innovation and New Technology*. v. 22, p. 519-535, 2013.

NELSON, R.R. Economic Development From the Perspective of Evolutionary Economic Theory. **Conferência Globelics**. 2006. Disponível em: <http://policydialogue.org/files/events/background-materials/Nelson_EconDevfromEvoEconTheory.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2020.

NELSON, R. R.; PETERHANSL, A.; SAMPAT, B. Why and how innovations get adopted: a tale of four models. *Industrial and Corporate Change*. v. 13, n. 5, p. 679-699, 2004.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. In search of useful theory of innovation. **Research Policy**. v. 6, p. 36-76, 1977.

OCDE. **Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation**. 4.ed. Paris: OECD Publishing, 2018.

OMRI, A. Technological innovation and sustainable development: Does the stage of development matter? **Environmental Impact Assessment Review**. v. 83, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Global sustainable development report 2019: the future is now – science for achieving sustainable development**. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/24797GSDR_report_2019.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

PEREIRA, E. *et al.*. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed: 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acesso em: 12 out. 2019.

PERES, R.; MULLER, E.; MAHAJAN, V. Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions. **International Journal of Research in Marketing**. v.27, p. 91-106, 2010.

PONCE-JARA, M. *et al.*. Smart Grid: Assessment of the past and present in developed and developing countries. **Energy Strategy Reviews**. v.18, p. 38-52, 2017.
POSSAS M.L. Economia evolucionária neo-schumpeteriana: Elementos para uma integração micro-macrodinâmica. **Estudos Avançados**. v. 22, n. 63, p. 281-305, 2008.

PUNIA SINDHU, S.; NEHRA, V.; LUTHRA, S. Recognition and prioritization of challenges in growth of solar energy using analytical hierarchy process: Indian outlook. **Energy**. v.100, p.332-348, 2016.

RADOMES, A. A.; ARANGO, S. Renewable energy technology diffusion: an analysis of photovoltaic-system support schemes in Medellín, Colombia. **Journal of Cleaner Production**. v. 92, p. 152-161, 2015.

RAMÍREZ, F. J.; HONRUBIA-ESCRIBANO, A.; GÓMEZ-LÁZARO, E.; PHAM, D. T. Combining feed-in tariffs and net-metering schemes to balance development in

adoption of photovoltaic energy: Comparative economic assessment and policy implications for European countries. **Energy Policy**. v. 102, p. 440-452, 2017.

REN21. **Renewables 2018 – Global Status Report**. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2020.

REN21. **Renewables 2019 – Global Status Report**. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2020.

RODE J.; WEBER A. Does localized imitation drive technology adoption? A case study on rooftop photovoltaic systems in Germany. **Journal of Environmental Economics and Management**. v. 78, p. 38-48, 2016.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 5. ed. Nova York: Free Press, 1983.

ROSENBERG, N. **Por dentro da caixa preta: tecnologia e economia**. Tradução: José Emílio Maiorino. Campinas: Editora da Unicamp, 2006. Título Original: Inside the Black Box. 1982.

SCHAFFER, A. J.; BRUN, S. Beyond the sun - Socioeconomic drivers of the adoption of small-scale photovoltaic installations in Germany. **Energy Research & Social Science**. v. 10, p. 220-227, 2015.

SCHELLY C. Residential solar electricity adoption: What motivates, and what matters? A case study of early adopters. **Energy Research and Social Science**. v. 2, p. 183-191, 2014.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do Desenvolvimento Econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. São Paulo: Editora Nova Cultural Ltda, 1997.

SHAKEEL, S. R.; RAHMAN, S. U. Towards the establishment of renewable energy technologies' market: An assessment of public acceptance and use in Pakistan. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**. v 10., 2018.

SICSÚ, A. B.; ROSENTHAL, D. Apresentando um texto paradigmático. **Revista brasileira de inovação**, v. 5, n. 1, p. 9-32, 2006. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8648922>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

SIMPSON G.; CLIFTON J. Testing Diffusion of Innovations Theory with data: Financial incentives, early adopters, and distributed solar energy in Australia. **Energy Research and Social Science**. v.29, p. 12-22, 2017.

SNAPE J.R. Spatial and temporal characteristics of PV adoption in the UK and their implications for the smart grid. **Energies**. v.9, n. 210, p. 1-18, 2016.

SOVACOOOL, B. K. What are we doing here? Analyzing fifteen years of energy scholarship and proposing a social science research agenda. **Energy Research & Social Science**. v.1, p. 1-29, 2014.

SRIWANNAWIT, P.; SANDSTRÖM, U. Large-scale bibliometric review of diffusion research. **Scientometrics**. v.102, p. 1615-1645, 2015.

STAUCH, A.; VUICHARD, P. Community solar as an innovative business model for building-integrated photovoltaics: An experimental analysis with Swiss electricity consumers. **Energy & Buildings**. v. 204, 2019.

STRAUB, E. Understanding Technology Adoption: Theory and Future Directions for Informal Learning. **Review of Educational Research**. v. 79, p. 625-649, 2009.

SUMATHI, S.; KUMAR, L. A.; SUREKHA, P. **Solar PV and wind energy conversion systems an introduction to theory, modeling with Matlab/Simulink, and the role of soft computing techniques**. 1. ed. Springer: Suíça, 2015.

SZMRECSÁNYI, T. Joseph A. Schumpeter - Economic Theory and Entrepreneurial History. **Revista Brasileira de Inovação**. v. 1, n. 2, p. 201-224, 2002. Disponível em: < <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8648859> > Acesso em: 18 abr 2018.

TIDD, Joe; BESSANT, John. R.; PAVITT, Keith. **Gestão da inovação**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

URMEE, T.; Md, A. Social, cultural and political dimensions of off-grid renewable energy programs in developing countries. **Renewable Energy**. v. 93, p. 159-167, 2016.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CLIMATE CHANGE CONVENTION. **Paris agreement, decision 1/CP.17**. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/acordodeparis/> >. Acesso em: 15 jan. 2020.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Emissions Gap Report 2019**. Nairobi, 2019. Disponível em: <<https://www.unenvironment.org/pt-br/resources/relatorio-sobre-lacuna-de-emissoes-2019>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

VAN OORSCHOT, J. A.; HOFMAN, E.; HALMAN, J. I. A bibliometric review of the innovation adoption literature. **Technological Forecasting and Social Change**. v. 134, p. 1-21, 2018.

VASSEUR, V.; KEMP, R. The adoption of PV in the Netherlands: A statistical analysis of adoption factors. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**. v. 41, p. 483-494, 2015.

VAZQUEZ, M.; HALLACK, M. The role of regulatory learning in energy transition: The case of solar PV in Brazil. **Energy Policy**. v. 114, p. 465-481, 2018.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern applied statistics with S**. New York: Springer, 2011.

VILACA GOMES P. et al. Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues. **Energy Policy**. v. 115, p. 199-206, 2018.

WALTERS J.; KAMINSKY J.; GOTTSCHAMER L. A systems analysis of factors influencing household solar PV adoption in Santiago, Chile. **Sustainability**. v.10, n. 4, p. 1-17, 2018.

WEJNERT, B. Integrating Models of Diffusion of Innovations: A Conceptual Framework. **Annual Review of Sociology**. v. 28, p. 297-326, 2002.

WOLSKE, K. S.; STERN, P. C.; DIETZ, T. Explaining interest in adopting residential solar photovoltaic systems in the United States: Toward an integration of behavioral theories. **Energy Research & Social Science**. v.25, p. 134-151, 2017.

ZANDER, K. K. *et al.*. Preferences for and potential impacts of financial incentives to install residential rooftop solar photovoltaic systems in Australia. **Journal of Cleaner Production**. v. 230, p. 328-338, 2019.

ZHANG, H. *et al.*. Data-driven agent-based modeling, with application to rooftop solar adoption. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**. v. 30, n. 6, p. 1023-1049, 2016.

ZHANG, H.; VOROBAYCHIK, Y. Empirically grounded agent-based models of innovation diffusion: a critical review. **Artificial Intelligence Review: An International Science and Engineering Journal**. v. 52, p. 707-741, 2019.