

**Uma estimativa para geração de energia solar pelas famílias de baixa renda no
município de Montes Claros/MG**

Montes Claros - MG

Março/2022

Victor Silva Menezes

**Uma estimativa para geração de energia solar pelas famílias de baixa renda no município de
Montes Claros/MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico e Estratégia Empresarial – PPGDEE da Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES para exame de qualificação de mestrado.

Linha de pesquisa: Desenvolvimento Econômico

Orientador: Prof. Dr. Luiz Paulo de Fontes Rezende

Coorientador: Prof. Ms. Cleuber Vieira dos Santos da Silva

Montes Claros - MG

Março/2022

Victor Silva Menezes

**Uma estimativa para geração de energia solar pelas famílias de baixa renda no município de
Montes Claros/MG**

Banca examinadora

Professor Dr. Luiz Paulo Fontes de Rezende (Orientador) – Universidade Estadual de Montes de
Claros – Unimontes.

Professor. Ms. Cleuber Vieira dos Santos da Silva (Coorientador) – Universidade Estadual de Montes de
Claros – Unimontes.

Professora Dra. Camila Lins Rodrigues (membro interno) – Universidade Estadual de Montes de
Claros – Unimontes.

Professor Dr. Nivalde José de Castro (membro externo) – Universidade federal do Rio de Janeiro
(UFRJ)

Agradecimento

À Deus por me guiar nesta caminhada.

Aos meus orientadores, Luiz Paulo de Fontes Rezende e Cleuber Vieira dos Santos da Silva, pelo incentivo e contribuição para a minha formação como pesquisador de conhecimento.

As professoras Luciana Maria Costa Cordeiro, Luciene Rodrigues e Tânia Marta Maia Fialho, por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

A Camila Rodrigues, ao Gabriel Konzen, a Lorrane Câmara, ao Murilo Maia e ao Nivalde de Castro pelas contribuições no desenvolvimento do presente trabalho.

Aos meus familiares, amigos e colegas pelo apoio.

Resumo

O setor elétrico vem passando por transformações expressivas, que estão alterando o seu paradigma tradicional, marcado pelas alterações do papel passivo do consumidor final em um consumidor ativo, do fluxo unidirecional de energia elétrica para o fluxo bidirecional e pela geração centralizada à descentralizada. O conjunto de recursos capazes de transformar o paradigma operativo do setor elétrico é denominado Recursos Energéticos Distribuídos (RED). Os RED são definidos como tecnologias de geração, armazenamento de energia elétrica e redução do consumo, normalmente junto a unidades consumidoras. Dentre eles, podemos destacar: a Geração distribuída (GD) que foi o foco deste estudo. Desde 2012, quando a população brasileira passa a ter a possibilidade de geração própria de energia, deve-se destacar o desenvolvimento do ambiente regulatório do estado de Minas Gerais, estado brasileiro com maior capacidade instalada, além de ser um modelo para o restante do Brasil. A energia solar fotovoltaica representou 90,4% da Micro e Mini Geração Distribuída em 2020. A forte incidência solar em algumas regiões do país são fatores que favorecem a geração deste tipo de energia, assim como regiões de baixo índice pluviométrico. Assim, considerando o estado de Minas Gerais, temos um maior potencial de geração nas regiões Norte e Nordeste do estado, sendo a cidade de Montes Claros, cidade polo da região, escolhida para a análise em questão. O presente estudo trata-se de uma análise descritiva do consumo e possível geração energética da classe de baixa renda inscrita no programa da tarifa social na cidade de Montes Claros/MG. Já que esta parcela da população não tem feito parte da transição energética representando apenas 4% do total de energia solar instalada na cidade. O cálculo da geração solar foi através do custo nivelado de energia, o LCOE. Para isso, foi utilizado o software PVSyst definindo as coordenadas na cidade de Montes Claros. Em seguida, uma análise de payback simples verificando se o período de retorno do projeto para as famílias ocorra dentro do período de geração dos painéis, 25 anos. Na análise desenvolvida, pode-se afirmar, pela investigação que 97% dos inscritos na tarifa social apresentavam retorno do investimento dentro de um período aceitável, de 5 a 8 anos. Assim, é possível uma política pública de acessibilidade desta parte da população, confirmando a hipótese desta investigação.

Palavras-Chave: Geração Distribuída, Comunidade de Energia Renovável, Geração Solar Fotovoltaica, LCOE, Payback simples, Política Pública de Inclusão Social.

Abstract

The electricity sector has been undergoing significant transformations, which are altering its traditional paradigm, marked by changes in the passive role of the final consumer in an active consumer, from unidirectional flow of electricity to bidirectional flow and from centralized to decentralized generation. The set of resources capable of transforming the operational paradigm of the electric sector is called Distributed Energy Resources (RED). RED are defined as technologies for the generation, storage of electricity and consumption reduction, usually with consumer units. Among them, we can highlight: Distributed Generation (DG) which was the focus of this study. Since 2012, when the Brazilian population started to have the possibility of generating its own energy, the development of the regulatory environment in the state of Minas Gerais, the Brazilian state with the largest installed capacity, should be highlighted, in addition to being a model for the rest of Brazil. . Photovoltaic solar energy accounted for 90.4% of the Distributed Micro and Mini Generation in 2020. The strong solar incidence in some regions of the country is factors that favor the generation of this type of energy, as well as regions with low rainfall. Thus, considering the state of Minas Gerais, we have a greater generation potential in the North and Northeast regions of the state, and the city of Montes Claros, the region's hub city, was chosen for the analysis in question. This study is a descriptive analysis of consumption and possible energy generation of the low-income class enrolled in the social tariff program in the city of Montes Claros/MG. Since this part of the population has not been part of the energy transition, representing only 4% of the total installed solar energy in the city. The calculation of solar generation was based on the leveled cost of energy, the LCOE. For this, the PVSyst software was used to define the coordinates in the city of Montes Claros. Then, a simple payback analysis checking if the payback period of the project for the families occurs within the generation period of the panels, 25 years. In the analysis developed, it can be affirmed, through the investigation, that 97% of those enrolled in the social tariff had a return on investment within an acceptable period, from 5 to 8 years. Thus, a public policy of accessibility of this part of the population is possible, confirming the hypothesis of this research.

Keywords: Distributed Generation, Renewable Energy Community, Photovoltaic Solar Generation, LCOE, Simple Payback, Public Policy on Social Inclusion.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Consumo elétrico e energético por domicílio (EPE, 2020).....	8
Figura 2 - Evolução da capacidade instalada brasileira por fonte (%) - 1974 a 2018 (EPE, 2019).....	8
Figura 3 - Base da transição energética (EPE, 2020).....	9
Figura 4 - Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuídas (EPE, 2019). ...	12
Figura 5 - Micro e minigeração distribuída em 2020 (EPE, 2020).....	13
Figura 6 - Capacidade instalada da geração distribuída em 2029 (EPE, 2019).....	13
Figura 7 - Evolução da MMSGD (EPE, 2020).	14
Figura 8 - Capacidade instalada da MMSGD por UF (EPE, 2020).....	14
Figura 9 - Custo de geração de energia por fonte (CCEE, 2019).	15
Figura 10 - Evolução do ambiente regulatório em MG (Pereira, 2019).	16
Figura 11 - Potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017).	22
Figura 12 - Radiação solar média diária anual em Minas Gerais (Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, 2016).....	23
Figura 13 - Percentual da população no Cadastro Único (IMRS, 2019).	25
Figura 14 - Mesorregiões de Minas Gerais (Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado, 2011). 26	
Figura 15 - Sistemas solar fotovoltaicos instalados na cidade de Montes Claros (EPE, 2019).....	28
Figura 16 - Sistemas de GD instalados por quantil de renda (EPE, 2019).	29
Figura 17 - Método de pesquisa em fluxograma (Pesquisa Própria, 2022).	36
Figura 18 - Evolução da tarifa de energia (Aneel, 2019).....	40
Figura 19 - Composição tecnológica da matriz de MMSGD (PNE 2050, 2020).....	43
Figura 20 - Características do grupo FV (PVSyst, 2021).....	49
Figura 21 - Trajetória aparente do sol no local de estudo (PVSyst, 2021).	50
Figura 22 - Diagrama das perdas (PVSyst, 2021).....	52
Figura 23 - Energia diária injetada na rede (PVSyst, 2021).	53
Figura 24 - Fatores de produção normalizados (PVSyst, 2021).	53

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Média anual de radiação por mesorregião de Minas Gerais.....	24
Tabela 2 - Número de famílias com renda per capita até 1/2 salário mínimo.	27
Tabela 3 - Mudanças nas estruturas da política de inovação.	31
Tabela 4 - Tarifas de energia do grupo B.....	38
Tabela 5 - Desconto de acordo com faixa de consumo (Cemig, 2021).	39
Tabela 6 - Projeção de MMGD no horizonte de 2050 (PNE 2050, 2020).....	43
Tabela 7 - Médias tarifárias por faixa de consumo.....	45
Tabela 8 - Estimativa do valor pago com e sem descontos.	45
Tabela 9 - Média de consumo mensal por faixa de consumo.	46
Tabela 10 - Média de consumo mensal por faixa de consumo.	47
Tabela 11 - Desempenho do sistema em incidência e geração de energia (PVSyst, 2021).....	50
Tabela 12 - Perdas inerentes ao sistema (PVSyst, 2021).....	54
Tabela 13 - Projeção do custo de um projeto de uma usina residencial de energia fotovoltaica na cidade de Montes Claros.	55
Tabela 14 - Cálculo do payback simples, faixa de consumo até 30kWh.....	55
Tabela 15 - Cálculo do payback simples, faixa de consumo entre 31 e 100 kWh.....	57
Tabela 16 - Cálculo do payback simples, faixa de consumo entre 101 e 220 kWh.....	58
Tabela 17 - Cálculo do payback simples, faixa de consumo maior do que 220 kWh.	59
Tabela 18 - Resumo da análise financeira de uma usina residencial em Montes Claros/MG por faixa de consumo.	62

Lista de Siglas e Abreviaturas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

CGH - Central Geradora Hidrelétrica

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FV - Fotovoltaico

GD - Geração Distribuída

GEE - Gases de Efeito Estufa

ICA - International Cooperative Alliance

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IDENE - Instituto de Desenvolvimento do Norte e Nordeste de Minas Gerais

IGPM - Índice Geral de Preços - Mercado

kV - Quilovolt

kWh - Quilowatt-hora

LCOE - Levelized Cost of Energy

MME - Ministério de Minas e Energia

MMGD - Micro e Mini Geração Distribuída

MW - Megawatt

PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas

PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia

PNE - Plano Nacional de Energia

RD - Resposta da Demanda

RED - Recursos Energéticos Distribuídos

RN - Resolução Normativa

SEB - Setor Elétrico Brasileiro

SECAD - Secretaria Nacional do Cadastro Único

SEDINOR - Secretaria de Estado de Desenvolvimento e Integração do Norte e Nordeste de Minas Gerais

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

TSEE - Tarifa Social de Energia Elétrica

VE - Veículos Elétricos

Sumário

Resumo.....	v
Abstract	vi
Lista de Ilustrações.....	vii
Lista de Tabelas	viii
Lista de Siglas e Abreviaturas.....	ix
Sumário	x
Introdução	1
2. Uma análise do setor elétrico do Brasil e política pública para população de baixa renda	6
2.1 Setor elétrico brasileiro	6
2.2 Reorganização do setor elétrico e a Geração Distribuída	10
2.3 Resolução normativa para estímulos a geração distribuída vigente no Brasil	14
2.4 Comunidades de energia renovável	17
2.5 Definição do local de estudo	21
2.6 Transição Sociotecnológica para a geração distribuída	29
3. Metodologia	35
3.1 Estimativa do valor pago e descontos referentes a tarifa social.....	36
3.2 Estimativa da geração própria de energia	40
3.3 Avaliação dos custos da implantação do projeto	44
4. Resultados	44
4.1 Análise do consumo dos inscritos na tarifa social em Montes Claros/MG	44
4.2 Análise da possível geração de energia solar fotovoltaica.....	48
4.3 Análise financeira	55
5. A instalação de usina residencial de energia como política pública de geração de renda e combate à pobreza	60
6. Considerações finais e as contribuições da pesquisa	63
7. Referências.....	65

Introdução

Investigar a geração de energia solar fotovoltaica¹ é antes de tudo compreender esta fonte energética numa dimensão social e política que busca contribuir para a redução da pobreza, melhoria da qualidade de vida e satisfação das necessidades básicas da população, oferecendo princípios e orientações para o desenvolvimento da sociedade, considerando a apropriação e a transformação sustentável dos recursos ambientais. Nessa perspectiva é possível obter, também, o desenvolvimento econômico através de um manejo mais racional dos recursos naturais e da utilização de tecnologias mais eficientes e menos poluentes, conforme Martins *et al* (2011).

A discussão sobre a utilização dos recursos naturais para produção de bens e serviços, pela perspectiva econômica, pode ser mais bem compreendida quando adotada a premissa de que as organizações tendem a explorar seus recursos em progressão infinitamente superior à capacidade de regeneração do planeta. Essa realidade cria um passivo socioambiental por conta de decisões de uso dos recursos naturais realizadas por uma visão econômico-financeira de curto prazo (Leite; Silva, 2012).

Estudos sobre mudanças climáticas no meio ambiente provocadas pela utilização de combustíveis fósseis mostram que o fator de poluição dessas fontes de energia passa a ganhar relevância. Os combustíveis fósseis emitem grandes quantidades de gás carbônico que levaram a fenômenos tais como o efeito de estufa, a chuva ácida, a diminuição da camada de ozônio e o aumento do nível do mar, entre outros. Assim, cada vez mais faz-se necessário a implantação de políticas públicas que buscam melhorar a eficiência energética, reduzir os efeitos nocivos dos combustíveis fósseis e a dependência energética deste tipo de energia (Cuenca Barella, 2014).

Diante de cenários como este, tem crescido a pressão sobre a esfera pública no que se refere às políticas públicas sobre geração de energia. Ao longo dos últimos anos, o papel do governo tem sido constantemente desafiado nas diversas áreas, com uma crescente participação dos cidadãos, principalmente, das partes interessadas durante o planejamento e implantação de programas sociais. Ao mesmo tempo em que questões complexas e especializadas surgem neste contexto. A demanda por políticas que provoquem mudanças nas condições sociais da população é uma realidade, assim como uma maior capacidade e habilidade dos gestores e formuladores de políticas (Castro, 2013).

O setor energético é estratégico para o desenvolvimento de qualquer país, por ser essencial a toda atividade econômica, assim como para garantir a qualidade de vida da população. Os

¹ O efeito fotovoltaico ocorre quando as partículas de luz solar (fótons) colidem com os átomos de silício presentes no painel solar. Esta colisão gera um deslocamento dos elétrons, que cria uma corrente elétrica contínua.

investimentos nessa área se mostram necessários, pois contribuem para o aprimoramento e para o atendimento das demandas de serviços de um país (Chang, 2003).

Considerando a matriz elétrica brasileira, o consumo de energia elétrica em 2020, segundo o Balanço Energético Nacional, foi de 540,2 TWh, montante 1% inferior ao registrado em 2019 (EPE, 2021). Segundo as projeções do Plano Nacional de Energia 2050, o cenário é de ampla incerteza em relação a tecnologias, hábitos, comportamentos, modelos de negócio, regulação, entre outros. Mesmo assim, o consumo de energia elétrica em 2050 se situará entre 870 e 2.100 TWh/ano (EPE, 2020).

Da matriz elétrica brasileira em 2020, 84,8% foram provenientes de fontes renováveis; destacando a fonte hídrica com 65,2%. Por outro lado, a geração solar representou apenas 1,66% do total da matriz. Apesar de fechar o ano de 2020 com um aumento na potência instalada de 32,9% em relação ao ano anterior, ressaltando que em 2019 houve um aumento de 37,6% em relação ao ano de 2018, conforme a EPE (2021).

Os dados supracitados mostram o fator positivo da forte participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira. Porém, tais fontes são sazonais, ou seja, alterações climáticas podem variar a produção de energia aumentando o grau de incerteza do sistema, o que mesmo com o planejamento correto não pode ser completamente neutralizado. Principalmente, na atual situação de dependência hídrica, 65,2% do total da matriz, faz com que em épocas de crise hídrica tem-se a perda da capacidade de regularização dos reservatórios. Assim, o investimento em novas fontes de energia precisa ocorrer de forma a diversificar a matriz elétrica.

O setor elétrico vem passando por transformações expressivas, que estão alterando o seu paradigma tradicional, marcado pelas alterações do papel passivo do consumidor final em um consumidor ativo, do fluxo unidirecional de energia elétrica para o fluxo bidirecional e pela geração centralizada à descentralizada (Xenias et al., 2015; Jin et al., 2018; Dileep, 2020).

O conjunto de recursos capazes de transformar o paradigma operativo do setor elétrico são denominados Recursos Energéticos Distribuídos (RED). Os RED são definidos como tecnologias de geração, armazenamento de energia elétrica e redução do consumo, normalmente junto a unidades consumidoras. Dentre eles, podemos destacar: Geração distribuída (GD); Veículos elétricos (VE) e estrutura de recarga; Armazenamento de energia; Resposta da demanda (RD) e Eficiência energética.

Neste estudo o foco será a Geração Distribuída. Assim sendo, a partir de 2012, o consumidor brasileiro passou a ter a possibilidade de gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da geração distribuída de energia elétrica, inovação que podem aliar autossustentabilidade, consciência socioambiental e economia financeira. (ANEEL, 2012; EPE, 2019).

A geração distribuída no Brasil funciona de acordo com o sistema conhecido como *Net Metering*. No qual, a energia injetada na rede gera créditos ao consumidor reduzindo sua conta de eletricidade. O faturamento acontece pelo consumo líquido e a rede é utilizada como bateria virtual.

Os custos de geração de energia apresentados neste parágrafo são praticados em leilões de energia com geração centralizada, porém servem como parâmetro de custo da geração distribuída. Segundo dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), em 2019 o custo de geração de energia solar correspondeu a R\$79/MWh, sendo o mais baixo quando comparado com as outras fontes utilizadas no Brasil, baseado no preço médio dos leilões de energia. Em seguida, temos a geração eólica, ao custo de R\$97/MWh; a hidrelétrica, custando cerca de R\$150/MWh e a biomassa e o gás natural, com valores próximos a R\$ 190/MWh. Por fim, temos a energia térmica custando R\$225/MWh, sendo aquela que mais onera atualmente o custo de energia (EPE, 2019).

Além de ser a de menor custo, a geração solar tem a vantagem de ser modular o que se traduz na sua predominância na geração distribuída, representando 97,7% do total instalado, ou seja, a mais acessível para o consumidor que deseja produzir sua própria energia na sua residência, comércio, indústria, propriedade rural ou prédio público. Por fim, outra vantagem está na produção e consumo próximos, o que pode diminuir as perdas técnicas com transmissão e distribuição, que somadas representam 7,5% da energia gerada atualmente (Absolar, 2021).

No contexto da geração distribuída, a geração própria de energia por pessoas em comunidades de baixa renda vem sendo defendida por ativistas de tecnologia alternativa, como uma forma de implantar tecnologias de fornecimento de energia renovável. Além disso, buscam enfatizar temas como a autossuficiência, determinação local, envolvimento e empoderamento (Hoffman and High-Pippert, 2005).

Podemos citar, por exemplo, o trabalho desenvolvido pela Grameen Shakti em Bangladesh. Esse negócio social tem a finalidade de vender painéis de energia solar, especialmente para a população pobre rural. Os beneficiados podem pagar os seus painéis solares em taxas mensais durante um período de tempo. O projeto busca dar a essa população acessibilidade a energia, onde menos de 15% da população do país está conectado ao sistema nacional de energia. Segundo Yunus (1999), “As fontes de energia renováveis e sustentáveis possuem um valor econômico maior nas regiões de pobreza do que qualquer outro lugar do mundo.”

O uso mais abrangente da geração solar, devido ao seu baixo custo, é favorável ao perfil da população brasileira. Cerca de 140 milhões de brasileiros (67%) fazem parte do programa da Secretaria Nacional do Cadastro Único - SECAD. Instrumento que identifica e caracteriza as famílias de baixa renda, permitindo que o governo conheça melhor a realidade socioeconômica dessa população. Dentre os programas sociais que utilizam o Cadastro Único, destacamos a Tarifa Social de Energia Elétrica, que disponibiliza descontos de até 65% na tarifa de energia a essa população.

Portanto, o fato da geração de energia solar ser a de menor custo no Brasil e a forte incidência solar em algumas regiões do país são fatores que favorecem a geração deste tipo de energia. Dos estados brasileiros, Minas Gerais se destaca como o líder em produção de energia solar do país, representando cerca de 17,5% do total nacional, com mais de 40 mil unidades já conectadas à sua rede de distribuição (Absolar, 2022).

As temperaturas médias anuais do Estado são superiores a 18°C (graus centígrados), em todas as regiões, exceto nos planaltos mais elevados do centro-sul do estado, onde, no inverno, as temperaturas médias são inferiores a 18°C. (INMET/5º Distrito). De uma forma geral, o estado possui uma média anual de 1354 kWh / kWp e 0,79 de rendimento global médio (EPE, 2021).

O estado de Minas Gerais vem se destacando tanto pela incidência de luz solar em boa parte do território, quanto porque oferece benefícios fiscais e licenciamento ambiental simplificado para instalação de empreendimentos. É importante salientar, também, a criação do mapa disponibilidade de energia fotovoltaica, no qual a população pode consultar a capacidade da rede elétrica de uma região do estado para receber novas cargas oriundas de minigerações (Cemig, 2021).

Desde 2012, quando a população brasileira passa a ter a possibilidade de geração própria de energia, deve-se destacar o desenvolvimento do ambiente regulatório do estado de Minas Gerais. O qual neste mesmo ano criou o Grupo de estudo e trabalho sobre Energia Renováveis. Em 2013, tem-se o decreto do Programa Mineiro de Energia Renovável – Energias de Minas. Dai em diante, várias leis estaduais foram sancionadas. Tais leis preveem medidas como: isenção de ICMS para equipamentos de geração e isenção ao fornecimento de energia renovável; criação de linhas de crédito para aquisição de energia solar; política estadual de incentivo ao uso de energia solar fotovoltaica; dentre outras medidas. Este trabalho busca contribuir para estimular ainda mais a produção de energia distribuída, principalmente, pela população de baixa renda.

Dentre as regiões do estado, as áreas geográficas localizadas no Norte e no Nordeste de Minas Gerais são extensas e populosas, compreendendo cinco territórios de desenvolvimento: Norte, Vale do Rio Doce, Mucuri, Alto Jequitinhonha e Médio e Baixo Jequitinhonha. Embora abriguem 17,3% da população total do Estado (3,4 milhões de habitantes), esses territórios de desenvolvimento representam apenas 8% do PIB mineiro, explicitando as demarcadas desigualdades intrarregionais existentes em Minas Gerais (Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado, 2016).

Essa parte do estado vem se destacando na geração solar centralizada, grandes usinas. Sendo que, a maior usina do Brasil, atualmente, se encontra nessa região. Já na geração distribuída, apresenta bons números no total. Porém, quando se leva em conta a faixa de renda das famílias, na cidade de Montes Claros, maior cidade da região, por exemplo, menos de 4% dos 20% da população de menor renda possui geração própria de energia. E, por outro lado, mais de 53% dos sistemas instalados no município são dos 20% da população com maior renda (EPE, 2019).

Considerando essas regiões Norte e Nordeste do estado de Minas Gerais, as quais apresentem indicadores sociais e econômicos baixos e grande incidência solar, o objeto de estudo será o município de Montes Claros. Este município foi escolhido no estudo por ser a cidade mais populosa da região e apresentar a maior população de baixa renda em números, cerca de 20.000 famílias. Além disso, por se tratar de um projeto de caráter experimental onde será definido uma localização precisa de análise, assim sendo limitar a análise a uma cidade.

O problema de pesquisa desta investigação é estimar se a capacidade de geração de energia fotovoltaica pela família beneficiada pela tarifa social de energia gera um excedente financeiro para as famílias e contribua com a transição energética, assim as questões de pesquisa deste estudo são: i) É possível uma política social de geração de energia solar fotovoltaica pela população beneficiária da tarifa social de energia no município de Montes Claros/MG? e ii) Qual a capacidade de geração de energia solar fotovoltaica desta população?

O objetivo deste estudo consiste em estimar a capacidade de geração de energia solar fotovoltaica pela população inscrita na tarifa social de energia na cidade de Montes Claros/MG. Sendo parte da geração para consumo próprio e parte negociada com a Cemig SIM.

Os objetivos específicos são os seguintes: i) análise descritiva do consumo de energia elétrica dos inscritos na tarifa social da cidade de Montes Claros; ii) estimar o montante de energia fotovoltaica produzido por estas famílias; iii) avaliação dos custos da implantação do projeto e iv) apontar uma possível política pública para minimizar a condição de pobreza desta população, além de acessibilidade aos incentivos à geração distribuída adotados atualmente no Brasil.

Este estudo abrangerá a população montes-clarense, inscritos no programa de tarifa social. Esta população será considerada como geradora de energia solar fotovoltaica. A hipótese adotada é que esta geração de energia solar fotovoltaica traga acessibilidade da população de baixa renda aos incentivos à geração distribuída adotados atualmente no Brasil.

O cálculo da geração solar será através do custo nivelado de energia, o LCOE. Esta ferramenta define os custos totais de um projeto de geração de energia considerando o capital investido e, também, os custos operacionais. Para isso, será utilizado o software PVSyst definindo as coordenadas na cidade de Montes Claros. Em seguida, uma análise de payback simples verificando se o período de retorno do projeto para as famílias ocorra dentro do período de geração dos painéis, 25 anos.

A importância do estudo consistirá em apresentar possíveis alternativas para melhoria na condição da renda desta população e acessibilidade à energia dentro do contexto do desenvolvimento regional e se o montante total produzido, contribui para o processo de transição energética. Por fim, a disponibilidade de energia elétrica a um baixo custo e de fácil acesso são primordiais para o desenvolvimento sustentável de cidades como Montes Claros e regiões como o Norte de Minas.

2. Uma análise do setor elétrico do Brasil e política pública para população de baixa renda

Este capítulo abordará as questões centrais da discussão teórica: o setor elétrico, a política pública de inclusão social e a definição do local de estudo. Na questão do setor elétrico serão apresentadas as discussões sobre o potencial da capacidade de geração, a matriz de transição e as políticas de regulação do setor. No tópico das políticas públicas, será discutida a geração própria de energia como propulsora para reduzir desigualdades sociais tendo como referência projetos desenvolvidos pelo mundo. Por fim, os indicadores de potencial em geração de energia, assim como dos índices de pobreza da região a ser escolhida como projeto piloto de análise.

2.1 Setor elétrico brasileiro

O modelo institucional do setor elétrico tem como principais objetivos, conforme o Ministério de Minas e Energia (MME):

- garantir a segurança de suprimento;
- promover a modicidade tarifária; e
- promover a inserção social no setor elétrico, em particular pelos programas de universalização de atendimento.

O setor elétrico está dividido em quatro segmentos: geração, transmissão, distribuição e comercialização. O setor energético brasileiro é caracterizado pela predominância de usinas hidrelétricas de grande porte e pela pesada estrutura de transmissão, as quais permitem a interligação entre as fontes geradoras de regiões diferentes.

Nesse sentido, é fundamental a existência de um grande sistema de distribuição que funcione não somente para o transporte de energia, mas também como fator de otimização do sistema. A atividade de distribuição passa a ser orientada para o serviço de rede, com venda de energia somente a consumidores com tarifas e demais condições reguladas pela ANEEL. Por fim, no setor da comercialização temos empresas que atuam como intermediários na compra e venda de energia no Mercado Livre.

Quanto aos consumidores, estes são classificados em três categorias. Primeiro, os Cativos; pessoa física ou jurídica atendidas pela Distribuidora para o fornecimento de energia elétrica. Também, os Livres: pessoa jurídica que pode escolher seu fornecedor de energia elétrica (Gerador ou Comercializador) por meio de livre negociação. Exigência mínima de consumo superior a 3 MW. Assim como, os Especiais: pessoa jurídica que consome de fontes incentivadas especiais (eólica, Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs, biomassa ou solar), demanda 500 kW - 3MW.

A matriz elétrica passa por uma transformação que vem alterando a definição clássica acima. Os consumidores, pessoas físicas não necessariamente são mais cativos podendo gerar sua própria energia, sendo este denominado de Geração distribuída (GD). Esta transição está ligada a mudanças significativas na estrutura da matriz elétrica.

Deve-se salientar a mudança de mercado do setor de energia elétrica – mercado tradicional – representado pelas grandes produtoras de energia elétrica para um mercado de micro e minigeração de energia elétrica fotovoltaica em que o consumidor deixa de ser cativo e passa a gerar sua própria energia. O modelo de matriz elétrica tradicional está se transformando para o novo paradigma operativo do setor elétrico através dos Recursos Energéticos Distribuídos (RED). Transição melhor descrita no tópico seguinte.

Em 2020, o consumo final de energia elétrica no Brasil foi de 540,2 TWh, redução de 1% em relação a 2019 (EPE, 2020).

A oferta interna de energia elétrica brasileira em 2020, segundo o Balanço Energético Nacional, foi de 645,9 TWh, montante 0,8% inferior a 2019. Do total ofertado em 2020, 84,8% foram provenientes de fontes renováveis, destacando os 65,2% advindos da energia hídrica (incluindo a importação), 9,1% de biomassa e 8,8% de energia eólica. A energia fotovoltaica, apesar do crescimento de 61,5% em relação a 2019, representou apenas 1,7% do total de energia gerada no Brasil em 2020. Os outros 15,2%, do total ofertado, foram provenientes de fontes não renováveis, sendo 13% de energia fóssil (derivados de petróleo, gás natural, carvão e derivados) e 2,2% de energia nuclear (EPE, 2020).

Em 2020, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 174.737 MW, acréscimo de 2,7% em relação a 2019. Destaque para a evolução da potência instalada da fonte solar que atingiu 3.287 MW em 2020, com variação positiva de 32,9% em relação a 2019. Em seguida temos a fonte eólica com aumento de 11,4%. A fonte térmica teve um aumento de 4,5%. Já as fontes hidrelétrica e nuclear, praticamente, permanecerem com os mesmos valores (EPE, 2020).

Como pode-se observar na Figura 1, a demanda por eletricidade cresceu 15,9% (0,8% ao ano) de 2000 a 2019. Por outro lado, o consumo de energia caiu 12,4% (0,7% ao ano). Representando uma substituição de fontes menos eficientes (lenha e carvão vegetal) por outras de melhor desempenho (eletricidade e gás natural). Além da implementação das políticas de índices mínimos de eficiência energética de equipamentos residenciais (EPE, 2020).

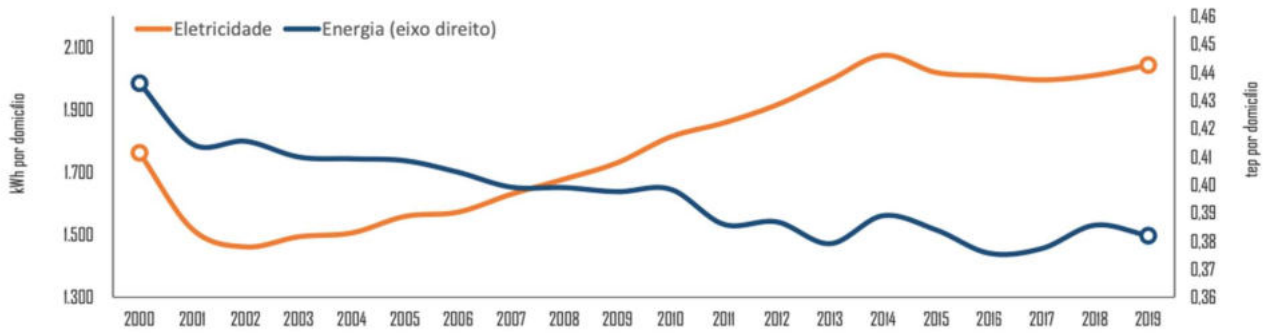


Figura 1 - Consumo elétrico e energético por domicílio (EPE, 2020).

O Brasil desponta como país com alto potencial no mercado de micro e minigeração de energia elétrica fotovoltaica, centrais geradoras com até 5MW de potência instalada. Modalidade que permite a compensação da energia injetada na rede em relação a energia consumida. Há possibilidades de ações governamentais e privadas, passíveis de discussões e estudos, para fomentar este ambiente. Promovendo um desenvolvimento sustentável e a geração de energia limpa competitiva (Cruz, 2015; Nascimento, 2015).

Como mostrado na Figura 2, a matriz elétrica brasileira se caracteriza por ser predominantemente renovável desde 1974 porém, não diversificada em relação a fonte de geração, ou seja, dependente da fonte hídrica, responsável por mais de 60% da geração de energia elétrica. Para se ter uma segurança de suprimento é importante uma matriz diversificada para que não fiquemos reféns da sazonalidade e intermitência das fontes renováveis. Além disso, devemos destacar a importância das fontes oriundas de combustíveis fósseis na “ponta”, momentos do dia de maior consumo energético, no caso do Brasil a energia térmica.

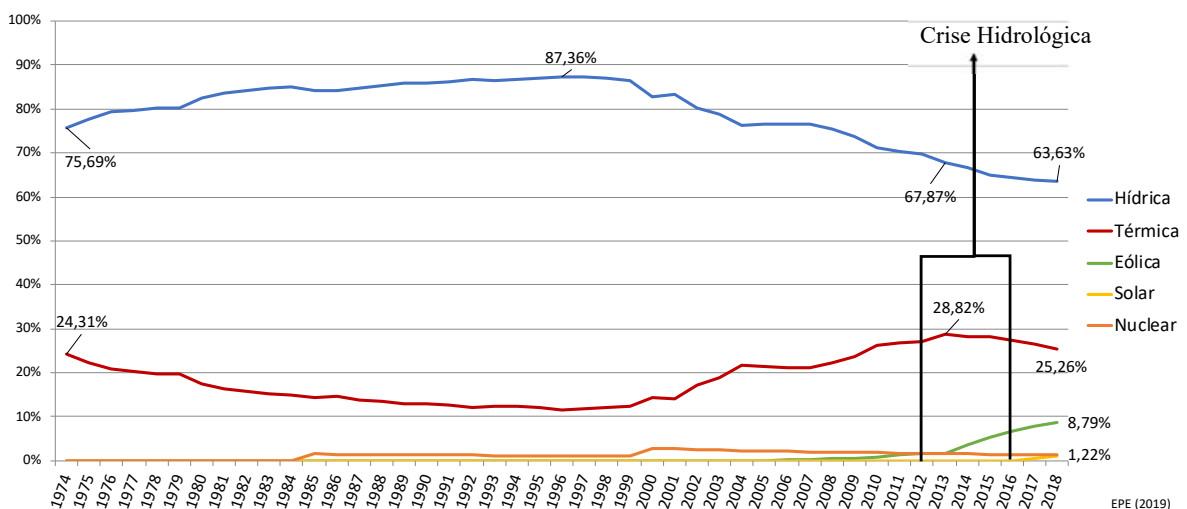


Figura 2 - Evolução da capacidade instalada brasileira por fonte (%) - 1974 a 2018 (EPE, 2019).

Vários fatores são responsáveis por criar barreiras à expansão de tecnologias de energia renovável. Uma mudança de paradigma técnico-institucional no setor de energia tradicional faz-se necessária, porque novas tecnologias exigem mudanças estruturais, sociais, organizacionais e econômicas (Wolsink, 2012; Tsoutsos e Stamboulis, 2005).

Wolsink (2012) relata forte resistência a mudar o comportamento da empresa quanto à penetração no setor elétrico. Del Rio e Unruh (2007, p. 1499) atestam que “a infraestrutura preexistente, tanto física como institucional, pode criar restrições importantes aos padrões de adoção de novas tecnologias.” Por outro lado, outros relatórios indicam um forte crescimento futuro na energia solar brasileira (IEA, 2016) e destacam os desafios em relação à capacidade de transmissão (REN21, 2015).

Fatores que envolvem transição de infraestrutura de produção, transporte e utilização de energéticos, são alguns que explicam a lenta transição de sistemas energéticos em nível mundial. Esta transição está ligada a mudanças significativas na estrutura da matriz energética primária mundial. Se trata de um processo complexo, ao invés de algo linear e de ruptura. Caracteristicamente, as transições energéticas são processos complexos, podendo haver variações de estágio e de ritmo das transformações em diferentes países, regiões ou localidades.

O atual processo de transição energética, Figura 3, tem sido embasado por condicionantes como desenvolvimento sustentável, mudanças climáticas e inovações tecnológicas associadas à eletrônica e à entrada na era digital. O desenvolvimento sustentável parte do pressuposto da utilização de fontes de baixo carbono e eletrificação.

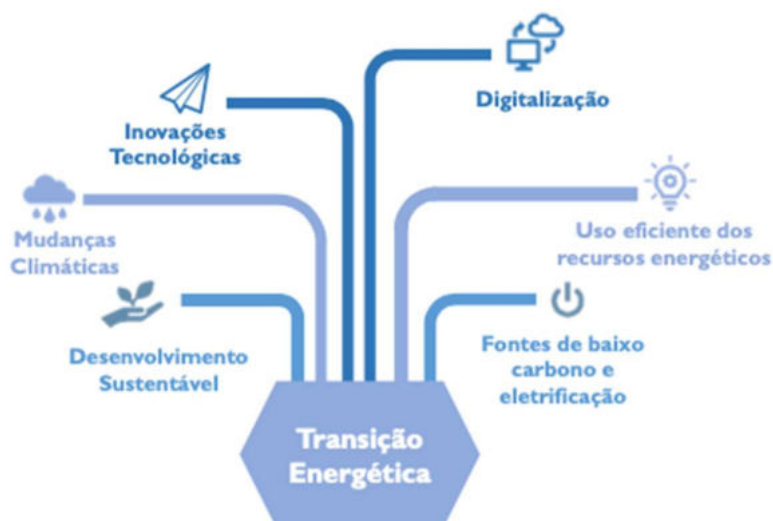


Figura 3 - Base da transição energética (EPE, 2020).

Em relação aos efeitos associados a mudanças climáticas, busca-se limitar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) pelas atividades humanas. Além disso, é importante minimizar a

vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos. De forma a se adaptar as melhores soluções para contornar os problemas que poderão surgir em cada caso.

Em relação a mitigação, o Brasil se destaca já que apresenta uma matriz energética com grande participação de fontes renováveis. As emissões de GEE no Brasil são pequenas, comparativamente a outros países. Por outro lado, em relação a adaptação, partir de uma perspectiva de crescimento econômico sustentável no longo prazo associada à redução do nível de pobreza, haja um aumento do consumo energético per capita (EPE, 2020).

As inovações tecnológicas recentes como a digitalização, a internet das coisas e a inteligência artificial trazem impactos significativos sobre a sociedade e seus efeitos alterarão profundamente os transportes, a energia e a comunicação. Com isso, verifica-se em todos os setores um processo de descentralização dos fluxos de informações, das decisões de investimento, da produção e provimento de serviços. A perspectiva de maior digitalização na produção e uso de energia, por meio da maior difusão das tecnologias de informação e comunicação (TIC), está associada à evolução da conectividade, coleta e análise de grande quantidade de dados e da automação (EPE, 2020).

Portanto, a transição energética atual sob a ótica da população significa, em escala domiciliar, à eletrificação em processos de conversão de energia. Ou seja, maior consumo de energia elétrica ao invés de energia térmica (lenha e gás). Ademais, tal processo ocorre associado à maior automação e digitalização de processos, controles e serviços, possibilitando tanto o aumento da eficiência energética como a maior participação de fontes renováveis (eólica e solar). Melhor dizendo, a geração própria de energia, prossumidores, e a utilização de equipamentos mais eficientes no consumo de energia.

2.2 Reorganização do setor elétrico e a Geração Distribuída

A partir do ano de 2004, passou a vigorar um novo modelo para o Setor Elétrico Brasileiro, com base na garantia da expansão da capacidade instalada, na modicidade tarifária e na universalização do acesso à eletricidade. Para atingir estes objetivos, foi retomado o planejamento subordinado à responsabilidade do Estado, que havia sido transferido para os agentes privados a partir dos anos 1990 e com a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) buscou-se atender a esta finalidade e, através do Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE, procurou-se formular anualmente as previsões de expansão de oferta, com base na demanda de energia para um período de 10 anos seguintes, transformando-se em importante instrumento de planejamento para o setor elétrico brasileiro. A contratação de nova capacidade instalada passa então a ser adquirida através de leilões de energia, através dos quais é realizada a concessão de novas usinas e garante-se o atendimento à

totalidade da expansão da demanda prevista pelas distribuidoras para os consumidores cativos. (Costa *et al.*, 2016).

Esta alteração institucional que ocorreu em 2004 foi importante para dar previsibilidade e estimular os agentes econômicos interessados, tanto nacionais como internacionais em gerar energia a se organizarem e pleitearem, através de leilões regulados ou livres, a sua participação no mercado gerador de energia elétrica nacional.

Com a difusão da geração distribuída, a característica da geração centralizada tem se alterado e hoje é crescente o número de centrais geradoras de capacidade reduzida, cujos proprietários são novos consumidores / produtores, conectados diretamente à rede de distribuição, ou seja, a tendência é que cada vez mais, a geração não esteja somente concentrada em grandes centrais geradoras, mas descentralizada e localizada perto dos centros de consumo o que, dentre os seus benefícios, tem o potencial de reduzir as perdas técnicas associadas ao transporte de energia e a necessidade de investimentos em linhas de transmissão.

Um dos vetores desta ruptura é o potencial de expansão dos recursos energéticos distribuídos, impondo a tendência de descentralização e acelerada difusão de sistemas de micro e de minigeração distribuída em alguns países. Em paralelo, observa-se que as políticas de *demand response* estão se tornando cada vez mais relevantes, permitindo flexibilizar a demanda por energia elétrica (De Castro *et al.*, 2017).

As projeções da capacidade instalada da micro e minigeração distribuídas são boas e apresentam caráter exponencial, como mostra a Figura 4. Espera-se que em 2029 a capacidade instalada que hoje se encontra em torno de 2.000MW alcance a marca de 12.000MW (EPE, 2019).

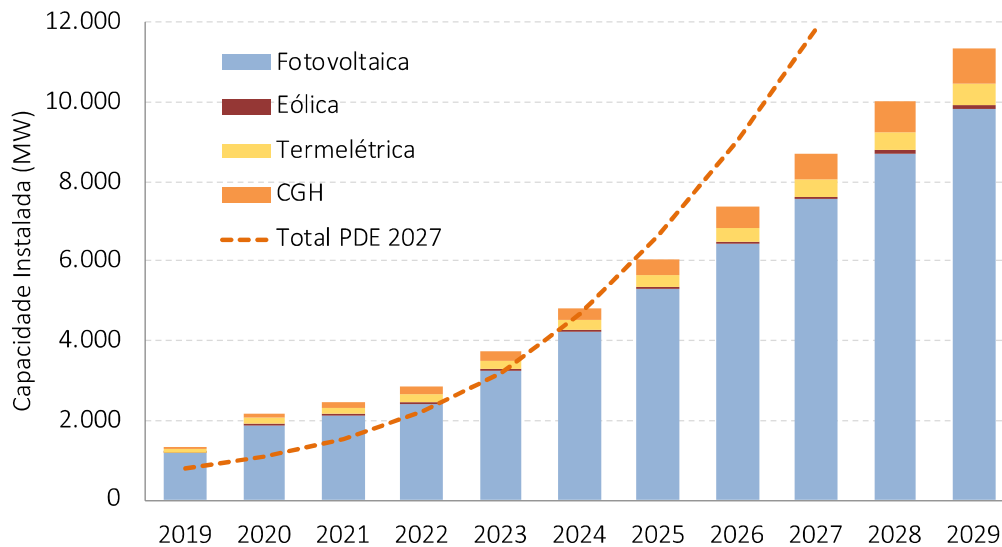


Figura 4 - Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuídas (EPE, 2019).

Quando se fala em micro geração distribuída, deve compreender que é uma central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utiliza a cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, já a mini geração distribuída é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, conforme a redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.

A micro e a mini geração distribuída (MMGD) em 2020 apresentou aumento de 137% em relação a 2019, mantendo a seguinte configuração apresentada na Figura 5. A energia solar fotovoltaica representou 90,4% da MMGD em 2020, e foi a fonte predominantemente responsável pelo aumento registrado na micro e mini geração distribuída.

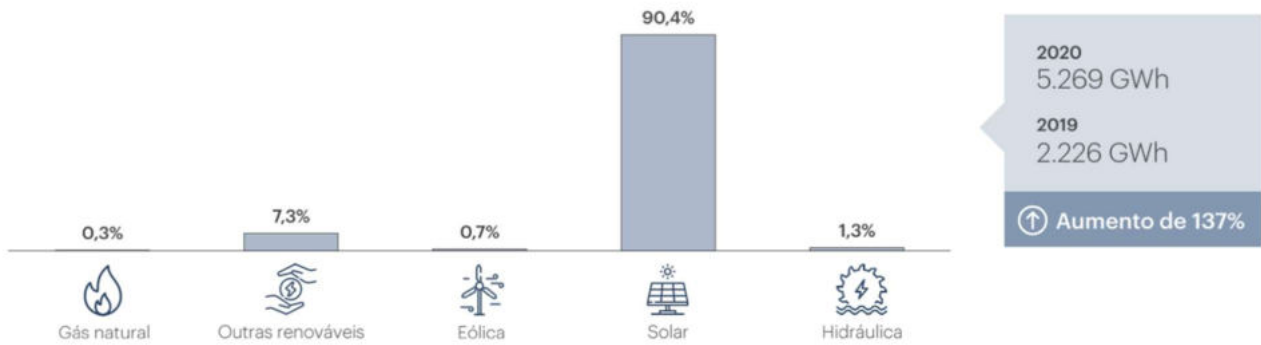


Figura 5 - Micro e minigeração distribuída em 2020 (EPE, 2020).

Considerando a geração distribuída, a energia solar fotovoltaica se destaca, principalmente, devido ao seu caráter modular, se adaptando a arquitetura de casas e edifícios. Assim, a projeção como mostrado na Figura 6, é que em 2029, 86% da capacidade instalada de geração distribuída será de fonte fotovoltaica.

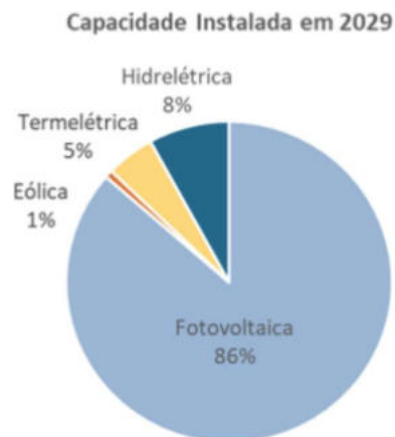


Figura 6 - Capacidade instalada da geração distribuída em 2029 (EPE, 2019).

A predominância da geração solar fotovoltaica na micro e mini geração distribuída (MMGD) indica um crescimento contínuo desta fonte em ritmo superior a outras fontes nos últimos anos, como mostrado na Figura 7. A micro e mini geração distribuída no Brasil com base em geração solar fotovoltaica atingiu 4.635 MW de potência instalada em 2020 (EPE, 2020).

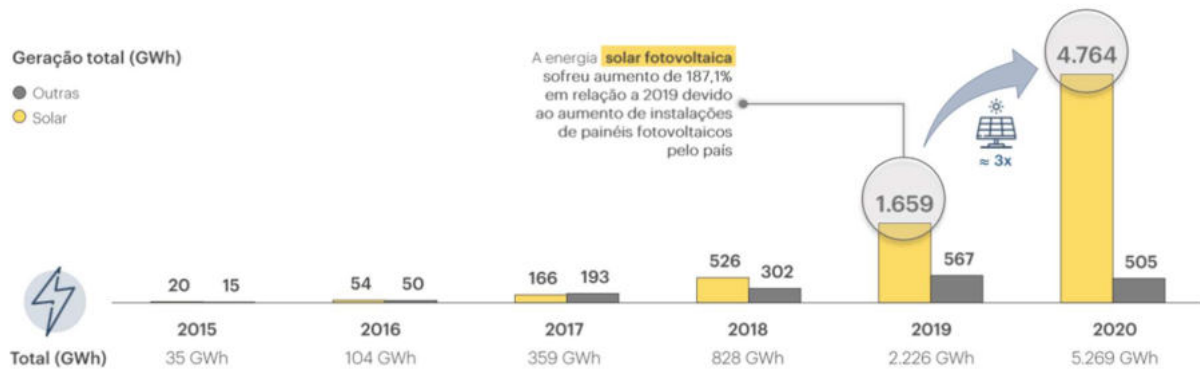


Figura 7 - Evolução da MMGD (EPE, 2020).

Como pode-se observar na Figura 8, a capacidade instalada da micro e mini geração distribuída apresenta maior concentração na região Centro-Sul do País. Influenciado pela expansão da fonte solar em unidades federativas como Minas Gerais, São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso. Sendo Minas Gerais o estado de maior capacidade instalada no país.

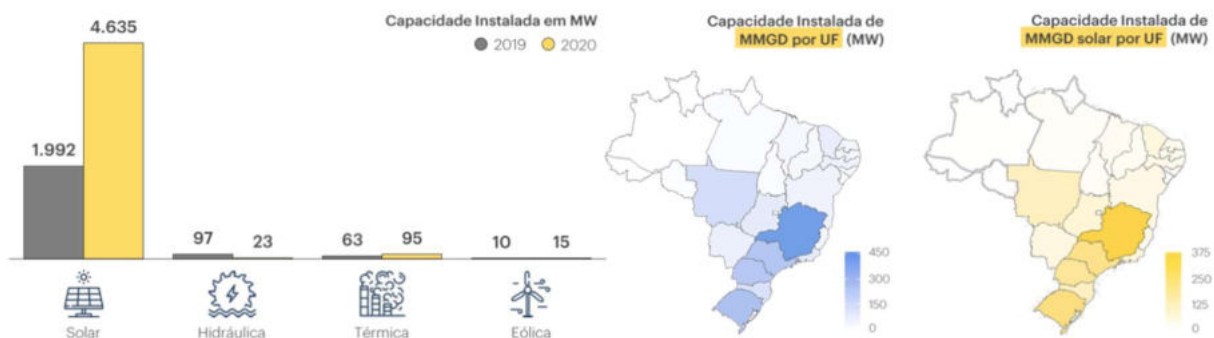


Figura 8 - Capacidade instalada da MMGD por UF (EPE, 2020).

O impacto da inovação tecnológica da geração distribuída transformou os antigos consumidores que somente recebiam energia de forma passiva da rede de distribuição centralizada, em geradores de energia para atender parte de sua demanda. Os eventuais excedentes passaram a ser injetados na rede de distribuição e, este dinâmico e irreversível processo criou a categoria de novos consumidores / produtores, abrindo um novo cenário de ação mais ativa dos consumidores.

2.3 Resolução normativa para estímulos a geração distribuída vigente no Brasil

A publicação da Resolução Normativa (REN) nº 482 de 2012 “estabeleceu condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica correspondente” (ANEEL, 2016, p.8), ou seja,

a permissão para os consumidores gerarem sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e injetarem a energia excedente na rede de distribuição de sua localidade.

A Resolução nº 482/2012 significou um avanço, por parte do governo, no incentivo à geração de energia, porém ainda é tímida a sua atuação. Segundo Moraes (2015), a REN 482/2012 “não apresenta os mesmos benefícios que já são oferecidos pela legislação internacional, onde a energia excedente exportada para a rede é efetivamente vendida gerando uma receita para a fonte geradora”.

Já a REN nº 687/2015, que começou a vigorar a partir de março de 2016, expandiu as possibilidades da micro e mini geração distribuída, ampliando o limite de potência, criando mecanismos de compartilhamento de geração, especificando prazos reduzidos para as respostas das distribuidoras quanto à instalação, entre outros (Tolmasquim, 2016).

Com os incentivos a geração distribuída, é de se observar na Figura 9 uma diminuição dos preços médios nos leilões de energia das fontes solar e eólica. Sendo estas as fontes mais baratas para se produzir energia atualmente no Brasil.

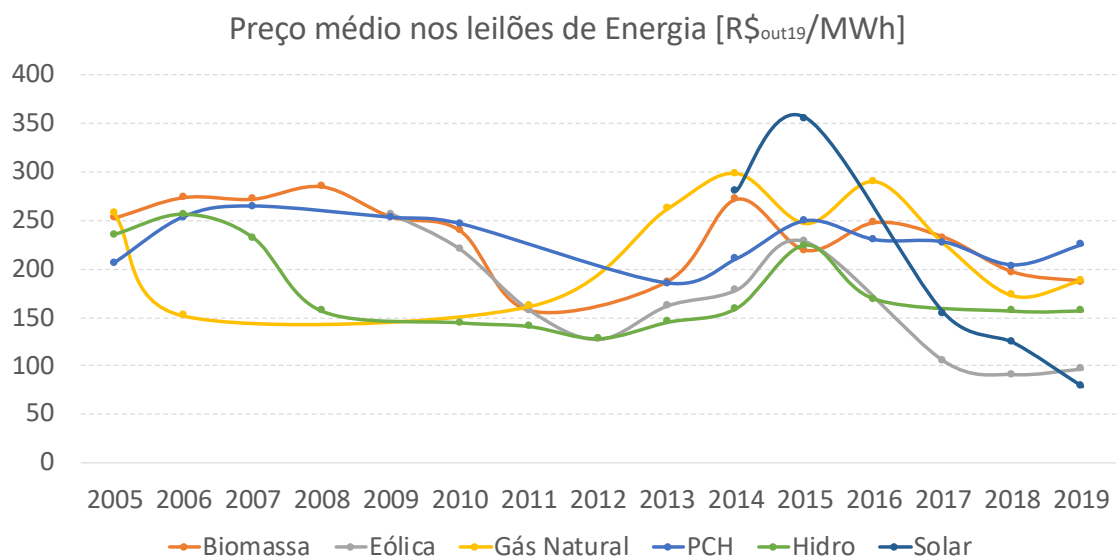


Figura 9 - Custo de geração de energia por fonte (CCEE, 2019).

O Sistema de Compensação de Energia Elétrica, originária da Resolução Normativa nº 482/2012, permite que o excedente de energia elétrica gerada pela unidade consumidora, por meio da micro ou mini geração distribuída, seja injetada na rede da distribuidora, dispensando, assim, a necessidade das baterias. Esse excedente injetado é transformado em créditos de energia (kWh), válidos por 60 meses, que poderá ser utilizado para abater o consumo em um outro posto tarifário, quando da tarifa horária, ou em faturas dos meses subsequentes (ANEEL, 2016).

Um dos principais incentivos do governo brasileiro relativo à geração distribuída é a isenção do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), por meio do Convênio ICMS 16 de

22/04/2015, do Conselho Nacional de Políticas Fazendárias (CONFAZ), que autoriza as Unidades Federativas (UF) a conceder isenção do tributo no que diz respeito à circulação de energia elétrica sob o sistema de compensação de energia. Destarte, nos Estados que aderiram à isenção do ICMS, o tributo incide somente sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede. Para os demais Estados, mantém-se a cobrança sobre todo o consumo, desconsiderando a energia injetada na rede pela micro ou mini geração.

Com exceção dos estados do Amapá, Amazonas, Espírito Santo, Paraná e Santa Catarina, todos os demais estados, incluindo o Distrito Federal, aderiram à isenção do ICMS relativo à circulação de energia elétrica sob o sistema de compensação de energia. A isenção também vale para a cobrança do Programa de Integração Social (PIS) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), conforme disposto na Lei nº 13.169/2015, com a ressalva de que a regra vale igualmente para todos os Estados do país por serem, PIS e COFINS, tributos federais (ANEEL, 2016).

Considerando os incentivos dados a geração distribuída, o estado de Minas Gerais, também, se destaca. Na Figura 10, tem-se o progresso do ambiente regulatório do estado. Podemos enfatizar medidas como, a criação de um Grupo de estudo e trabalho sobre Energias Renováveis. Posteriormente, o decreto do Programa Mineiro de Energia Renovável - Energias de Minas. Além disso, a disponibilidade do Mapa Solarimétrico de MG, ferramenta onde a população tem acesso a disponibilidade de novas ligações de geração solar na sua região.

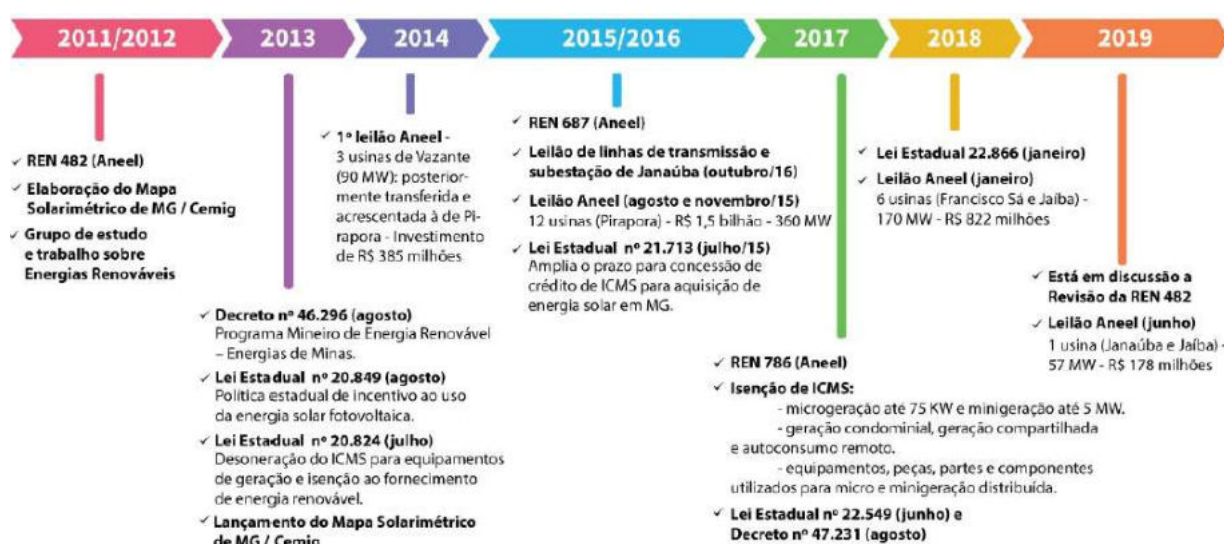


Figura 10 - Evolução do ambiente regulatório em MG (Pereira, 2019).

Como pode-se atentar, o processo evolutivo do ambiente regulatório é constante. E o estado de Minas Geras vem sendo o pioneiro nesse processo. Porém, ainda não tivemos algum programa social que contribua para que o processo ocorra de forma igualitária. Tendo a população de baixa

renda incentivos condizentes com a situação financeira desta parcela da população, que como salientado, representa 67% da população brasileira. O presente trabalho busca estimar a capacidade de geração dessa população, contribuindo com o processo de transição energética, trazendo avanços ao ambiente regulatório de geração própria de energia.

2.4 Comunidades de energia renovável

Nos últimos anos, foram criadas cooperativas para promover o uso de energias renováveis, principalmente no Canadá, EUA, Reino Unido, Dinamarca e Alemanha. As cooperativas são associações autônomas de pessoas que se unem voluntariamente para atender às suas necessidades e aspirações econômicas, sociais e culturais comuns, por meio de empresas de propriedade conjunta e controladas democraticamente. As empresas cooperativas carregam consigo valores sociais subjacentes e princípios éticos (Viardot, 2013).

As cooperativas em todo o mundo geralmente operam de acordo com os mesmos sete princípios e valores fundamentais, adotados pela Aliança Cooperativa Internacional (ICA, 1995). Esses princípios são: associação voluntária e aberta; controle democrático dos membros; participação econômica dos membros; autonomia e independência; educação, treinamento e informação; cooperação entre cooperativas; e preocupação com a comunidade.

Comunidades de energia renovável são caracterizadas por alguma forma de participação pública no desenvolvimento de projetos ou na intenção de oferecer benefícios locais e coletivos. Espera-se que uma abordagem baseada em comunidade para o desenvolvimento de energia renovável não apenas ofereça instalações localmente mais apropriadas do que projetos liderados comercialmente, que são frequentemente associados à oposição pública (Rogers et al., 2012), mas também se prevê que traga benefícios associados, incluindo maior aceitação de tecnologias de energias renováveis, captação doméstica de energias renováveis, conscientização sobre questões de energia sustentável, práticas de consumo de energia mais sustentáveis e maior coesão social (Walker, 2008).

Esses tipos de benefícios são esperados porque os projetos de comunidade energética oferecem novas formas dos indivíduos perceberem e interagirem com sistemas de geração e suprimento de energia. O atual sistema de energia, dominado pela geração centralizada e fornecimento unidirecional, coloca o público em um papel estreito; a maioria atua como consumidores de energia relativamente passivos e pouco refletivos, uma vez que a geração de energia é remota. Isso incentiva o consumo inconsciente, o que se torna uma barreira ao desenvolvimento de sistemas / sociedades de energia de baixo carbono (Rogers et al., 2012).

Segundo Walker (2008), são adotados, em países como o Reino Unido, diferentes modelos legais e financeiros de propriedade sobre uma comunidade energética. Dentre eles temos estes listados abaixo:



Cooperativas: As pessoas da comunidade local ou de outros lugares se tornam membros da cooperativa e compram ações para financiar o projeto.

Instituições de caridade comunitárias: Estas geralmente tomam a forma de uma associação com estatuto de caridade que fornece ou executa instalações para a comunidade local, tais como centros comunitários, que utilizam energia renovável em suas instalações. Tais instituições de caridade também podem ter partes comerciais ou empresas de interesse da comunidade para prestação de serviços locais.

Entidades de desenvolvimento: Representam os interesses das comunidades perante as empresas de fornecimento de energia e investidores. Muito utilizado em países da Europa, como a Escócia, por exemplo.

Ações de propriedade de uma organização comunitária local: A doação de ações em um projeto comercial para uma organização comunitária local, como uma relação de confiança, ou, no caso de parques eólicos, a doação de uma ou mais turbinas, tem sido usada como uma maneira de fornecer um benefício comunitário estreitamente ligado ao desempenho da unidade de produção. A propriedade parcial da comunidade pode conferir apenas direitos limitados de controle ou de entrada na tomada de decisão.

Esses diferentes modelos são definidos de acordo com o tipo de comunidade que pode ser proprietária ou parte de um projeto de energia. Na maioria das vezes, tem-se comunidades locais ou comunidades de interesse. A última refere-se a grupo de pessoas com um interesse em comum, mas que estão distantes entre si, como investidores dispersos em um projeto cooperativo (Walker, 2008).

A aceitação de uma comunidade em relação a uma organização local de energia renovável depende do nível de influência e posse do projeto, além da expectativa de uma divisão igualitária e justa dos benefícios gerados pela organização. Espera-se que uma organização local de energia renovável caracterizada por forte coesão social seja menos vulnerável a desacordos decorrentes, por exemplo, de decisões de investimento, divisão de propriedade e benefícios. Como consequência, a alta coesão social pode melhorar o apoio local e a aceitação da mesma (Boon et al., 2014).

Comunidades de energia renovável representam uma mudança de paradigma no setor de energia. Essa abordagem visa transferir os atuais sistemas de energia rígida e centralizada para sistemas mais flexíveis e descentralizados. A operação integrada de fontes de energia distribuídas em uma comunidade pode levar a um sistema de energia interconectado flexível e robusto, com benefícios consideráveis de segurança energética e consumo sustentável. Trata-se de um sistema o qual apresenta integração técnica e de mercado eficaz dos recursos energéticos distribuídos, fornecendo uma plataforma necessária para o envolvimento da comunidade (Koilara et al., 2016).

Os estudos aqui apresentados são exemplos de países onde a criação de comunidades de energia renovável já acontece desde 1970, sendo o Reino Unido o pioneiro nesses projetos. Várias são as vantagens da implantação dessas comunidades, dentre elas temos: aumento da capacidade energética do país, diminuição das desigualdades sociais, diversificação da matriz energética, fomento ao consumo consciente de energia, geração de energia limpa, geração de renda.

Segundo Dóci et al. (2015), em estudo realizado na Holanda e na Alemanha, os resultados sugerem que os incentivos que abordam principalmente o ganho e as motivações normativas podem ser os gatilhos mais eficazes, se quisermos apoiar a expansão das comunidades de energia renovável. As políticas governamentais podem fornecer incentivos financeiros de longo prazo, como a tarifa de alimentação alemã (EEG) ou subsídios locais para investimentos conjuntos, que parecem ser fatores muito importantes em termos de motivações de ganho. Ao mesmo tempo, o apoio de organizações não-governamentais para preencher a ideia de produção comunitária de energia limpa poderia fornecer gatilhos normativos. As motivações hedônicas podem ser enfatizadas pelas organizações locais e pelas redes de conexão.

Segundo Koilara *et al.* (2016), em estudo comparativo de modelos de comunidade de energia renovável, no geral, os principais desafios que as comunidades de energia renovável precisam superar são a cultura, estrutura e práticas dominantes do sistema energético centralizado. O desenho institucional e os modelos de negócios, bem como o marco regulatório, ainda precisam ser adaptados

ao surgimento das comunidades. Semelhante ao desenvolvimento de energia renovável, a implantação de comunidades energéticas ainda se concentra em aspectos técnicos. Conforme indicado acima, o enfoque uniforme nos aspectos técnicos, socioeconômicos, ambientais e institucionais trará mais apoio ao surgimento de comunidades no contexto de redes inteligentes.

Segundo Lennon et al. (2019), em estudo realizado em cinco países europeus (França, Irlanda, Itália, Espanha e Reino Unido) mostrou que as comunidades possuem uma restrita influência como cidadãos participantes do sistema energético. A pesquisa também resultou em uma ferramenta de caracterização projetada para ajudar as comunidades locais a avaliar a democracia energética e o potencial de participação cidadã de vários modelos de negócios participativos.

A energia comunitária tem sido apoiada por sucessivos governos do Reino Unido, com o objetivo de aproveitar seu potencial para apoiar transições sustentáveis de energia. A confiança entre as pessoas e grupos locais que levam os projetos adiante faz parte do pacote de condições que podem ajudar os projetos a funcionarem e para que as pessoas locais se sintam positivas ao se envolver no processo de desenvolvimento do projeto. (Walker et al., 2010; Rogers et al., 2012; Bomberg et al., 2012; Seyfang et al., 2013)

Segundo L. Holstenkamp et al. (2016), a energia comunitária tornou-se uma questão cada vez mais importante no meio acadêmico e nos círculos de política energética em todo o mundo, onde os cidadãos que investem e operam conjuntamente em instalações de energia renovável desempenharam um papel essencial em países como a Alemanha e Dinamarca. A energia comunitária forma um tipo específico de investimento social e os dados indicam que o cenário social e as condições geográficas e climáticas são importantes.

Uma análise das políticas de energia no Brasil deve-se levar em conta, também, o contexto internacional onde tais políticas se encontram em um estágio mais consolidado. Não menos importante, faz-se necessário imprimir uma visão integrada e multidisciplinar à análise, levando em consideração outras áreas das políticas públicas, aquelas relacionadas com ambiente e clima, as quais passam a desempenhar maior relevância nos processos de desenvolvimento e concretização das políticas de energia (Araújo et al., 2013).

Em relação aos estudos desenvolvidos sobre a participação dos cidadãos e políticas de energia, esses trabalhos, geralmente, mostram situações específicas que afetam uma determinada comunidade, assim como suas consequências na mobilização social. Na maior parte dos casos, os autores apresentaram as falhas dos processos de participação dos cidadãos, já que esses estão envolvidos no estágio final do projeto, sem tempo de resposta (Dufey, 2013; Rodríguez et al., 2013).

Como visto ao longo desta discussão, várias são as formas de organização de uma comunidade em prol de um interesse comum. A busca por incentivos a geração de renda e por energia elétrica disponível e de baixo custo são fatores-chaves na pesquisa em questão. Com isso, que os utilizadores

da tarifa social, população de baixa renda, possam formar uma comunidade de interesse (associação) para dialogar com o estado, para construir uma política pública de acessibilidade a geração própria de energia.

2.5 Definição do local de estudo

O estado de Minas Gerais é o segundo mais populoso do Brasil, com população estimada de 21,2 milhões de habitantes em 2019 e quarto maior do país em extensão territorial (IBGE, 2019). O estado possui uma economia bastante desenvolvida, tendo como destaques a agropecuária moderna e um parque industrial diversificado. Por outro lado, se trata de um Estado bastante desigual entre suas mesorregiões. Sendo a parte Norte do Estado de menor desenvolvimento econômico com grande parcela da sua população de baixa renda. Embora abriguem 17,3% da população total do Estado (3,4 milhões de habitantes), esses territórios de desenvolvimento representam apenas 8% do PIB mineiro.

Como descrito inicialmente, a escolha da região de estudo em Minas Gerais dependeria do potencial de geração solar fotovoltaica, e também, do índice percentual da população inscrita no Cadastro Único. Como mostrado na Figura 11, onde tem-se o potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil, pode-se observar as regiões do Nordeste, Centro-Oeste e parte do Sudeste, formando uma faixa dos maiores rendimentos médios anuais, permitindo maior geração de energia solar. A parte do Sudeste destacada encontra-se por predominância no estado de Minas Gerais.

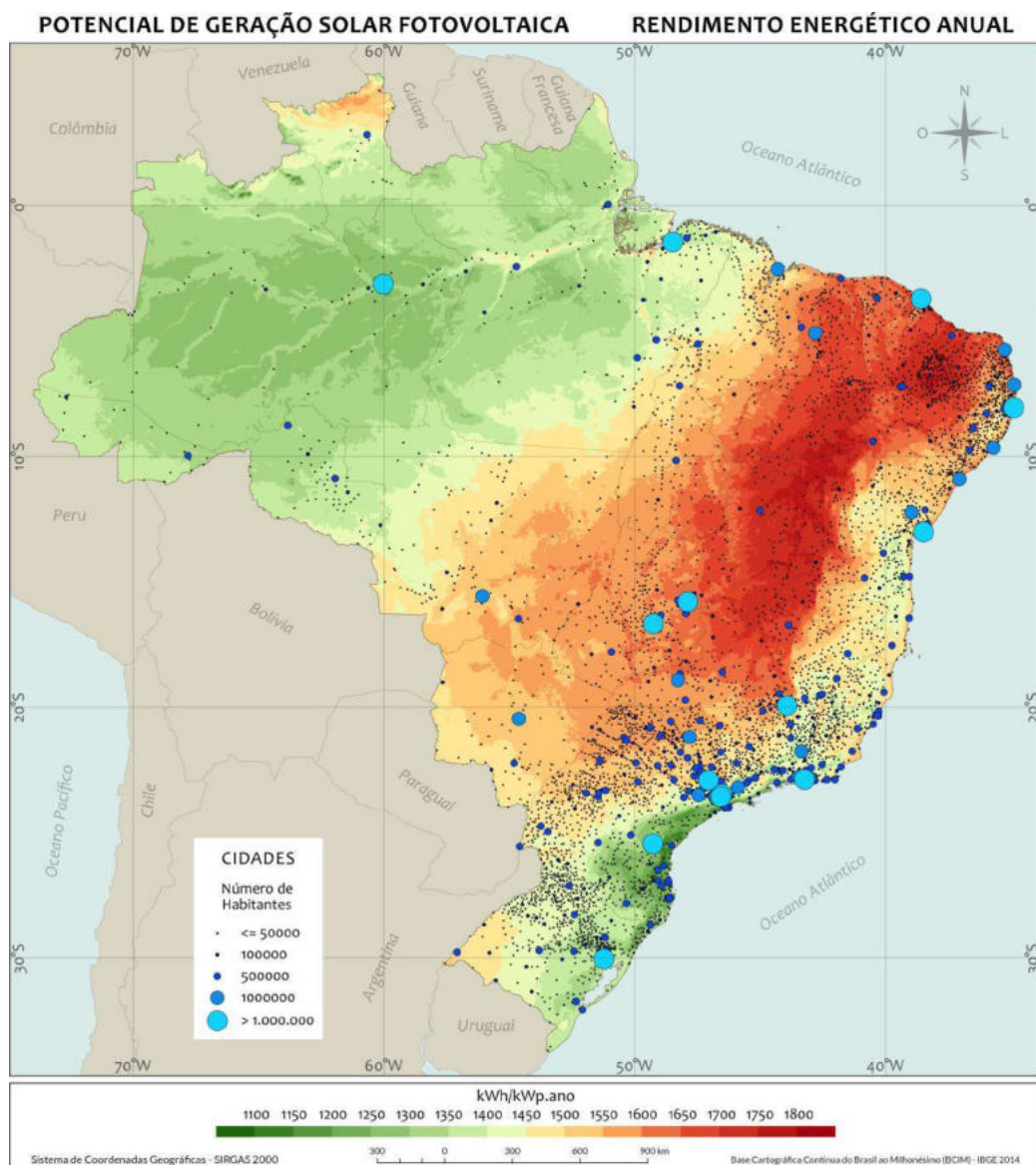


Figura 11 - Potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017).

Assim, no estado de Minas Gerais, o qual se apresenta melhor descrito na Figura 12 em termos de geração solar fotovoltaica. Nesta região temos, um maior potencial de geração nas regiões Norte e Nordeste do Estado. E dentro da região Norte de Minas próximo as cidades de Montes Claros e Januária como destaques em geração solar. Valores estes que podem ser confirmados na Tabela 1 em seguida onde tem-se o potencial de geração por Mesorregião de Minas Gerais.

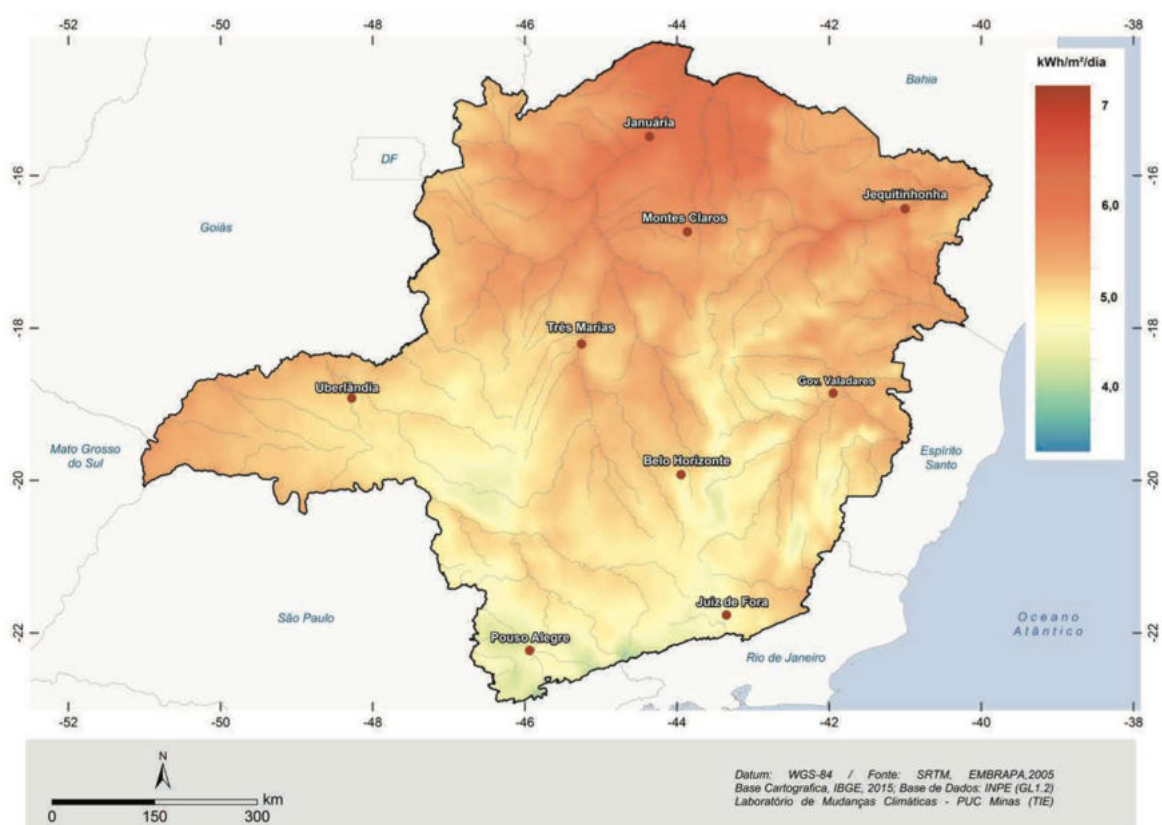


Figura 12 - Radiação solar média diária anual em Minas Gerais (Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, 2016).

Considerando as mesorregiões de Minas Gerais, o Norte apresenta maior radiação solar média diária anual, seguido pelas regiões Noroeste, Central de Minas e Triângulo Mineiro. Essas quatro regiões seriam as de melhor potencial de geração no Estado. Por outro lado, tem-se o Sul/Sudeste, Campo das Vertentes e Zona da Mata com menores valores em potencial de geração de energia solar. É importante ressaltar que, mesmo as regiões com menores valores ainda se conseguem uma performance muito boa de geração, destacando Minas Gerais como um dos estados do Brasil dentre os de maior potencial em geração de energia solar.

Tabela 1 - Média anual de radiação por mesorregião de Minas Gerais.

Mesorregiões	Média Anual (kWh/kWp)	Média Anual - PR
Norte	1489	0,8
Noroeste	1469	0,8
Central de Minas	1407	0,8
Triângulo Mineiro	1400	0,8
Jequitinhonha	1364	0,79
Oeste	1341	0,79
Mucuri	1323	0,79
Metropolitana de BH	1322	0,79
Rio Doce	1309	0,79
Sul/Sudeste	1287	0,78
Campo das Vertentes	1279	0,78
Zona da Mata	1258	0,78
Média Anual Estado MG	1354	0,79

Fonte: Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, 2016.

Tendo em consideração a análise de acordo com potencial de geração no estado de Minas Gerais, destacando as melhores regiões em termos de performance. Na Figura 13 tem-se o percentual da população no Cadastro Único, cadastro do governo para acesso a políticas públicas destinadas a população de baixa renda no Brasil. Dentre eles, a Tarifa Social que oferece desconto na conta de energia dos beneficiados de acordo com seu nível de renda. Deve-se ressaltar uma maior concentração, proporcionalmente da população de baixa renda nas regiões Norte, Jequitinhonha, Vale do Mucuri e parte do Noroeste.

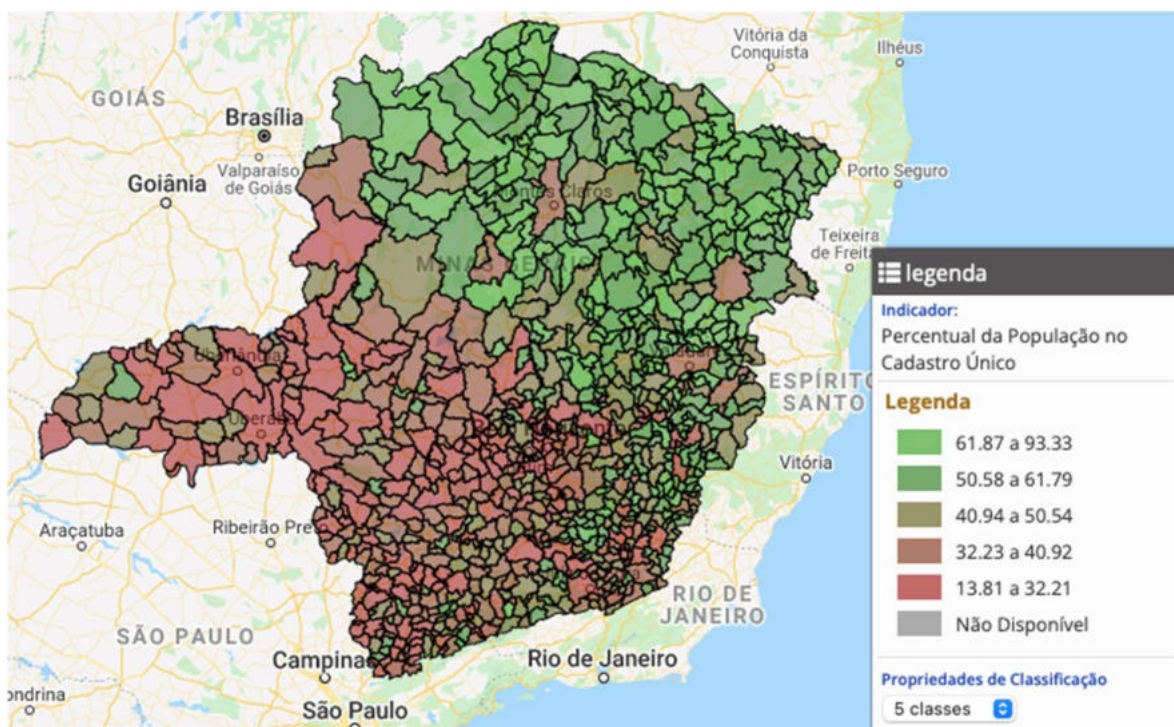


Figura 13 - Percentual da população no Cadastro Único (IMRS, 2019).

Como forma de melhor visualização das regiões explicitadas na análise anterior, tem-se a Figura 14 com a divisão do estado de Minas Gerais em mesorregiões. São 853 municípios subdivididos em 12 mesorregiões: Noroeste de Minas, Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Mucuri, Triângulo Mineiro, Central Mineira, Metropolitana de Belo Horizonte, Vale do Rio Doce, Oeste de Minas, Sul de Minas, Campos das Vertentes e Zona da Mata.

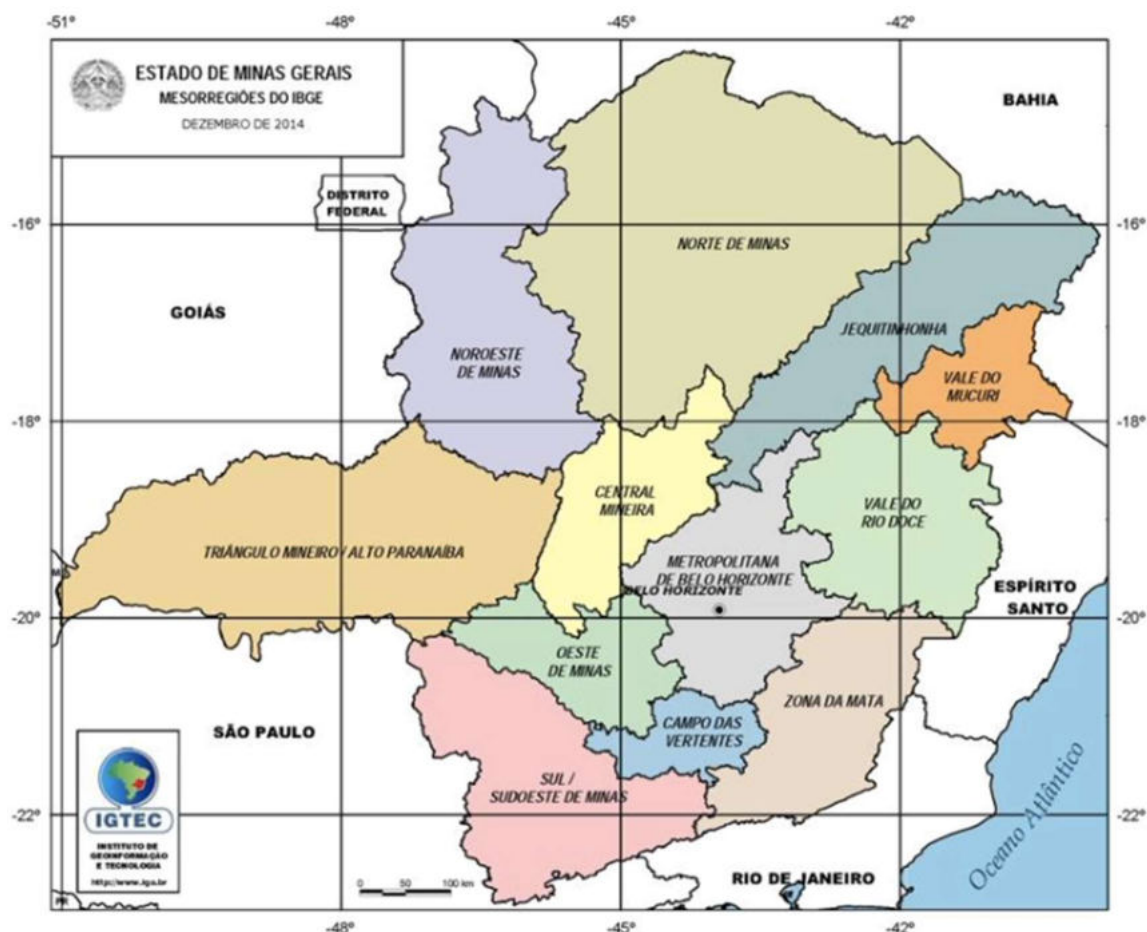


Figura 14 - Mesorregiões de Minas Gerais (Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado, 2011).

Dentro do estado de Minas Gerais, pode-se salientar quatro regiões de desenvolvimento predominantes. Primeiramente, tem-se o Oeste com a Agropecuária como liderança no desenvolvimento local. Incluindo as mesorregiões Triângulo Mineiro, Noroeste, Alto Paranaíba, Sul de Minas e Centro-Oeste. Depois, onde se destaca as *commodities* industriais seria a parte leste do estado. Abrangida pelas regiões do Rio Doce, Zona da Mata e Central do estado. (Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado, 2011)

Terceiro, temos as regiões Central, Centro-Oeste e Sul de Minas tendo como principal atividade a produção de bens de capital e a indústria automotiva. As três regiões de desenvolvimento explicitadas acima apresentam uma atividade econômica de maior valor agregado. Entretanto, as regiões Norte, Jequitinhonha e Vale do Mucuri, completando as quatro regiões de desenvolvimento, são marcadas pela fraca integração a mercados, além de uma baixa atividade econômica. Tais fatores contribuem para os indicadores socioeconômicos da região serem abaixo da média do estado. (Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado, 2011)

Em 2002, foi criado o Instituto de Desenvolvimento do Norte e Nordeste de Minas Gerais (IDENE) através da Lei Estadual nº 14.171. A criação do instituto teve por intuito buscar o desenvolvimento sustentável da região diminuindo a grande concentração da pobreza em parte do

Estado. Assim como, a diminuição da desigualdade em relação ao restante de Minas Gerais. Instituição vinculada à Secretaria de Estado de Desenvolvimento e Integração do Norte e Nordeste de Minas Gerais (SEDINOR) (Hespanhol et al., 2015).

Na Tabela 2 apresenta-se o número de famílias com renda per capita até $\frac{1}{2}$ salário mínimo no ano de 2019 nas cidades com maior quantidade de famílias nestas circunstâncias do Norte e Nordeste do estado. Fator este que define o critério de participação no programa da Tarifa Social.

Tabela 2 - Número de famílias com renda per capita até $\frac{1}{2}$ salário mínimo.

Município	2019
Montes Claros	36174
Januária	11127
São Francisco	11016
Janaúba	10286
Jaíba	8310
Bocaiúva	8279
Pirapora	8267
Porteirinha	6348
Espinosa	6238
Salinas	5746

Fonte: IMRS, 2019.

Na Tabela 2, definida com as 10 primeiras cidades que apresentam maior quantidade em números de famílias de baixa renda, destacamos a microrregião de Montes Claros com 36.174 famílias. A microrregião de Montes Claros está dividida em vinte e dois municípios: Brasília de Minas, Campo Azul, Capitão Enéas, Claro dos Poções, Coração de Jesus, Francisco Sá, Glaucilândia, Ibiracatu, Japonvar, Juramento, Lontra, Luislândia, Mirabela, Montes Claros, Patis, Ponto Chique, São João da Lagoa, São João da Ponte, São João do Pacuí, Ubai, Varzelândia e Verdelândia. Possui uma população estimada em 606.698 pessoas (IMRS, 2019) e área total de 22.248,17 m² (IBGE, 2019).

A cidade de Montes Claros em 2021 possui uma população estimada de 417.478 pessoas. O percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até $\frac{1}{2}$ salário mínimo, foi de 36,4%, cerca de 150.000 pessoas. As quais representam cerca de 20.000 residências inscritas na Tarifa Social da cidade. Esta é a base de dados para a estimativa da geração solar fotovoltaica. Como

mostrado nas Figuras 15 e 16, esta população apresenta valores discretos quando se trata dos sistemas fotovoltaicos instalados na cidade.

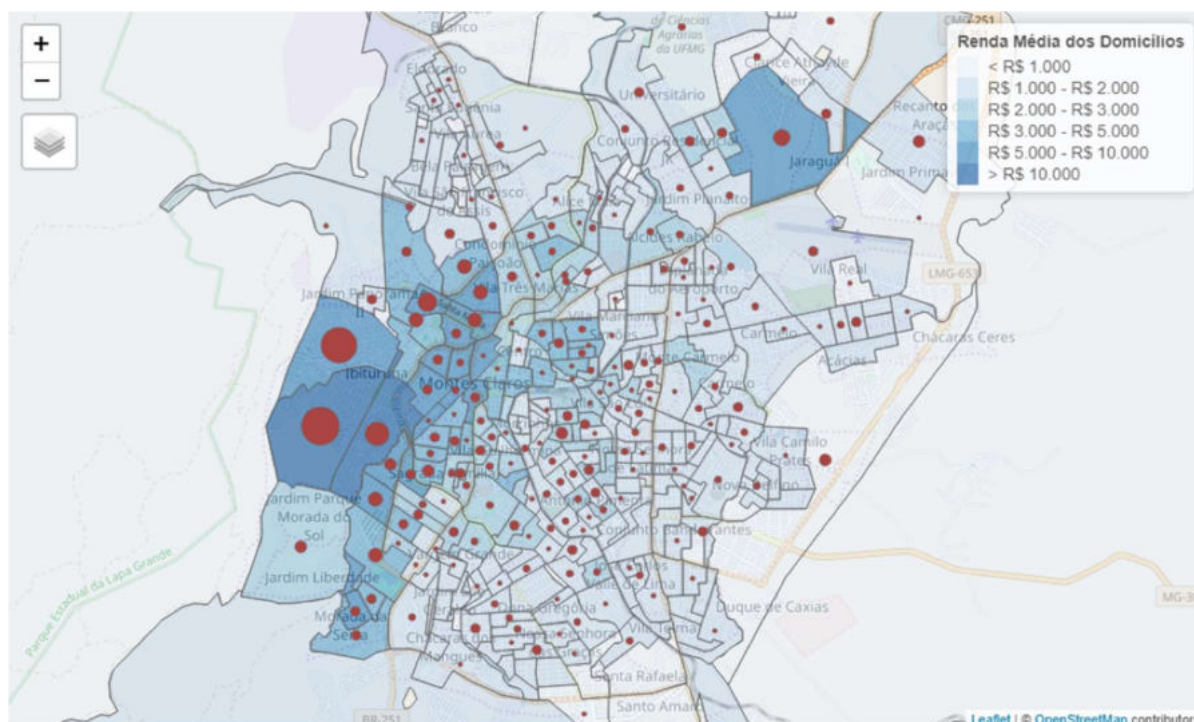


Figura 15 - Sistemas solar fotovoltaicos instalados na cidade de Montes Claros (EPE, 2019).

No gráfico apresentado na Figura 16, pode-se observar a quantidade de sistemas instalados de GD (Geração distribuída), como mostrado, representados na sua maioria por sistemas solares fotovoltaicos em função da renda do domicílio. Definidos em cinco faixas de renda. Considerando, também, os sistemas instalados até o ano de 2019.

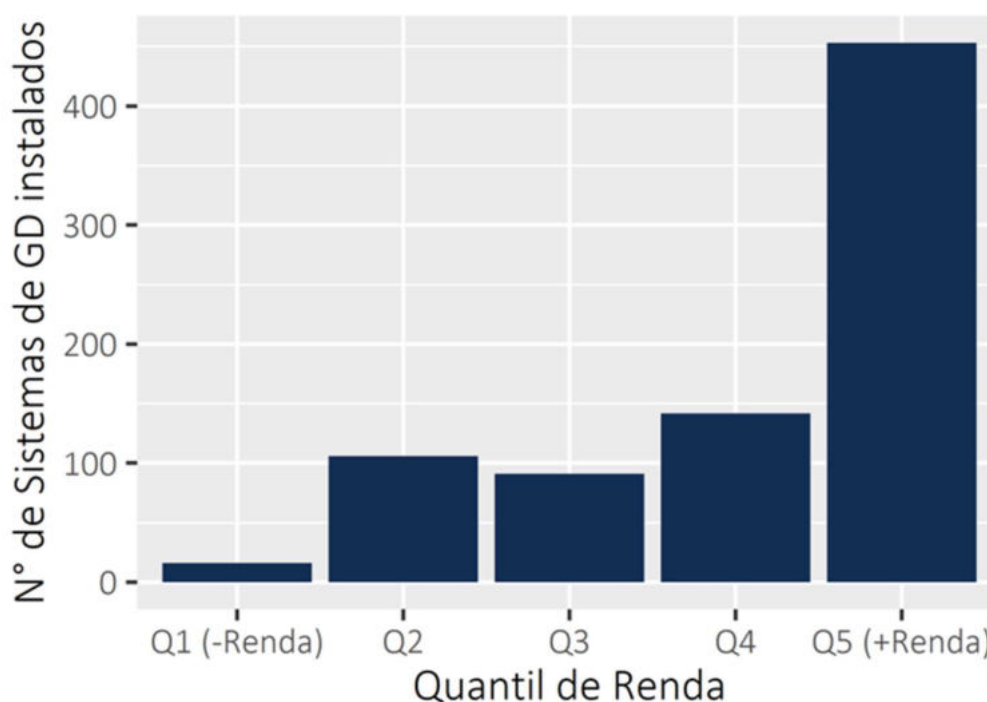


Figura 16 - Sistemas de GD instalados por quantil de renda (EPE, 2019).

Ao analisar as Figuras 15 e 16, constata-se uma concentração de instalações de sistemas fotovoltaicos em domicílios com renda maior que R\$10.000,00. Ou seja, na cidade de Montes Claros os atuais incentivos à geração distribuída no Brasil têm favorecido apenas a população com renda elevada. Sendo aqueles de menor renda excluídos do contexto da transição energética.

Um dos principais fatores que contribui sobre esta concentração nas camadas de renda mais altas está no custo de implantação das placas. Uma política de subsídios para aquisição destas placas solares para a população de baixa renda faz-se necessário. Destaca-se a importância da energia fotovoltaica como uma política social que busque auxiliar a transição energética em todas as faixas de renda da população.

2.6 Transição Sociotecnológica para a geração distribuída

Nos últimos anos, tem crescido a literatura sobre as transições sociotécnicas em direção à sustentabilidade. Surgiram com base nos estudos da inovação, na história e na sociologia da tecnologia e na teoria institucional. Nesta vertente de estudo, explora-se maneiras pelas quais configurações relativamente estáveis de tecnologias, infraestruturas, práticas sociais, instituições e mercados podem mudar para cumprir suas funções sociais de uma forma mais sustentável, como fornecimento de energia, transporte, fornecimento de nutrição, etc (Geels, 2010).

Literaturas sobre a relação entre sistemas tecnológicos e sociais desenvolveram o conceito de "coevolução", o que sugere que os sistemas sociais são alterados pela tecnologia, mas é importante que a própria tecnologia seja moldada pela sociedade. (Hughes, 1986)

Com base no entendimento emergente de transições sociotécnicas destaca-se dois pontos: 1) a coevolução de múltiplas dimensões (tanto técnico-econômicas quanto sociopolíticas), 2) e ao invés de dependerem de forma determinística de forças externas ou macrotendências, eles se concentram na lógica endógena da análise, descrevendo como as atitudes e o comportamento dos atores influenciam no curso de novos desenvolvimentos. Assim, um caminho de transição não surge do nada, mas fica claro por que ele se desenvolve. (Hofman and Elzen, 2010)

As transições sociotécnicas acontecem por meio de processos de interação dentro e entre o regime vigente, inovações de nicho radicais e o cenário sociotécnico. As inovações de nicho são inovações sociais ou técnicas emergentes que diferem radicalmente do sistema e regime sociotécnico prevalecente, mas são capazes de se firmar em aplicações específicas, áreas geográficas ou com a ajuda de políticas de apoio específicas. (Geels, 2019)

O panorama sociotécnico refere-se a desenvolvimentos contextuais mais amplos que influenciam o regime sociotécnico e sobre os quais os atores do regime têm pouca ou nenhuma influência. Os desenvolvimentos da paisagem compreendem tanto tendências de mudança lenta (por exemplo, demografia, ideologia, estruturas espaciais, geopolítica) e choques exógenos (por exemplo, guerras, crises econômicas, acidentes graves, convulsões políticas). (Geels, 2019)

As transições acontecem por meio do alinhamento dos processos. Em suma, as inovações radicais emergem em nichos específicos e se estabilizam e entram em pequenos nichos de mercado. O avanço depende de motivadores internos a nichos, como melhorias de preço / desempenho, economias de escala e de aprendizagem, o desenvolvimento de tecnologias e infraestruturas complementares, entre outros. (Geels, 2018)

Mas a difusão também depende de janelas de oportunidade externas, devido à desestabilização por causa de pressões do panorama ou problemas internos persistentes. A transformação do regime ocorre incluindo ajustes em infra-estruturas, políticas, estilos de vida e visões sobre normalidade. (Geels, 2018)

Na área da política de ciência, tecnologia e inovação, a lógica de intervenção do Estado mudou de medidas para superar a deficiência do mercado e promover o crescimento econômico para um foco mais amplo na promoção da transformação através de mecanismos de intervenção. Essa mudança reflete o aumento da consciência da necessidade de orientar os processos de inovação no sentido de enfrentar os desafios da sociedade e atingir os objetivos de sustentabilidade multidimensionais, conforme exemplificado na Tabela 3. Também exige uma ampliação dos atores envolvidos nas

transformações sociais e dos meios políticos para coordenar tais processos. (Schot and Steinmueller, 2018)

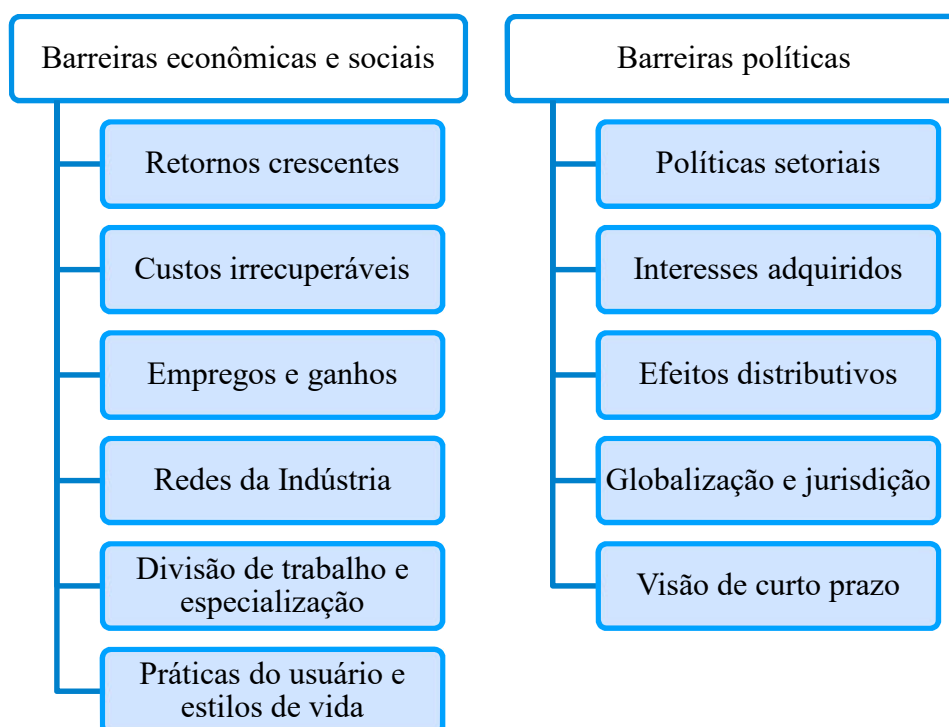
Tabela 3 - Mudanças nas estruturas da política de inovação.

Enquadramento	Características principais	Era	Justificativa
Inovação para crescer	Ciência e tecnologia para o crescimento, promovendo a produção e o consumo.	Desde a década de 1950	Respondendo à falha do mercado: o caráter público da inovação exige ação do Estado
Sistemas nacionais de inovação	Importância dos sistemas de conhecimento no desenvolvimento e aceitação das inovações.	Desde a década de 1980	Respondendo à falha do sistema: mantendo a competitividade, coordenando os atores do sistema.
Mudança transformativa	Alinhamento dos desafios sociais e ambientais com os objetivos de inovação.	Desde a década de 2010	Promover a transformação: caminhos, domínios de coordenação, experimentação, aprendizagem.

Fonte: Schot and Steinmueller, 2018.

Dentro da transição sociotecnológica que aponta avanços, há também as barreiras às mudanças nos sistemas sociotécnicos. Barreiras que contribuem para que as mudanças ocorram, geralmente, a longo prazo. Nesse sentido, os incentivos público e privado contribuem para que estas barreiras sejam quebradas. Pode-se citar barreiras econômicas, sociais e políticas. As quais serão melhor descritas em seguida.

Barreiras à mudança nos sistemas sociotécnicos:



Barreiras econômicas e sociais

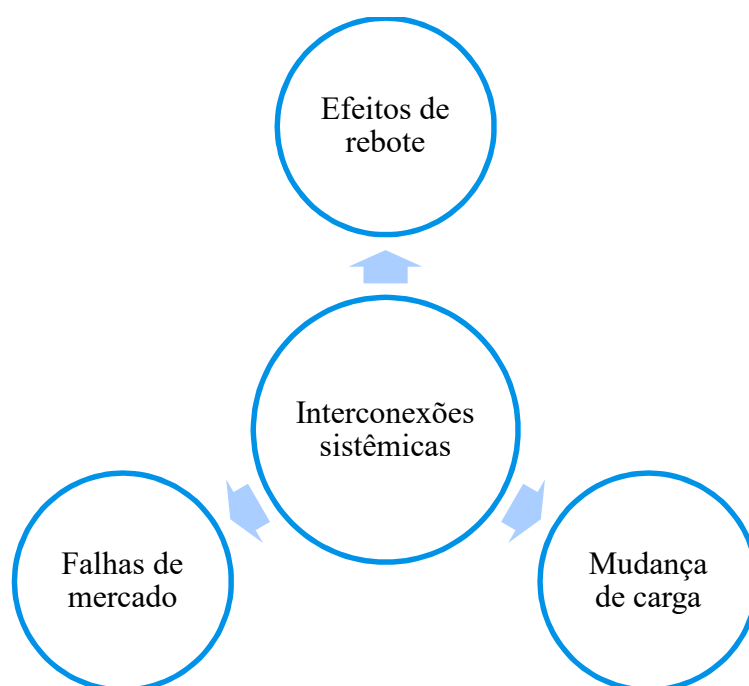
- Retornos crescentes: os custos de produção de novas tecnologias costumam cair significativamente à medida que a produção aumenta devido às economias de escala e ao aprendizado na prática, bem como aos efeitos de rede. Como resultado, as tecnologias estabelecidas podem se tornar o 'design dominante', desfrutando de vantagens significativas de preço / desempenho sobre as inovações 'verdes' emergentes.
- Custos irrecuperáveis: os investimentos públicos e privados em ativos de longa duração, como infraestrutura de transporte ou usinas de energia, são frequentemente muito substanciais. As empresas e os funcionários também fazem grandes investimentos em fábricas, conhecimentos e habilidades, que são voltados para modos de produção específicos.
- Empregos e ganhos: as inovações ameaçam os negócios estabelecidos e podem levar a mudanças econômicas estruturais, levando à perda de empregos e até mesmo impactando economias regionais inteiras. Esses efeitos provavelmente criarão grande resistência por parte dos trabalhadores, grupos industriais e sindicatos.
- Redes da indústria: À medida que uma tecnologia se estabelece, as cadeias de abastecimento e as redes da indústria surgem para fornecer insumos, tecnologias ou infraestrutura complementares. Isso aumenta muito os empregos, rendimentos e investimentos vinculados e dependentes do design dominante.
- Divisão de trabalho e especialização: produzem investimentos em habilidades e conhecimentos específicos que visam otimizar aspectos do projeto dominante. As rotinas cognitivas e as mentalidades compartilhadas podem cegar os atores para desenvolvimentos fora de seu foco.
- Práticas do usuário e estilos de vida: estabilizam tecnologias específicas. Por exemplo, o carro foi incorporado a práticas de mobilidade, como ir para o trabalho, levar as crianças à escola, fazer compras e visitas sociais. Também está embutido em discursos e identidade culturais.

Barreiras políticas

- Políticas setoriais: tendem a criar bloqueios porque os produtores e consumidores farão escolhas e investimentos com base nelas. Em parte, por essa razão, as políticas existentes tendem a favorecer a tecnologia dominante, criando um ambiente desigual.
- Interesses adquiridos: mudar as políticas é difícil devido à oposição ativa à mudança de grupos com interesses investidos (Geels, 2014), que usam estratégias políticas corporativas para moldar políticas a seu favor (Hillman e Hitt, 1999; Levy e Egan, 2003).

- Efeitos distributivos: as mudanças nas políticas afetam grupos diferentes de maneira desigual, criando obstáculos políticos. Por exemplo, a tributação de necessidades como alimentos, energia e mobilidade provavelmente terá impactos regressivos e efeitos variáveis nas populações urbanas e rurais, nos jovens e nos idosos.
- Globalização e jurisdição: A globalização das cadeias de valor e dos fluxos financeiros impõe restrições significativas à eficácia dos instrumentos de política com base territorial nas jurisdições nacionais.
- Visão de curto prazo: Os incentivos eleitorais podem desencorajar os políticos de introduzir medidas que provavelmente serão impopulares a curto prazo, mas que proporcionarão benefícios a longo prazo para a sociedade.

Além das barreiras descritas acima, devem-se observar as interconexões sistêmicas que funcionam como barreiras, também. A globalização e o incentivo ao aumento de consumo, premissas do mercado mundial, se tornam externalidades que facilitam ou dificultam transições locais. Nesta análise, destaca-se os três pontos descritos abaixo.



- Efeitos de rebote: Aumentar os retornos para adoção e inovação tecnológica pode diminuir os custos de bens e serviços, incentivando o aumento do consumo. Como resultado, as melhorias ambientais da inovação tecnológica verde podem ser (parcialmente) neutralizadas pelo aumento do consumo. Por outro lado, podemos perceber que uma demanda por recursos não renováveis e poluentes pode ser um estímulo para busca de novas tecnologias.

- Mudança de carga: Em sistemas cada vez mais globalizados, os esforços para prevenir um problema ambiental ou socioeconômico em um local podem resultar em efeitos de substituição ou realocação da produção para o exterior.
- Falhas de mercado: A globalização dos sistemas de produção-consumo em cadeias de valor frequentemente altamente desintegradas significa que consumidores e produtores (em diferentes estágios) não estão cientes dos impactos socioeconômicos e ambientais de suas escolhas e têm influência limitada sobre eles. As externalidades negativas enfraquecem substancialmente os incentivos para a mudança sistêmica.

Essa lógica multinível surge de ações e interações mais específicas entre vários atores, incluindo empresas, usuários, comunidades científicas, legisladores, movimentos sociais e grupos de interesse. Na perspectiva multinível, as transições são processos quase evolutivos, o que significa que normalmente se baseiam na busca, experimentação, reflexão e aprendizagem. As transições também dependem de forma crítica de interpretações e aceitação social.

As transições são, portanto, fundamentalmente incertas e sem fim; surpresas e resultados não intencionais são esperados. As transições também são conflituosas e profundamente políticas, produzindo *trade-offs*, vencedores e perdedores, e lutas relacionadas, à medida que diferentes grupos sociais - incluindo representantes politicamente influentes e com bons recursos - frequentemente resistem à mudança (Schot and Steinmueller, 2018).

A transição energética em curso no mundo se trata de uma transição sociotécnica. Trata-se de um processo não-linear, gradativo e de longo prazo. A geração distribuída faz parte desse conjunto de mudanças estruturais, conectadas e multidimensionais em tecnologia, economia, instituições, cultura, comportamentos, ecologia e sistemas, por meio de modos de produção e consumo mais sustentável. Definidos como Recursos Energéticos Distribuídos (RED).

Como observado na região de estudo, considerando o desenvolvimento sustentável, a população de baixa renda necessita de incentivos que coloquem essas famílias dentro do processo de transição energética. Gerar sua própria energia só contribui para o processo sustentável se ocorrer de forma igualitária, onde todos os cidadãos de uma sociedade tenham acesso aos incentivos dados.

Além disso, e não menos importante tem-se o modelo institucional do setor elétrico brasileiro, o qual tem como principais objetivos, conforme o Ministério de Minas e Energia (MME): garantir a segurança de suprimento; promover a modicidade tarifária; e promover a inserção social no setor elétrico, em particular pelos programas de universalização de atendimento. Dentre os três principais objetivos destaca-se a inserção social como um dos motivadores deste estudo (MME, 2020).

3. Metodologia

Tendo em vista a complexidade das decisões e políticas do mercado energético, aliadas a uma necessidade de adaptação às novas formas de interação entre as organizações, o meio ambiente e a sociedade, esta pesquisa se mostrará relevante ao gerar aprendizagem que permitirá melhor avaliação das decisões futuras das organizações visando o desenvolvimento sustentável.

Além disso, ao tratar do consumo de energia para ilustrar a indissociabilidade dos papéis de cidadão e consumidor, sendo que essa relação para o consumo de energia é cada vez mais cobrada pelas demandas relacionadas à sustentabilidade do planeta, pode-se defender que, com um melhor entendimento sobre o assunto das externalidades negativas no processo de consumo, maior será a noção de que o indivíduo é um “consumidor-cidadão”.

O presente trabalho busca, através de uma pesquisa quantitativa e bibliográfica, uma análise extrativa descritiva do consumo e possível autogeração energética da classe de baixa renda inscrita no programa da tarifa social na cidade de Montes Claros/MG. Assim como, uma descrição das leis que regem o setor elétrico brasileiro. Transição sociotecnológica para a geração distribuída é um tema ainda pouco discutido no Brasil, o qual cada vez mais faz-se necessário associá-lo às políticas públicas para que haja um melhor aproveitamento das nossas fontes energéticas, além de contribuir para um consumo consciente e sustentável de energia pelos cidadãos.

A base de dados para o desenvolvimento do presente trabalho foi disponibilizada pela Companhia Energética de Minas Gerais S.A (CEMIG), distribuidora que atende Minas Gerais. A base de dados apresenta o consumo energético por mês do ano de 2019 da região Norte de Minas dos consumidores da subclasse “residencial baixa renda”, definido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual se refere aos consumidores contemplados com o programa de tarifa social. Com isso será feito uma análise mais detalhada em relação a cidade de Montes Claros, maior cidade da região. A Figura 17 apresenta o fluxograma das etapas da pesquisa em questão.

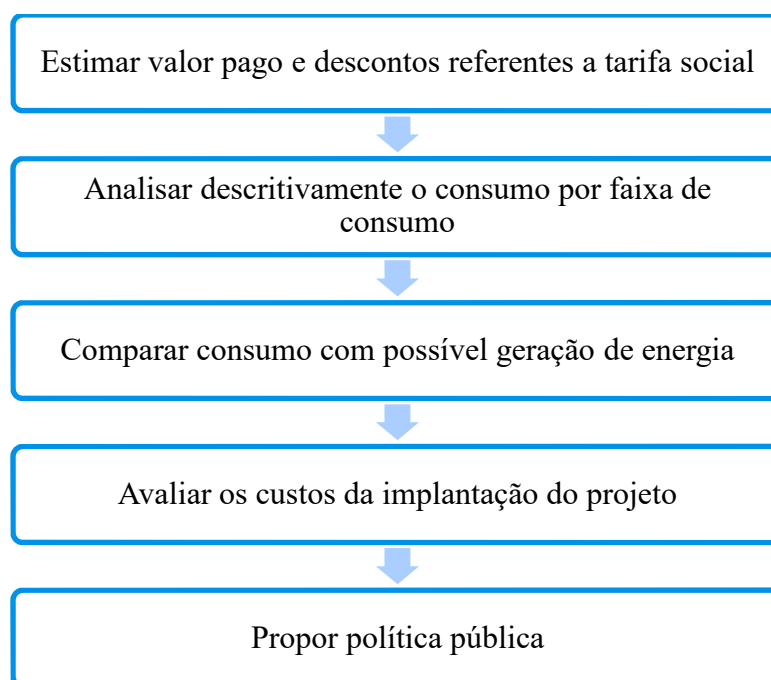


Figura 17 - Método de pesquisa em fluxograma (Pesquisa Própria, 2022).

A primeira etapa consiste em estimar o valor das contas de luz através do consumo e tarifas, considerando o valor pago e o descontado, de acordo com as resoluções da CEMIG. Em seguida, estratificar por faixa de consumo, indicando dentre os cenários a média de consumo dessas residências. Com isso, estimar a capacidade de geração de energia solar fotovoltaica, considerando o consumo dessas famílias. Dentro das perspectivas da microgeração, sistemas fotovoltaicos com uma potência de até 75kW, o qual apresenta melhor adaptação as redes de distribuição, ou seja, menor variação da tensão.

A etapa seguinte, quarta, consiste em avaliar os custos para a implantação desses sistemas fotovoltaicos. Calculando o período necessário para o retorno do investimento, considerando as parcelas, vendida e consumida.

Por fim, propor uma estimativa para uma política pública de acessibilidade da população de baixa renda aos incentivos à geração distribuída de energia adotados atualmente no Brasil, para que, também, possa ter a opção de gerar sua própria energia, além de um aumento de renda.

3.1 Estimativa do valor pago e descontos referentes a tarifa social

O sistema de distribuição é composto pela rede elétrica e pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam em níveis de alta tensão (superior a 69 kV e inferior a 230 kV), média tensão (superior a 1 kV e inferior a 69 kV) e baixa tensão (igual ou inferior a 1 kV). Os consumidores residenciais se enquadram na classe de baixa tensão, denominados de grupo B.

A tarifa da Cemig é definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. A conta de luz corresponde aos valores necessários para a compra da energia, os custos da transmissão e da distribuição, além de encargos setoriais e tributos.

Os tributos federais são cobrados de todos. Mas, o Governo de Minas isenta da cobrança do Imposto sobre a circulação de mercadorias e prestação de serviços (ICMS) as unidades consumidoras classificadas nas subclasses Residencial Baixa Renda, que sejam beneficiárias da Tarifa Social de Energia Elétrica – TSEE e cujo faturamento mensal corresponda ao consumo médio de até 3 kWh (três quilowatts/hora) por dia.

Conforme art. 98. Da resolução 414 da ANEEL, o custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B, é o valor em moeda corrente equivalente a:

I – 30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores;

II – 50 kWh, se bifásico a 3 (três) condutores; ou

III – 100 kWh, se trifásico.

Na tabela 4 temos os valores tarifários de acordo com o grupo, residencial ou residencial baixa renda, e bandeiras tarifárias da CEMIG. Sendo que as tarifas referentes ao grupo residencial baixa renda variam de acordo com o consumo em quatro subgrupos, ou seja, quanto maior o consumo menor o desconto dado na tarifa.

Tabela 4 - Tarifas de energia do grupo B.

Tarifas do Grupo B (Antes de IMPOSTOS)					
	Bandeira Verde – Consumo R\$/KWH	Bandeira Amarela – Consumo R\$/KWH	Bandeira Vermelha 1 – Consumo R\$/KWH	Bandeira Vermelha 2 – Consumo R\$/KWH	Bandeira Escassez Hídrica – Consumo R\$/KWH
B1 – Residencial Normal					
Residencial Normal (Consumo R\$/kWh)	0,618050	0,636790	0,657760	0,712970	0,760050
B1 – Residencial Baixa Renda					
Consumo mensal até 30 kWh (R\$/kWh)	0,192030	0,210770	0,231740	0,286950	0,334030
Consumo mensal entre 31 até 100 kWh (R\$/kWh)	0,329200	0,347940	0,368910	0,424120	0,471200
Consumo mensal entre 101 até 220 kWh (R\$/kWh)	0,493810	0,512250	0,533520	0,588730	0,635810
Consumo mensal superior a 220 kWh (R\$/kWh)	0,548690	0,567430	0,588400	0,643610	0,690690

Fonte: Cemig, 2021.

Como exemplificado acima, a Tabela 5 apresenta os descontos dados a cada faixa de consumo no programa da Tarifa Social. Confirmando que quanto maior o consumo, menor o desconto.

Tabela 5 - Desconto de acordo com faixa de consumo (Cemig, 2021).

Residencial Baixa Renda	
Consumo (kWh)	Desconto (%)
0 a 30	65
31 a 100	40
101 a 220	10
maior que 220	0

Fonte: Cemig, 2021.

Para ter direito ao benefício, as famílias deverão atender a um dos seguintes requisitos:

– Estarem inscritas no Cadastro Único do Governo Federal (CadÚnico), com os dados da família atualizados no CadÚnico há menos de 24 meses e com renda familiar de até meio salário mínimo por pessoa;

– Estarem inscritas no Cadastro Único do Governo Federal (CadÚnico), com os dados da família atualizados no CadÚnico há menos de 24 meses e com renda familiar de até três salários mínimos, que tenha portador de doença ou patologia cujo tratamento ou procedimento médico requeira o uso continuado de aparelhos elétricos;

– Terem algum membro familiar que receba o Benefício de Prestação Continuada da Assistência Social (BPC), das espécies Idoso ou Pessoa Portadora de Deficiência, em conformidade com os artigos 20 e 21 da Lei 8742 de 07 de dezembro de 1993.

A partir da base de dados, fornecida pela ANEEL, em relação ao consumo de energia daqueles inscritos na tarifa social no ano de 2019, existem cerca de 20.000 inscritos no programa na cidade de Montes Claros. Assim sendo, o presente trabalho consta como base de dados para estimação de consumo esses consumidores residenciais de baixa renda da cidade de Montes Claros.

Além disso, serão utilizados os valores médios das tarifas de acordo com as bandeiras. Valores estes obtidos através da CEMIG em dado aberto disponível no site da empresa.

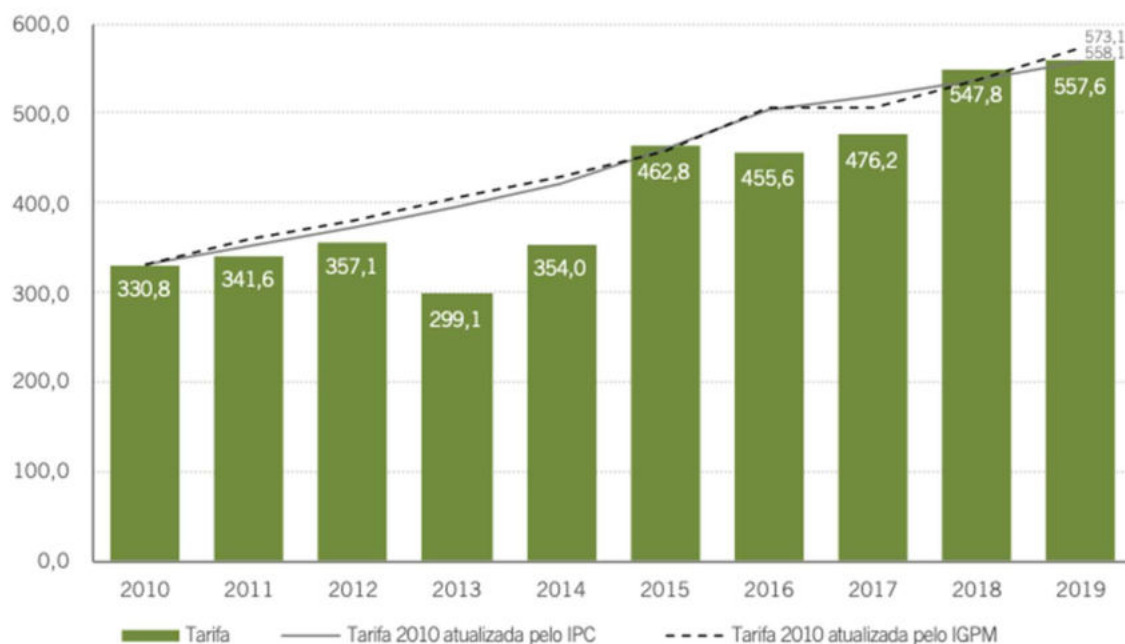


Figura 18 - Evolução da tarifa de energia (Aneel, 2019).

O gráfico apresentado na Figura 18, mostra a evolução da tarifa de energia elétrica no Brasil de 2010 até 2019. Assim como, a tarifa de 2010 atualizada pelos índices IPC e IGPM. Com isso, podemos definir a evolução das tarifas de acordo com esses índices, porque se aproximaram dos valores reais.

3.2 Estimativa da geração própria de energia

A comparação entre o custo de energia para esses consumidores com o custo da autogeração de energia será feita por meio do cálculo do custo nivelado de energia, o LCOE (Levelized Cost of Energy). Sendo esta auto geração por um sistema solar fotovoltaico. O LCOE vem sendo bastante utilizado nestes casos, comparar preço de eletricidade gerada por diferentes tecnologias.

Esse parâmetro é uma métrica que tem sido bastante efetiva na avaliação de um sistema solar fotovoltaico quando se comparado ao sistema tradicional de cálculo por watt.

O LCOE considera na sua definição, todos os custos inerentes a um projeto fotovoltaico. Tanto os custos de instalação, como aquisição dos painéis, inversor, entre outros. Quanto de operação do sistema, também, como troca do inversor, limpeza dos painéis, vigilância, entre outros. Por fim, temos a parcela residual a qual seria o valor dos elementos ao final da vida útil do projeto.

O custo de investimento inicial de recursos naturais e o custo de capital são fatores de entrada importantes, que podem variar significativamente e impactar o LCOE final. A disponibilidade do

recurso natural é específica para parâmetros geográficos e, em combinação com a tecnologia escolhida, é um fator determinante para a produção de energia e a entrada principal para o LCOE.

Portanto, temos a definição do cálculo, como custo total da usina dividido pela energia total produzida pelo sistema ao longo da sua vida útil. Assim sendo:

$$\text{LCOE} = \text{CT} / \text{EP}$$

Onde:

CT = Custo total da usina;

EP = Energia produzida pela usina.

O custo total da usina pode ser calculado como:

$$\text{CT} = \text{Capex} + \text{Opex} - \text{Residual}$$

Onde:

Capex = Custo de construção da usina [R\$];

Opex = Custo de operação da usina ao longo de sua vida útil [R\$];

Residual = Valor dos equipamentos ao final da vida útil [R\$].

Para se obter o valor do LCOE, será utilizado o software PVSyst, que leva em consideração a geração total do sistema, perdas modeladas e o decaimento de rendimento dos módulos e dos inversores ao longo dos 25 anos de operação da usina.

Considerando as variáveis de entrada no projeto, as quais serão melhor descritas a seguir.

O desempenho energético mostra a quantidade de energia convertida pela tecnologia em questão, incluindo sua eficiência energética. A quantidade de energia gerada depende do tipo de tecnologia, da escala do sistema e de sua capacidade de produção. Tendo em conta a vida útil do sistema, seu desempenho energético é de suma importância para a determinação do LCOE. Assim, quanto maior a geração de energia, menor o LCOE. No caso da energia solar fotovoltaica, a sua estimativa de produção traduz bem a realidade, facilitando os cálculos.

Os custos de implantação de um sistema de energia renovável variam de acordo com o tipo de tecnologia, a escala do sistema e a região geográfica de implantação. A tendência é que tais custos diminuam com o tempo, já que a popularização desses sistemas é uma realidade. Além disso, no caso dos painéis solares, representam grande parte do valor total do sistema.

Os custos de operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos podem variar bastante de acordo com a escala do sistema. Considerando um sistema de porte residencial, esses custos

representam uma parcela pequena do projeto. Já que sistemas residenciais são de fácil limpeza e requerem a substituição do inversor uma ou no máximo duas vezes ao longo da sua vida útil.

A vida útil de um projeto nos diz por quanto tempo podemos considerar sua geração de energia. Logo, no caso de sistemas fotovoltaicos, em que os custos de implantação representam maior parte do projeto, quanto maior sua vida útil mais rentável se torna o sistema. A vida útil considerada, atualmente, para cálculo é de 25 anos. A longa vida útil de projetos fotovoltaicos é um dos principais fatores que contribuem para a viabilidade desses projetos como também a baixa queda de rendimento ao longo da sua vida útil.

Dependendo das tarifas de eletricidade em um sistema, o valor econômico pode apresentar menos perdas se os perfis de produção e consumo ocorram em tempos simultâneos. Altos níveis de autoconsumo podem impactar a avaliação dos resultados dos cálculos LCOE se o preço de importação de eletricidade individual (por exemplo, preço de varejo) for significativamente diferente do preço de exportação de eletricidade (por exemplo, preço de atacado) (Kastel *et al.*, 2015).

O parâmetro da taxa de juros não é uma variável uniforme e pode diferir substancialmente dependendo do país em que o investimento é realizado, refletindo a percepção de risco de tecnologia, fatores econômicos e políticos. Considerando um programa de cunho social, espera-se que tais taxas apresentem valores acessíveis para o financiamento ou compra dos painéis solares proporcionando condições de adesão da população de baixa renda a esta tecnologia e a transição energética vigente.

Cientes da elevada incerteza sobre o futuro no longo prazo, a elaboração do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE) partiu de um “cone de incertezas”, que buscasse abranger uma grande diversidade de trajetórias possíveis na demanda de energia. Trabalha-se com um primeiro cenário chamado de “Desafio da Expansão”, delimitando o limite superior do cone, em que a tônica é a pressão para expansão da infraestrutura e oferta de energia, buscando atender um relevante crescimento da demanda. Delimitando o limite inferior do cone, tem-se um cenário “Estagnação”, que testa implicações de uma relativa estagnação na demanda de energia per capita no Brasil.

Neste contexto a Tabela 6 apresenta a projeção da geração distribuída no Brasil nas próximas décadas de 2030, 2040 e 2050 dentro dos dois cenários definidos.

Tabela 6 - Projeção de MMGD no horizonte de 2050 (PNE 2050, 2020).

Indicador	2030		2040		2050	
	Estagnação	Desafio da expansão	Estagnação	Desafio da expansão	Estagnação	Desafio da expansão
Potência instalada (MW)	3180	13669	5525	27728	8395	49888
Energia Gerada (Mwmédio)	1146	2720	2092	5729	3664	10452
% da Carga Total	1,6	2,5	2,8	3,9	4,8	5,6

Basicamente, o perfil tecnológico seguiria concentrado na solar fotovoltaica, representando pouco mais de 85% da capacidade instalada no fim do horizonte, por conta da sua modularidade, custo decrescente e difusão da tecnologia entre a sociedade. No entanto, principalmente através do modelo de autoconsumo remoto e geração compartilhada se enxerga grande potencial para a geração eólica, termelétrica à biomassa e hidrelétrica. São fontes que podem apresentar custos menores do que a fotovoltaica e, portanto, ganhar espaço da fonte solar.

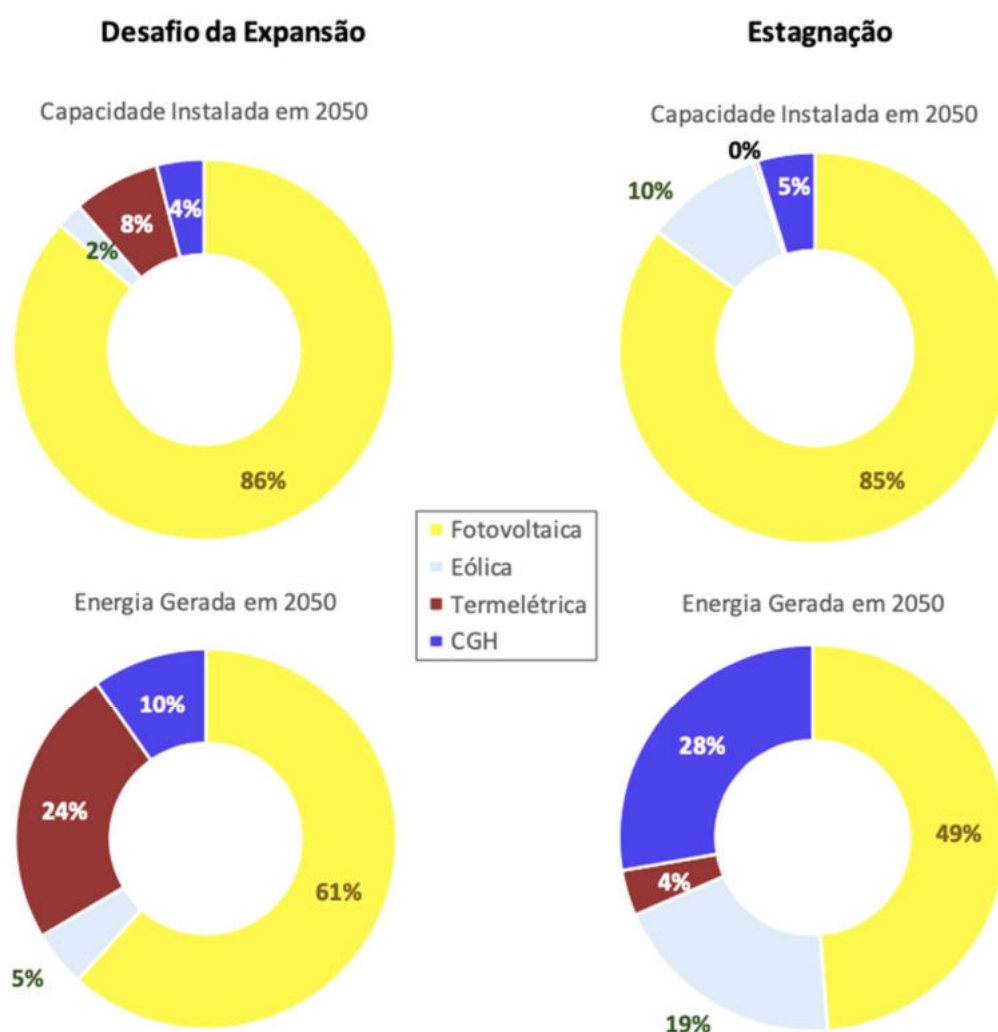


Figura 19 - Composição tecnológica da matriz de MMGD (PNE 2050, 2020).

Como mostrado na Figura 19, em todos os possíveis cenários da matriz elétrica brasileira, em relação a geração distribuída, tem-se a geração solar fotovoltaica como vetor principal. Representado de 85 a 86% da capacidade instalada em 2050.

3.3 Avaliação dos custos da implantação do projeto

Como descrito na seção anterior, um projeto de geração de energia solar fotovoltaica tem a maior parte dos seus custos na implantação do projeto, principalmente, na aquisição de painéis e inversor, além da instalação dos mesmos. Com isso, o cálculo do payback em relação ao investimento inicial feito tem sua importância na análise de viabilidade do projeto.

O payback simples trata-se do tempo decorrido até quando o lucro líquido acumulado se iguala ao valor do investimento, ou seja, quando o valor monetário da energia gerada por um sistema paga o valor investido nele. A partir desse instante, considerando a venda de energia, é possível estimar a lucratividade do projeto, considerando a vida útil do sistema. O payback simples não considera a valorização do capital no período.

$$PB = \text{Inv.Inicial} / \sum Fct_p$$

Onde:

PB = Payback simples;

Inv.Inicial = Valor do investimento inicial;

$\sum Fct_p$ = Fluxo de caixa no período.

4. Resultados

4.1 Análise do consumo dos inscritos na tarifa social em Montes Claros/MG

A partir da base de dados definida a qual apresenta 19.709 residências inscritas na Tarifa Social em Montes Claros/MG. Lembrando que este valor corresponde a cidade de Montes Claros e não a microrregião da mesma. A qual se fosse considerada teríamos cerca de 39.777 residências.

Considerando os valores das tarifas atuais de energia da CEMIG, foi feita uma média das bandeiras tarifárias apresentadas na seção anterior e a partir dessas médias, na Tabela 7, temos a estimativa do valor pago sem impostos.

Tabela 7 - Médias tarifárias por faixa de consumo.

Média Tarifas	
Residencial Normal (Consumo R\$/kWh)	0,677124
Consumo mensal até 30 kWh	0,242143
Consumo mensal entre 31 até 100 kWh	0,379313
Consumo mensal entre 101 até 220 kWh	0,552824
Consumo mensal superior a 220 kWh	0,617848

Fonte: Pesquisa própria, 2021.

A Tabela 8 apresenta a estimativa do valor pago pelos inscritos na tarifa social, considerando a média de consumo mensal dessas famílias, assim como o total em kwh mensal consumido. Além disso, tem-se o valor total pago sem impostos e com o desconto (Total CD) e, também, qual seria o valor pago caso não tivessem desconto (Total SD).

Tabela 8 - Estimativa do valor pago com e sem descontos.

Estimativa do valor pago com e sem descontos				
	Media(kwh)	Total (kwh)	Total CD(R\$)	Total SD(R\$)
jan/19	103,7	2043899,00	1.383.973,07	1.022.073,30
fev/19	102,4	2017648,00	1.366.197,88	1.004.369,45
mar/19	95,9	1890725,00	1.280.255,27	920.510,23
abr/19	104,9	2066536,00	1.399.301,12	1.040.223,93
mai/19	98,7	1945040,00	1.317.033,26	959.005,43
jun/19	93,9	1850681,00	1.253.140,52	897.426,05
jul/19	90,5	1783908,00	1.207.926,92	854.281,46
ago/19	97,5	1921207,00	1.300.895,37	947.440,85
set/19	100,2	1975530,00	1.337.678,78	983.489,39
out/19	107	2109013,00	1.428.063,32	1.075.088,59
nov/19	102,6	2022976,00	1.369.805,60	1.016.117,43
dez/19	95	1873018,00	1.268.265,44	916.658,56
Total	99,36	23500181,00	15.912.536,56	11.636.684,67

Fonte: Pesquisa própria, 2021.

Como pode-se observar na Tabela 8, a média de consumo daqueles inscritos na Tarifa Social foi de 99,36 kwh por mês. Além disso, destacamos a pequena variação desse consumo ao longo do ano, sendo os meses de junho e julho de menor consumo, os quais são os meses de menor temperatura na região. O consumo médio anual foi de 23.500.181 kwh. Assim como, o desconto dado total no ano de 2019 foi cerca de R\$4.200.000,00 reais. É importante ressaltar que o consumo total médio do ano de 2019 foi de 1.958.348,42 kwh.

As Tabelas 9 e 10, mostram uma descrição mais detalhada dos dados, dividido em quatro faixas de consumo, definidos de acordo com as faixas de consumo onde se muda o valor da tarifa. Tendo o total de residências na faixa de consumo e a sua média de consumo mensal.

Tabela 9 - Média de consumo mensal por faixa de consumo.

	Consumo mensal até 30 kWh		Consumo mensal entre 31 até 100 kWh	
	Residências	Media(kwh)	Residências	Media(kwh)
jan/19	1510	6,70	9206	74,40
fev/19	1575	6,60	9343	74,60
mar/19	1673	7,00	10337	73,00
abr/19	1639	6,00	8716	75,10
mai/19	1728	6,60	9637	73,70
jun/19	1834	6,50	10357	72,60
jul/19	1896	6,70	10866	71,70
ago/19	1892	5,90	9560	73,30
set/19	1865	5,50	9078	74,20
out/19	1865	4,80	7984	75,70
nov/19	1904	5,20	8752	74,60
dez/19	2039	5,70	9913	72,80
Média anual	1785	6,10	9479	73,81

Fonte: Pesquisa própria, 2021.

Tabela 10 - Média de consumo mensal por faixa de consumo.

	Consumo mensal entre 101 até 220 kWh		Consumo mensal superior a 220 kWh	
	Residências	Media(kwh)	Residências	Media(kwh)
jan/19	8236	137,20	760	287,70
fev/19	8093	137,00	701	288,10
mar/19	7173	135,60	529	287,70
abr/19	8584	137,50	769	288,20
mai/19	7777	136,30	566	288,00
jun/19	7069	135,60	452	285,90
jul/19	6567	134,40	383	287,60
ago/19	7710	136,60	550	285,40
set/19	8149	136,80	620	285,80
out/19	8970	137,80	893	291,30
nov/19	8304	137,20	752	287,90
dez/19	7226	136,30	534	290,50
Média anual	7822	136,53	626	287,84

Fonte: Pesquisa própria, 2021.

Assim sendo, a Tabela 9 apresenta aqueles que consumiram mensalmente até 30 kwh por mês foram na média 1785 residências. Os quais apresentaram um consumo médio de 6,10 kwh mês. Aqueles com consumo entre 31 e 100 kwh foram em média 9479 residências com consumo médio mensal de 73,81 kwh.

Continuando a análise, na Tabela 10 pode-se observar aqueles que consumiram entre 101 e 220 kwh, totalizando 7822 residências na média e um consumo mensal médio de 136,53 kwh. Por fim, aqueles que consumiram mais que 220 kwh foram em média 626 residências com um consumo médio mensal de 287,84 kwh.

A partir dos dados supracitados, temos a maior parte das residências com consumo entre 31 e 100 kwh, cerca de 50% do total. E junto dos 37% do total que consumiram entre 101 e 220 kwh representam 87% das famílias inscritas na Tarifa Social. Por fim não menos importante, aqueles com consumo menor que 30 kwh foram cerca de 10% e os que consumiram em média mais de 220 kwh, 3%, aproximadamente.

4.2 Análise da possível geração de energia solar fotovoltaica

Considerando a análise da seção anterior, onde foi possível observar o consumo e a estimativa do valor pago pelas famílias inscritas na Tarifa Social na cidade de Montes Claros/MG. Agora iremos analisar a estimativa da geração de energia solar fotovoltaica dessas residências. Para a presente análise foi utilizado o software PVSyst, o qual nos traz uma análise bastante assertiva da geração de energia fotovoltaica.

Através do PVSyst é possível definir a localização precisa de uma casa em Montes Claros, tendo, assim, a incidência solar do local. Além disso, com os dados de entrada podemos definir a orientação dos painéis, assim como a potência e todas as especificações do mesmo compatíveis com os disponíveis no mercado. O mesmo acontece para o inversor. Com isso, é possível prever as perdas do sistema e a sua geração de energia.

A região escolhida para a simulação foi no bairro Morrinhos, próximo a região central de Montes Claros/MG. A escolha foi feita de forma aleatória, já que em três simulações em diferentes regiões da cidade a variação de incidência foi mínima, menos de 1%.

Localização:

Latitude: -16,73 °S

Longitude: -43,86 °W

Altitude: 656 m

Fuso Horário UTC-3

A orientação escolhida para a inclinação dos módulos foi de 30°, inclinação comum de um telhado residencial. Como a intenção do projeto é gerar uma quantidade maior do que a consumida para a venda de uma parcela excedente, foram utilizados 5 painéis solares com 440 Wp de potência, totalizando 2200 Wp de potência total. Além disso, foi considerado um sistema acoplado à rede. Os resultados da simulação serão apresentados nas Figuras abaixo.

Características do grupo FV			
Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	Mono 440 Wp Twin 144 half-cells	Modelo	3 kWac inverter
(Base de dados original do PVsyst)		(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	440 Wp	Potência unitária	3.00 kWca
Número de módulos FV	5 unidades	Número de inversores	1 unit
Nominal (STC)	2200 Wp	Potência total	3.0 kWca
Módulos	1 String x 5 Em série	Tensão de funcionamento	125-440 V
Em condições de func. (50°C)		Rácio Pnom (DC:AC)	0.73
Pmpp	1998 Wp		
Umpp	187 V		
I mpp	11 A		
Potência FV total		Potência total inversor	
Nominal (STC)	2 kWp	Potência total	3 kWca
Total	5 módulos	N.º de inversores	1 Unidade
Superfície módulos	11.1 m ²	Rácio Pnom	0.73
Superfície célula	9.9 m ²		

Figura 20 - Características do grupo FV (PVsyst, 2021).

A figura 20 apresenta as características detalhadas do grupo fotovoltaico, tanto dos módulos quanto do inversor utilizado na simulação. A escolha do módulo FV de 440 Wp, um dos de maior potência no mercado, ocorreu devido a constante evolução dos painéis disponíveis nos últimos anos melhorando a eficiência do sistema sem um aumento expressivo do valor total do projeto. Esse painel solar encontra-se disponível em lojas de departamento no Brasil custando cerca de R\$1200,00.

O inversor utilizado na simulação com potência total de 3 kWca, de certa forma, sobredimensionada para a quantidade de módulos escolhidos, porém não altera a quantidade de energia produzida. A escolha desse inversor foi feita pelo fato de ser o de menor potência disponível no programa de simulação utilizado. Inversores com essas características são encontrados no Brasil custando cerca de R\$3000,00.

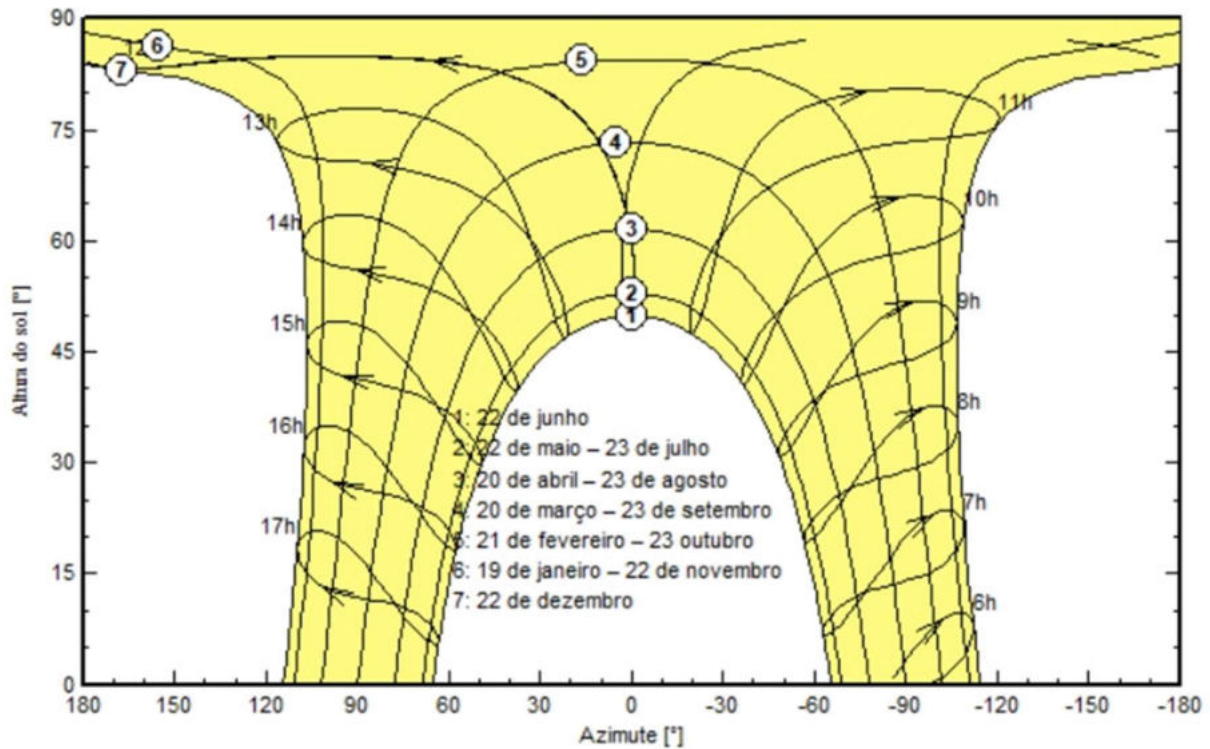


Figura 21 - Trajetória aparente do sol no local de estudo (PVSyst, 2021).

Na Figura 21 tem-se a trajetória aparente do sol ao longo do ano de acordo com a localização escolhida.

Tabela 11 - Desempenho do sistema em incidência e geração de energia (PVSyst, 2021).

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR rácio
Janeiro	199.9	88.31	23.13	165.5	160.1	310.8	299.3	0.822
Fevereiro	172.7	69.64	23.17	156.2	151.9	291.8	281.2	0.818
Março	174.8	72.20	22.84	174.1	170.2	325.9	314.0	0.820
Abril	158.9	57.65	22.00	178.9	176.3	336.6	324.8	0.825
Mai	148.5	44.97	20.59	187.5	184.9	354.3	342.2	0.830
Junho	138.6	40.50	19.09	184.5	182.2	353.3	341.8	0.842
Julho	152.2	36.20	19.00	199.0	196.5	378.5	366.2	0.837
Agosto	177.6	41.89	20.76	213.4	210.8	400.9	387.5	0.825
Setembro	188.6	49.15	22.21	200.7	197.2	372.7	359.9	0.815
Outubro	195.6	73.41	23.56	184.2	179.7	343.1	331.0	0.817
Novembro	179.3	79.62	22.29	152.4	147.6	287.5	276.4	0.824
Dezembro	191.8	79.95	22.89	154.7	149.4	290.7	279.5	0.821
Ano	2078.6	733.47	21.79	2151.2	2106.7	4046.0	3903.8	0.825

De acordo com os dados de entrada definidos, tem-se na Tabela 11 o detalhamento anual do desempenho do sistema. Sendo:

GlobHor – Irradiação horizontal total;

DiffHor – Irradiação difusa horizontal;

T_Amb – Temperatura ambiente;

GlobInc – Incidência global no plano dos sensores;

GlobEff – Global efetivo;

EArray – Energia efetiva à saída do grupo;

E_Grid – Energia injetada na rede;

PR – Índice de performance.

Referente aos dados da Tabela 11 destaca-se a incidência global efetiva no ano totalizando 2106,7 kWh/m². Outro dado destacável seria a energia efetiva à saída do grupo de painéis por ano, 4046 kWh, valor este já considerando as perdas dos painéis, melhor detalhadas na Figura 8. Enfim, a energia injetada na rede por ano, um total de 3903,8 kWh. Ou seja, a energia efetiva menos as perdas no inversor. E por fim, o índice de performance 0,825. Geralmente, as usinas fotovoltaicas apresentam PR próximos a 75%, portanto os 82,5% simulados mostram a incidência solar acima da média observada no Norte de Minas Gerais.

Um dado importante de se ressaltar quanto a energia injetada na rede seria o fato de os meses mais chuvosos apesar de mais quentes tem-se uma menor produção de energia, já que as nuvens são o que mais atrapalham a geração de energia solar fotovoltaica. Em outro ponto de vista, temos uma menor produção na primavera e verão do que no outono e inverno, devido as perdas geradas por causa da maior temperatura dos painéis nestas duas primeiras estações do ano.

Diagrama das perdas por "Nova variante da simulação" - ano

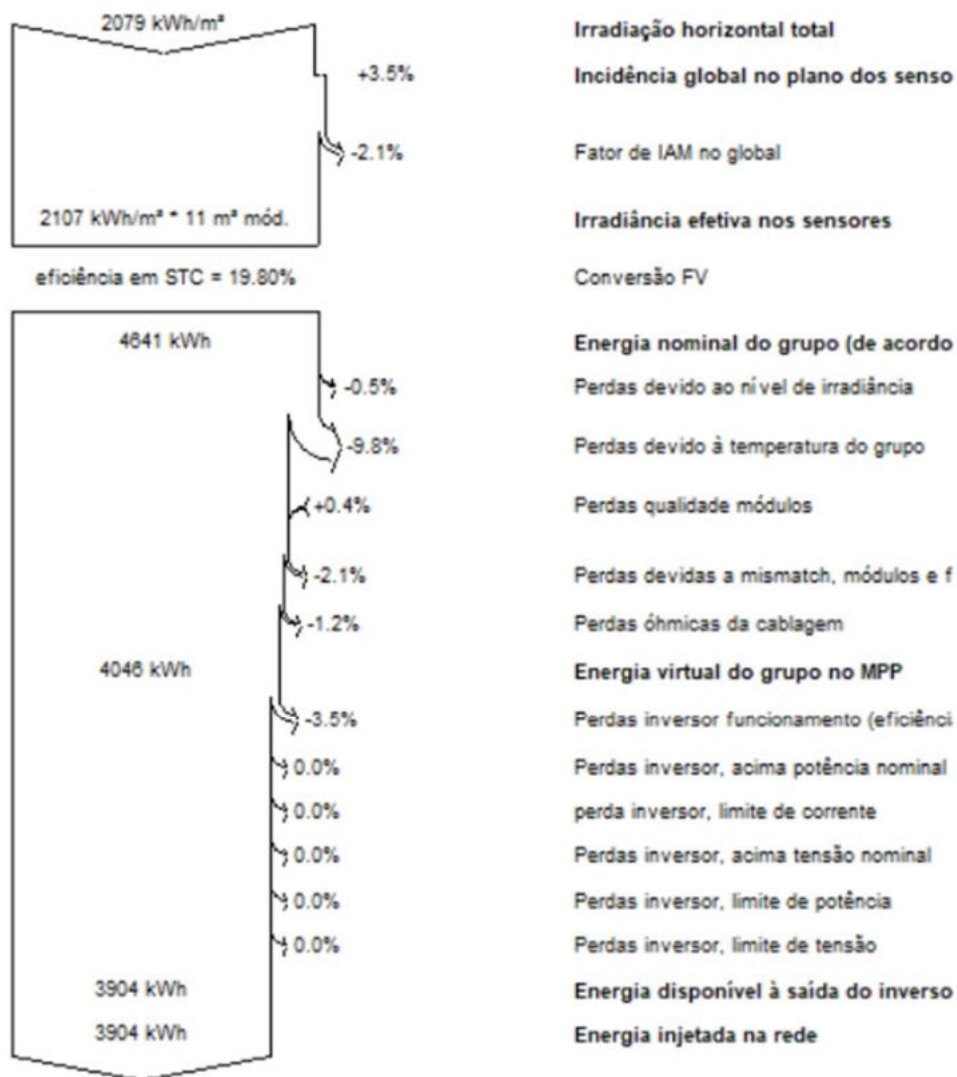


Figura 22 - Diagrama das perdas (PVSyst, 2021).

O diagrama das perdas apresentado na Figura 22 facilita a observação do processo da geração de energia solar fotovoltaica. Desde as perdas referentes à irradiação e à incidência solar. Assim como, das perdas nos painéis, principalmente, em razão da temperatura do grupo de painéis representando 9,8% do total de perdas. Já no inversor temos uma perda de 3,5% devido a sua eficiência. E uma das vantagens do inversor sobredimensionado seria a diminuição das perdas quanto ao limite de corrente, potência e tensão do sistema.

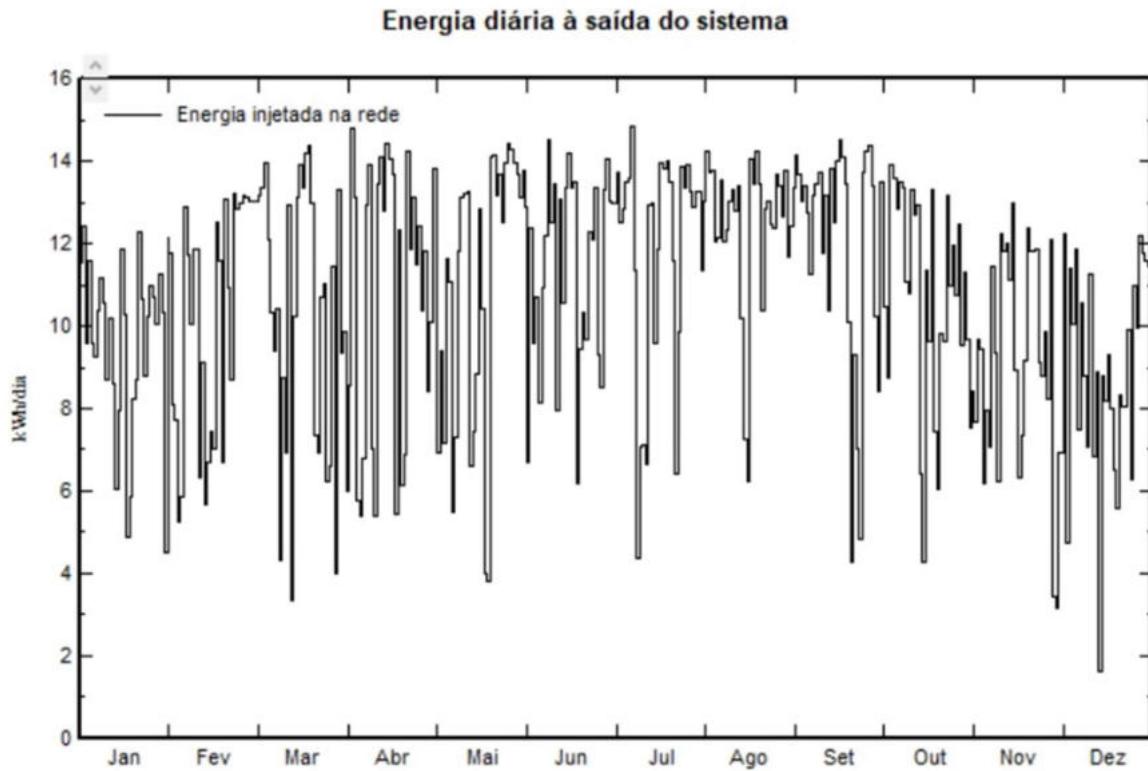


Figura 23 - Energia diária injetada na rede (PVSyst, 2021).

A Figura 23 mostra a energia diária injetada na rede variando de 14 kWh/dia a 6 kWh/dia nas épocas de maior geração. E variando entre 8 kWh/dia a 2 kWh/dia nos períodos de menor geração.

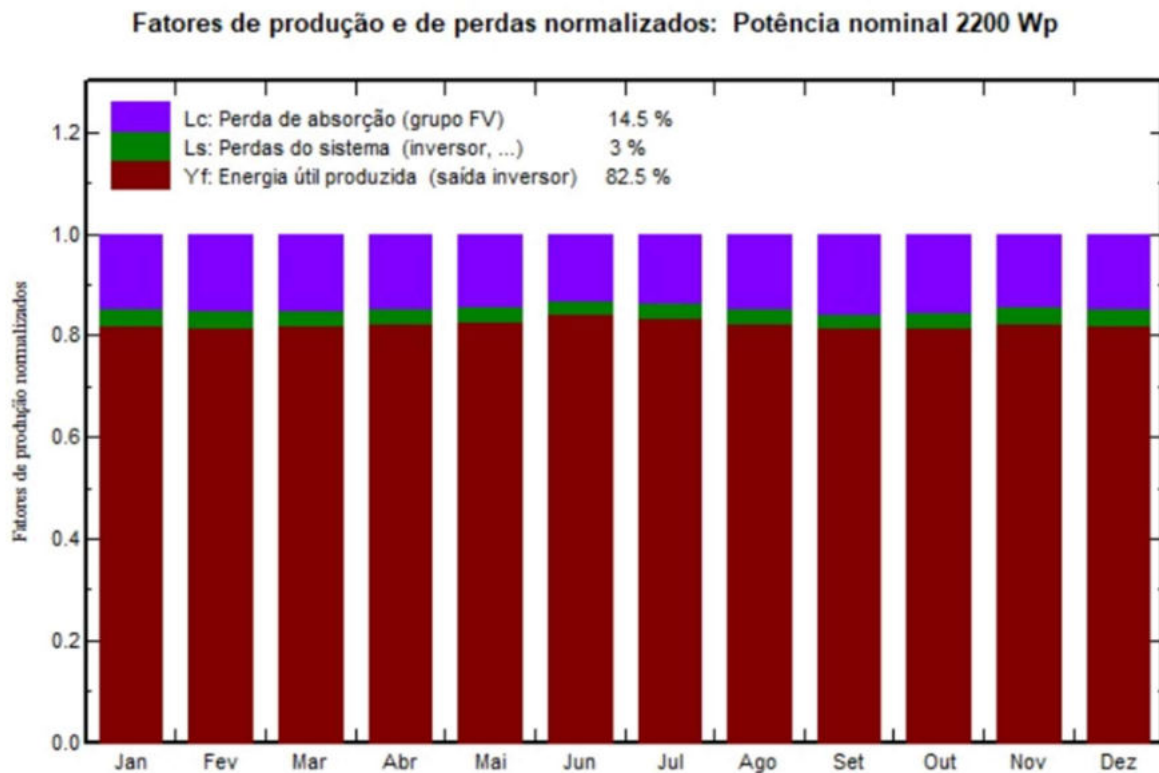


Figura 24 - Fatores de produção normalizados (PVSyst, 2021).

A Figura 24 ilustra os fatores de produção normalizados, os quais demonstram uma melhor eficiência nos períodos mais secos. Períodos estes quando se tem mais dias com poucas ou nenhuma nuvem no céu. Os quais apesar de apresentarem menores temperaturas, logo menor irradiação horizontal, porém maior incidência global efetiva. O que confirma que regiões mais secas influenciam mais em uma melhor geração, do que observar apenas regiões mais quentes.

Tabela 12 - Perdas inerentes ao sistema (PVSyst, 2021).

	ModQual	MisLoss	OhmLoss	EArrMPP	InvLoss
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Janeiro	-1.198	6.735	3.206	310.8	11.42
Fevereiro	-1.126	6.331	3.304	291.8	10.64
Março	-1.258	7.073	3.872	325.9	11.84
Abril	-1.301	7.312	4.275	336.6	11.83
Mai	-1.369	7.697	4.549	354.3	12.05
Junho	-1.365	7.671	4.341	353.3	11.46
Julho	-1.463	8.224	4.941	378.5	12.24
Agosto	-1.551	8.717	5.469	400.9	13.44
Setembro	-1.442	8.104	5.055	372.7	12.81
Outubro	-1.325	7.447	4.077	343.1	12.16
Novembro	-1.108	6.229	2.890	287.5	11.03
Dezembro	-1.120	6.298	2.912	290.7	11.22
Ano	-15.626	87.836	48.891	4046.0	142.13

A Tabela 12 apresenta as perdas ao longo do sistema. Tratando-se de perdas percentuais, logo com maior geração temos mais perdas.

Como vimos ao longo desta seção de análise da possível geração solar fotovoltaica, já temos recursos suficientes no mercado, principalmente, meteorológico e da eficiência dos componentes que nos permite fazer uma análise assertiva sobre a quantidade de geração possível.

Ressalta-se a alta performance na região apresentando valores acima da média nacional e, principalmente, mundial, representa uma vantagem competitiva na geração de energia solar fotovoltaica. Como visto, tal eficiência se explica por se tratar de uma região seca, tendo a maior parte dos dias um “céu aberto”.

4.3 Análise financeira

A análise financeira tem sua importância devido a avaliação da situação financeira do negócio. O objetivo é determinar o seu desempenho para o melhor uso dos seus recursos. Definindo cenários onde o projeto possa se tornar viável e contribuir de forma consistente para a transição energética.

As tarifas de energia, como mostrado na metodologia, acompanham a evolução do IGPM e um reajuste anual de cerca de 5%, apesar de conservador, representam uma boa projeção.

Tabela 13 - Projeção do custo de um projeto de uma usina residencial de energia fotovoltaica na cidade de Montes Claros.

Projeto de uma Usina Residencial			
Descrição	Quant.	Custo unitário em R\$.	Custo total (R\$)
Painel Fotovoltaico 440W	5	1.200,00	6.000,00
Inversor 3kW	2	1.500,00	3.000,00
Instalação	1	1.000,00	1.000,00
Mão de obra	1	1.500,00	1.500,00
Documentação	1	1.000,00	1.000,00
Custo total do Projeto (R\$)			12.500,00

Fonte: Pesquisa própria, 2021.

A Tabela 13 apresenta os custos detalhados do projeto da implantação de uma usina residencial de energia fotovoltaica em Montes Claros com base nos valores de mercado. Considerando uma margem de 10% dos valores estabelecidos, o projeto custa R\$13.750,00. Este valor monetário é base para a análise em questão, excluindo o baixo custo de operação, já que a limpeza dos painéis pode ser feita pelos próprios moradores e não requer nenhum produto específico, retirando apenas o excesso de poeira dos painéis. Como forma de manter a eficiência de geração dos mesmos.

Tabela 14 - Cálculo do payback simples, faixa de consumo até 30kWh.

Ano	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$)	Remuneração (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)	Remuneração Mensal (R\$)
1	3830,8	0,68	2.593,93	-13.750,00	216,16
2	3830,8	0,71	2.723,62	-11.156,07	226,97
3	3830,8	0,75	2.859,80	-8.432,45	238,32

4	3830,8	0,78	3.002,79	-5.572,65	250,23
5	3830,8	0,82	3.152,93	-2.569,85	262,74
6	3830,8	0,86	3.310,58	583,08	275,88
7	3830,8	0,91	3.476,11	3.893,66	289,68
8	3830,8	0,95	3.649,92	7.369,77	304,16
9	3830,8	1,00	3.832,41	11.019,69	319,37
10	3830,8	1,05	4.024,03	14.852,10	335,34
11	3830,8	1,10	4.225,23	18.876,13	352,10
12	3830,8	1,16	4.436,49	23.101,36	369,71
13	3830,8	1,22	4.658,32	27.537,86	388,19
14	3830,8	1,28	4.891,24	32.196,18	407,60
15	3830,8	1,34	5.135,80	37.087,41	427,98
16	3830,8	1,41	5.392,59	42.223,21	449,38
17	3830,8	1,48	5.662,22	47.615,80	471,85
18	3830,8	1,55	5.945,33	53.278,01	495,44
19	3830,8	1,63	6.242,59	59.223,34	520,22
20	3830,8	1,71	6.554,72	65.465,94	546,23
21	3830,8	1,80	6.882,46	72.020,66	573,54
22	3830,8	1,89	7.226,58	78.903,12	602,22
23	3830,8	1,98	7.587,91	86.129,70	632,33
24	3830,8	2,08	7.967,31	93.717,61	663,94
25	3830,8	2,18	8.365,67	101.684,92	697,14

Fonte: Pesquisa própria, 2021.

Os dados supracitados na Tabela 14 mostram a análise de payback simples considerando a primeira faixa de consumo, até 30 kWh mensal. Lembrando que a análise considera que além de gerar sua própria energia o excedente é injetado a rede e vendido pelo valor da tarifa da CEMIG sem impostos e reajustado anualmente. Considerando a média de consumo, 6,1 kWh, desse cenário. Totalizando 73,2 kWh de consumo anual.

Com isso, tem-se o retorno do investimento em 5 anos, ou seja, a pessoa deixaria de pagar energia por 5 anos e partir do sexto ano, além de não pagar energia passaria a receber uma quantia pelo excedente de energia gerada. Assim, quanto menor o seu consumo maior o valor em dinheiro

recebido. Valor este que gira em torno de R\$275 no sexto ano, variando anualmente podendo chegar em cerca de R\$700,00 mensais.

Tabela 15 - Cálculo do payback simples, faixa de consumo entre 31 e 100 kWh.

Ano	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$)	Remuneração (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)	Remuneração Mensal (R\$)
1	3018,4	0,68	2.043,83	-13.750,00	170,32
2	3018,4	0,71	2.146,02	-11.706,17	178,84
3	3018,4	0,75	2.253,32	-9.560,15	187,78
4	3018,4	0,78	2.365,99	-7.306,82	197,17
5	3018,4	0,82	2.484,29	-4.940,83	207,02
6	3018,4	0,86	2.608,50	-2.456,54	217,38
7	3018,4	0,91	2.738,93	151,96	228,24
8	3018,4	0,95	2.875,88	2.890,89	239,66
9	3018,4	1,00	3.019,67	5.766,77	251,64
10	3018,4	1,05	3.170,65	8.786,43	264,22
11	3018,4	1,10	3.329,19	11.957,09	277,43
12	3018,4	1,16	3.495,64	15.286,27	291,30
13	3018,4	1,22	3.670,43	18.781,92	305,87
14	3018,4	1,28	3.853,95	22.452,34	321,16
15	3018,4	1,34	4.046,65	26.306,29	337,22
16	3018,4	1,41	4.248,98	30.352,94	354,08
17	3018,4	1,48	4.461,43	34.601,92	371,79
18	3018,4	1,55	4.684,50	39.063,34	390,37
19	3018,4	1,63	4.918,72	43.747,84	409,89
20	3018,4	1,71	5.164,66	48.666,57	430,39
21	3018,4	1,80	5.422,89	53.831,22	451,91
22	3018,4	1,89	5.694,04	59.254,12	474,50
23	3018,4	1,98	5.978,74	64.948,15	498,23
24	3018,4	2,08	6.277,68	70.926,89	523,14
25	3018,4	2,18	6.591,56	77.204,57	549,30

Fonte: Pesquisa própria, 2021.

A Tabela 15 apresenta a segunda faixa de consumo entre 31 e 100 kWh mensal. Nesta faixa o retorno do investimento acontece no sexto ano. E a partir daí pode-se esperar uma rentabilidade mensal de cerca de R\$230,00 mensais e com reajustes anuais, podendo chegar em cerca de R\$550,00. A média de consumo mensal desse grupo foi de 73,8 kWh, logo um consumo anual médio de 885,6 kWh por ano.

Tabela 16 - Cálculo do payback simples, faixa de consumo entre 101 e 220 kWh.

An o	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$)	Remuneração (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)	Remuneração Mensal (R\$)
1	2266	0,68	1.534,36	-13.750,00	127,86
2	2266	0,71	1.611,08	-12.215,64	134,26
3	2266	0,75	1.691,64	-10.604,56	140,97
4	2266	0,78	1.776,22	-8.912,92	148,02
5	2266	0,82	1.865,03	-7.136,70	155,42
6	2266	0,86	1.958,28	-5.271,68	163,19
7	2266	0,91	2.056,19	-3.313,40	171,35
8	2266	0,95	2.159,00	-1.257,20	179,92
9	2266	1,00	2.266,95	901,80	188,91
10	2266	1,05	2.380,30	3.168,75	198,36
11	2266	1,10	2.499,32	5.549,05	208,28
12	2266	1,16	2.624,28	8.048,37	218,69
13	2266	1,22	2.755,50	10.672,65	229,62
14	2266	1,28	2.893,27	13.428,15	241,11
15	2266	1,34	3.037,93	16.321,42	253,16
16	2266	1,41	3.189,83	19.359,35	265,82
17	2266	1,48	3.349,32	22.549,18	279,11
18	2266	1,55	3.516,79	25.898,50	293,07
19	2266	1,63	3.692,63	29.415,29	307,72
20	2266	1,71	3.877,26	33.107,92	323,10
21	2266	1,80	4.071,12	36.985,18	339,26
22	2266	1,89	4.274,68	41.056,30	356,22
23	2266	1,98	4.488,41	45.330,98	374,03

24	2266	2,08	4.712,83	49.819,39	392,74
25	2266	2,18	4.948,47	54.532,22	412,37

Fonte: Pesquisa própria, 2021.

Na Tabela 16 temos a terceira faixa de consumo entre 101 e 220 kWh mensal. O retorno do investimento acontece no oitavo ano. Sendo que a partir do nono ano temos uma rentabilidade mensal de cerca de R\$190,00 variando anualmente podendo chegar a cerca de R\$410,00 por mês no último ano da análise do total de 25 anos. Este grupo apresentou um consumo médio mensal de 136,5 kWh, totalizando 1638 kWh por ano.

Tabela 17 - Cálculo do payback simples, faixa de consumo maior do que 220 kWh.

Ano	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$)	Remuneração (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)	Remuneração Mensal (R\$)
1	450,4	0,68	304,98	-13.750,00	25,41
2	450,4	0,71	320,23	-13.445,02	26,69
3	450,4	0,75	336,24	-13.124,80	28,02
4	450,4	0,78	353,05	-12.788,56	29,42
5	450,4	0,82	370,70	-12.435,51	30,89
6	450,4	0,86	389,24	-12.064,81	32,44
7	450,4	0,91	408,70	-11.675,58	34,06
8	450,4	0,95	429,13	-11.266,88	35,76
9	450,4	1,00	450,59	-10.837,74	37,55
10	450,4	1,05	473,12	-10.387,16	39,43
11	450,4	1,10	496,77	-9.914,04	41,40
12	450,4	1,16	521,61	-9.417,26	43,47
13	450,4	1,22	547,69	-8.895,65	45,64
14	450,4	1,28	575,08	-8.347,95	47,92
15	450,4	1,34	603,83	-7.772,87	50,32
16	450,4	1,41	634,02	-7.169,04	52,84
17	450,4	1,48	665,73	-6.535,02	55,48
18	450,4	1,55	699,01	-5.869,29	58,25
19	450,4	1,63	733,96	-5.170,28	61,16

20	450,4	1,71	770,66	-4.436,32	64,22
21	450,4	1,80	809,19	-3.665,66	67,43
22	450,4	1,89	849,65	-2.856,46	70,80
23	450,4	1,98	892,14	-2.006,81	74,34
24	450,4	2,08	936,74	-1.114,67	78,06
25	450,4	2,18	983,58	-177,93	81,97

Fonte: Pesquisa própria, 2021.

Na Tabela 17 temos o último caso a ser analisado, o qual não apresentou retorno do investimento em 25 anos. Já que este cenário seria daqueles com consumo maior do que 220 kWh, com consumo médio mensal de 287,8 kWh, ao todo 3453,6 kWh por ano. Cabe ressaltar que apenas 3% da população inscrita na Tarifa Social encontra-se nessa faixa de consumo.

Portanto, ao final da análise dos cenários apresentados, temos 3 das 4 faixas de consumo com retorno do investimento dentro de um prazo aceitável e gerando renda mensal por maior parte do período do projeto, contemplando cerca de 97% dos inscritos na Tarifa Social. Lembrando que a renda familiar máxima para participação no programa é de meio salário mínimo por pessoa, teremos casos em que tal renda pode aumentar em mais de 50% já nos primeiros anos do projeto.

Além disso, não podemos deixar de ressaltar o fato de que essas famílias não pagarão por energia por cerca de 30 anos, considerando a geração após 25 anos mesmo com menor eficiência. E estarão injetando energia na rede de forma, realmente, distribuída facilitando, assim, a adaptação da rede atual aos novos geradores de energia.

É importante ressaltar que este estudo da possível geração solar fotovoltaica de 3903,8 kWh anuais na cidade de Montes Claros contempla cerca de 20.000 inscritos na Tarifa Social e a cidade pode ter uma geração total de 78.000.000 kWh anuais. Extrapolando a análise para o Norte e Nordeste do estado este valor seria, aproximadamente, triplicado. Contribuindo de forma determinante na transição energética dentro do contexto da sustentabilidade.

5. A instalação de usina residencial de energia como política pública de geração de renda e combate à pobreza

Considerando a análise das estimativas de renda gerada pela energia fotovoltaica neste estudo, e a realidade dos índices de pobreza do país, a adoção de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento de comunidades de energia renovável é uma proposta para minimizar esta realidade no Brasil. Além disso, as condições geográficas e climáticas do país são propícias à implantação de

energia solar. Assim como, a disponibilidade de energia elétrica barata e de fácil acesso, é primordial para o desenvolvimento sustentável do país.

O investimento em novas tecnologias de geração de energia sustentável apresenta várias barreiras no Brasil em escala de utilidade pública e entre as partes interessadas no setor tradicional de energia. O conhecimento das perspectivas sociais proporciona uma melhor compreensão da capacidade social de introduzir novas tecnologias e promover melhores informações sobre estas para cientistas de energia, formuladores de políticas, investidores e comunidades próximas.

O foco do investimento local destina-se a ser medidas corretivas para lidar com essas barreiras e colocar o setor nacional em circunstâncias vantajosas para a operação no mercado interno. No entanto, os obstáculos fiscais e os custos de produção relativamente mais altos podem restringir o desenvolvimento energético do Brasil.

Especialmente no caso de recursos insuficientes serem destinados aos programas de incentivos à pesquisa e desenvolvimento, o Brasil tende a continuar em uma posição subordinada e dependente do capital externo, limitando assim seu potencial em termos de inovação, balança comercial e criação de empregos qualificados locais.

A constante preocupação em oferecer políticas públicas que focam em bens de consumo ao invés de bens de capital, dificulta uma mudança a longo prazo na renda das famílias de baixa renda. Fazendo com que os índices socioeconômicos se mantenham estáveis e não apresentem evolução considerável ao longo dos anos.

Considerando que o objetivo desta pesquisa é estimar se a capacidade de geração de energia fotovoltaica pela família beneficiada pela tarifa social de energia, através de uma política pública, gera um excedente financeiro para as famílias e contribua com a transição energética confirma a hipótese desta investigação de que a geração de energia solar fotovoltaica traria acessibilidade da população de baixa renda aos incentivos à geração distribuída adotados atualmente no Brasil.

As questões de pesquisa deste estudo que eram:

- i) É possível uma política social de geração de energia solar fotovoltaica pela população beneficiária da tarifa social de energia no município de Montes Claros/MG?
- ii) Qual a capacidade de geração de energia solar fotovoltaica desta população?

Pelos estudos em outras regiões, a energia solar distribuída gerada pelas comunidades vem trazendo resultados expressivos e isso poderia ser replicado para Montes Claros, e mais especialmente, para o norte de Minas Gerais e outras regiões do Brasil marcadas pela pobreza e carência de recursos.

Na Guatemala, país da América Central, cerca de 17 comunidades receberam kits de geração de energia solar a partir de 2009. Inicialmente, para as famílias com crianças com o intuito de facilitar o estudo na parte da noite. Em seguida, o projeto foi expandido para centros médicos e escolas onde

não se tinha eletricidade, assim como atender as atividades de comércio noturno (Cruising World, 2017).

Em Bangladesh, país asiático, usinas solares de pequeno porte já atendem mais de 4 milhões de famílias e cerca de 20 milhões de pessoas na zona rural, 12% da população do país. O projeto busca atender por volta de 60% da população que não tem acesso à rede elétrica. Para a expansão da energia solar, o país conta com a ajuda do Banco Mundial e outras organizações próprias para o desenvolvimento. É importante lembrar que os moradores pagam pelos painéis solares. Porém, contam com a ajuda de organizações sem fins lucrativos, como a Grameen Shakti, que possibilita o pagamento dos painéis, em taxas mensais, em um período de dois a três anos (Yunus, 1999).

No Brasil, tem-se como exemplo o projeto desenvolvido na comunidade rural de São Romão, onde o bombeamento para captação de água utiliza a energia solar fotovoltaica. O sistema de captação estudado apresentou eficiência para atender a demanda da localidade em um horizonte de 20 anos (Boitrago et al., 2016).

Tabela 18 - Resumo da análise financeira de uma usina residencial em Montes Claros/MG por faixa de consumo.

Faixa de consumo (kWh mensal)	Média de consumo mensal (kWh)	Renda extra mensal* (R\$)	Retorno do investimento (Anos)	Porcentagem da população** (%)
até 30	6,1	275 a 700	5	50
entre 31 e 100	73,8	230 a 550	6	37
entre 101 e 220	136,5	190 a 410	8	10
acima de 220	287,8	Não possui	Não possui	3

* Renda extra pós retorno do investimento. Variação anual de acordo com a tarifa de energia ao longo de 25 anos.

** Porcentagem da população inscrita na tarifa social da cidade de Montes Claros/MG.

Fonte: Pesquisa própria, 2021.

Como visto, na análise desenvolvida, e resumo apresentado na Tabela 18, pode-se afirmar que três (3) dos quatro (4) cenários de faixa de consumo apresentavam retorno do investimento dentro de um período aceitável, de 5 a 8 anos. Além disso, as 3 faixas de consumo representam 97% dos inscritos na tarifa social na cidade de Montes Claros. Sendo assim possível inferir que a geração de

energia solar pode ser uma política pública de acessibilidade desta parte da população, confirmando a hipótese desta investigação.

É importante ressaltar que com o estudo aqui apresentado da possível geração solar fotovoltaica de 3903,8 kWh anuais na cidade de Montes Claros. Onde temos cerca de 20.000 inscritos na Tarifa Social. A cidade pode ter uma geração total de 78.000.000 kWh anuais. Extrapolando a análise para o Brasil, onde cerca de 142 milhões de pessoas, 67% da população total estaria apta a participar de uma política social como esta, contribuindo de forma determinante na transição energética dentro do contexto da sustentabilidade.

Lembrando que quanto menor o consumo de energia, menor o bem estar das famílias. Logo, aqueles mais pobres, possuem um menor consumo que resulta em maior rentabilidade com a parcela vendida pelo mesmo. Assim, terão maior aumento de renda em porcentagem. Ou seja, o benefício definido no modelo em questão, representa um maior aumento de renda quanto mais pobre for a família.

Ressalta-se que mesmo avaliando o custo do projeto com base nos preços de mercado para implantação da usina, a renda excedente foi maior para a camada da população de baixo consumo de energia, o que sugere que o governo crie mais subsídios a esta população para financiamento das usinas e estimule menor consumo de energia.

6. Considerações finais e as contribuições da pesquisa

O objetivo deste estudo foi estimar a capacidade de geração de energia solar fotovoltaica pela população inscrita na tarifa social de energia na cidade de Montes Claros/MG. Sendo parte da geração para consumo próprio e parte negociada com a Cemig SIM.

Considerando que há um potencial de geração de energia fotovoltaica pela população usuária da tarifa social, é pertinente que o estado de Minas Gerais, através da CEMIG SIM estimule, através de uma Associação de Interesse – os usuários da tarifa social de energia elétrica como produtores de energia fotovoltaica para consumo próprio e como plataforma de geração fotovoltaica para contribuir com a transição energética – para contribuir com, não somente com a transição energética, mas transformar as família usuária da tarifa social, em agentes produtores de energia renovável.

Sendo que os objetivos específicos desta investigação são análise descritiva do consumo de energia elétrica dos inscritos na tarifa social da cidade de Montes Claros e estimar o montante de energia fotovoltaica produzido por estas famílias, como mostrado acima, na discussão dos resultados, uma política pública, através de uma associação de interesse formada pelos usuários da tarifa social, não só contribui com a renda familiar das famílias, mas também contribui com a transição energética, injetando energia renovável na rede, para consumo das famílias, barateando inclusive o custo de

produção de energia, porque a energia fotovoltaica representa, o menor custo entre as fontes de energia, como demonstrado ao longo desta investigação.

Considerando os 25 anos de geração solar e o investimento para a implantação do projeto, R\$13.750, o custo do kWh para as famílias fica em torno de 15 centavos de reais o kWh, atingindo o objetivo de gerar energia a baixo custo para famílias de baixa renda.

Como visto, medidas podem ser feitas para que a população de baixa renda, 67% da população brasileira, faça parte da transição sociotécnica de energia. Tendo a geração distribuída como propulsora dessa transição energética.

Este estudo contribui para estimular uma política pública de acessibilidade da população de baixa renda aos incentivos à geração distribuída adotados atualmente no Brasil. É importante ressaltar a criação de uma associação de interesse, para viabilizar estes resultados. Medida que contribui, também, no combate a barreiras inerentes a processos de transição sociotécnica. Já que se trata de um processo de longo prazo.

7. Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Micro e minigeração distribuída. Sistema de compensação de energia elétrica. 2016a. 2a ed, ANEEL, Brasília, mai. 2016.
- ANEEL. Resolução normativa n. 482. Brasília: ANEEL, 2012.
- ARAÚJO L., COELHO M. J., Políticas públicas de energia e ambiente. *Sociologia, Problemas e Práticas*, n. 72, pp. 145-158. 2013.
- ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; André Rodrigues Gonçalves; Rodrigo Santos Costa; Francisco J. Lopes de Lima; Ricardo Rüter; Samuel Luna de Abreu; Gerson Máximo Tiepolo; Silvia Vitorino Pereira; Jefferson Gonçalves de Souza. 2.ed. São José dos Campos : INPE, 2017.
- ATLAS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA BRASIL. EPE, 2020.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2021. EPE, 2020.
- BECKER S., KUNZE C., VANCEA M., Community energy and social entrepreneurship: Addressing purpose, organisation and embeddedness of renewable energy projects. *Journal of Cleaner Production* 147, 25 e 36, 2017.
- BOMBERG E., MCEWEN N., Mobilizing community energy. *Energy Policy* 51, 435–444, 2012.
- BOON F.P., DIEPERINK C., Local civil society based renewable energy organizations in the Netherlands: Exploring the factors that stimulate their emergence and development. *Energy Policy* 69, 297–307, 2014.
- CHANG, H. *Globalization, economic development and the role of the State*. London/New York: TWN/Zed, 2003.
- CORRÊA DA SILVA, R., MARCHI NETO, I., SEIFERT, S. S., Electricity supply security and the future role of renewable sources in Brazil. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 59, 328–342, 2016.
- COSTA, A. T. C., DE CASTRO, N., LEITE, A. L. S., DANTAS, G., CLARO, V. M., Análise dos determinantes da matriz elétrica brasileira. X Congresso Brasileiro de Planejamento energético. Gramado – RS. 2016.
- CRUZ, D. T., Micro e mini geração eólica e solar no Brasil: Proposta para desenvolvimento do setor. São Paulo, 2015.
- DE CASTRO, C. M., Public hearings as a tool to improve participation in regulatory policies. *Rev. Adm. Pública* — Rio de Janeiro 47(5):1069-87, set./out. 2013.
- DE CASTRO, N., DANTES, G., BRANDÃO, R., ROSENDAL R., MOSZKOWICE, M., A Ruptura do paradigma tecnológico e os desafios regulatórios do Setor Elétrico. Brasília: ANEEL. *Revista de P&D*. 7º edição, pp. 10-12. ISBN 1981- 9803. 2017.

- DE CUENCA BARELLA, I., Políticas públicas de fomento de la energía solar en España. *Universitas*, XII (20), janeiro-junho, pp. 65-90. 2014.
- DE JONG, P., Kiperstock, A., TORRES, E. A., Economic and environmental analysis of electricity generation technologies in Brazil. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 52, 725–739, 2015.
- DEL RÍO P., UNRUH G., Overcoming the lock-out of renewable energy Technologies in Spain: the cases of wind and solar electricity. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 1498–1513, 2007.
- DÓCI G., VASILEIADOU E., “Let's do it ourselves” Individual motivations for investing in renewables at community level. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49, 41–50, 2015.
- DUFEY, A., Participación ciudadana en el sector energético chileno: Elementos clave y propuestas (Documento de referencia No18). Santiago de Chile: Espacio Público, 2013.
- FRATE, C. A., BRANNSTROM, C., Stakeholder subjectivities regarding barriers and drivers to the introduction of utility-scale solar photovoltaic power in Brazil. *Energy Policy* 111, 346–352, 2017.
- GEELS, F. W., Disruption and low-carbon system transformation: Progress and new challenges in socio technical transitions research and the Multi-Level Perspective. *Energy Research & Social Science* 37 (2018).
- GEELS, F.W., Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective, *Research Policy* 39 (4) (2010).
- GEELS, F. W., 'Regime resistance against low-carbon transitions: introducing politics and power into the multi-level perspective', *Theory, Culture and Society* 31(5), 2014.
- HESPANHOL, A. N.; PEREIRA, C. S. Região e Regionalizações no estado de Minas Gerais e suas vinculações com as políticas públicas. *Revista Formação, Presidente Prudente*, v. 1, n. 22, 2015.
- HESSING M., HOWLETT M., SUMMERVILLE T., *Canadian Natural Resource and Environmental Policy*. 2nd Edition. Vancouver: UBC Press; 2005.
- HILLMAN, A. J. E HITT, M. A., 1999, 'Corporate political strategy formulation: a model of approach, participation, and strategy decisions', *Academy of Management Review* 24(4), pp. 825–842.
- HOFFMAN, P.S., ELZEN, B., 2010. Exploring system innovation in the electricity system through sociotechnical scenarios. *Tech. Anal. Strat. Manag.* 22 (6), 653–670.
- HOFFMAN, S., HIGH-PIPPERT, A., Community energy: a social architecture for an alternative energy future. *Bulletin of Science, Technology and Society* 25 (5), 387–401, 2005.
- HOLSTENKAMP Lars, KAHLA, Franziska . What are community energy companies trying to accomplish? An empirical investigation of investment motives in the German case. *Energy Policy* 97, 2016, 112–122.
- HUGHES, T.P., The Seamless Web: technology, science, etcetera, etcetera. *Social Studies of Science* 16, 281–292, 1986.

- KASTEL P., GILROY-SCOTT B., Economics of pooling small local electricity prosumers—LCOE & self-consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51 (2015).
- KOIRALA B. P., KOLIOU E., FRIEGE J., HAKVOORT R. A., HERDER P. M., Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56, 722–744, 2016.
- LENNON B., DUNPHY N. P., SANVICENTE E., Community acceptability and the energy transition: a citizens' perspective. *Energy, Sustainability and Society*, 9:35, 2019.
- LEVY, D. L. e EGAN, D., 2003, 'A neo-Gramscian approach to corporate political strategy: conflict and accommodation in the climate change negotiations', *Journal of Management Studies* 40(4).
- LUNDEVALL, B. A. et al. National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy*, v. 31, n. 2, p. 213-231, 2002.
- MARTINS G. A., THEÓPHILO C.R., Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas. Atlas; Edição: 3, 2016.
- MINAS GERAIS (Estado). Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado: PMDI 2011-2030. Belo Horizonte, 2011.
- MME; EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2013. [S.l.], 2013.
- MME; EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2018. [S.l.], 2018.
- MME; EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2019. [S.l.], 2019.
- MME; EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2020. [S.l.], 2020.
- MME; EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2021. [S.l.], 2021.
- MME; EPE. PNE 2030 - Plano Nacional de Energia 2030 - Cadernos temáticos 2008 - v.2. Projeções. Brasília, 2007.
- MME; EPE. PNE 2050 - Plano Nacional de Energia 2050. Brasília, 2020.
- MORAIS, L. C. de. Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras. 2015. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia de Bauru/Unesp. Bauru, SP: 2015.
- NASCIMENTO, A. de Souza. Energia solar fotovoltaica: estudo e viabilidade no nordeste brasileiro. UFPB, João Pessoa, 2015.
- RODRÍGUEZ, N., RUDNICK, H., TIRONI, M. Y VARAS, P., Latin America Goes Electric, *IEEE Power and Energy Magazine*, (11), Núm 3, mayo-junio, 66-75, 2013.
- ROGERS J. C, SIMMONS E. A., CONVERY I., WEATHERALL A. Social impacts of community renewable energy projects: findings from a woodfuel case study. *Energy Policy* 42, 239–247, 2012.
- SEYFANG G., PARK J. J., SMITH A., A thousand flowers blooming? An examination of community energy in the UK. *Energy Policy* 61, 977–989, 2013.

SOUZA, L. E. V., CAVALCANTE, A. M. G., Towards a sociology of energy and globalization: interconnectedness, capital, and knowledge in the Brazilian solar photovoltaic industry. *Energy Res. Soc. Sci.* 21, 143–154, 2016.

TOLMASQUIM, M. T. *Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.* (Coord.). EPE: Rio de Janeiro, 2016.

VIARDOT E., The role of cooperatives in overcoming the barriers to adoption of renewable energy. *Energy Policy* 63, 756–764, 2013.

WALKER, G., What are the barriers and incentives for community-owned means of energy production and use? *Energy Policy* 36, 4401–4405, 2008.