



INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Fluminense

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EM EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS DE
INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE VIABILIDADE NOS MUNICÍPIOS DE RIO DAS
OSTRAS/MACAÉ - RJ

ANDREZA KARLA ALVES PEREIRA

MACAÉ-RJ

2021

ANDREZA KARLA ALVES PEREIRA

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EM EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS DE
INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE VIABILIDADE NOS MUNICÍPIOS DE RIO DAS
OSTRAS/MACAÉ - RJ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Orientador(a): Dr. José Augusto Ferreira da Silva

MACAÉ-RJ

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P436s Pereira, Andreza Karla Alves, 1994-.
Sistema solar fotovoltaico em empreendimentos habitacionais de interesse social: estudo de viabilidade nos municípios de Rio das Ostras/Macaé - RJ / Andreza Karla Alves Pereira. — Macaé, RJ, 2021.
ix, 56 f.: il. color.

Orientador: José Augusto Ferreira da Silva, 1970 -.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2021.
Inclui referências.
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.
Linha de Pesquisa: Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

1. Energia solar - Brasil. 2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Geração distribuída de energia elétrica - Brasil. 4. Desenvolvimento econômico sustentável. 5. Sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios - Macaé (RJ). I. Silva, José Augusto Ferreira da, 1970-, orient. II. Título.

CDD 621.470981

(23. ed.)

Dissertação intitulada **SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EM EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE VIABILIDADE NOS MUNICÍPIOS DE RIO DAS OSTRAS/MACAÉ - RJ**, elaborada por **Andreza Karla Alves Pereira** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Aprovado em: 29 de outubro de 2021.

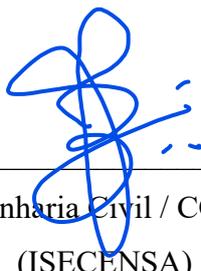
Banca Examinadora:



José Augusto Ferreira da Silva, Doutor em Geografia / Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador



Aurea Yuki Sugai, Doutora em Engenharia Química / Escola Politécnica/USP, Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)



Frank Pavan de Souza, Doutor em Engenharia Civil / COPPE/UFRJ Instituto Superior de ensino (ISECENSA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela presença constante em minha vida transmitindo sempre a segurança necessária para enfrentar as dificuldades e seguir em frente. Se cheguei hoje até aqui foi graças à Ele.

A minha Avó, Jovelina Pereira, por sempre estar ao meu lado me apoiando e ajudando em todas as minhas decisões, sendo minha base em tudo.

Ao meu noivo, Thiago Coriolano, por ser tão presente em minha vida e sempre me apoiar e incentivar a nunca desistir.

Ao meu orientador, José Augusto, por toda paciência, suporte e empenho empregado para elaboração deste trabalho.

Aos professores, por todo conhecimento transmitido.

Ao Instituto Federal Fluminense, IFF – Campus Macaé, pelo ensino gratuito e de qualidade.

Aos meus amigos e familiares que me apoiaram direta e indiretamente..

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Figura 1: Distribuição dos recursos (valor contratado) faixa 1 por região e ano (em milhões de reais)	6
Figura 2: Irradiação solar no Brasil (a) e na Alemanha (b)	12
Figura 3: Ascensão do investimento global em geração de energia distribuída, dados anualmente e em dólar.	13
Figura 4: Projeção da potência instalada residencial.	14
Figura 5: : Diferenças das células de silício monocristalino e policristalino.	20
Figura 6: Sistemas ON GRID.	21
Figura 7: sistemas OFF GRID.	22
Figura 8: Sistemas híbridos.	23
Figura 9: Condomínio residencial Praia Ancora.	26
Figura 10: Movimento do sol ao longo do ano.	26
Figura 11: Irradiação no plano inclinado.	28

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Figura 1: Spazio Parthenon	43
Figura 2: Concentração dos bairros que mais possuem painéis fotovoltaicos	47

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Tabela 1: Estratégias bibliométricas.	25
Tabela 2: Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² .dia).	27
Tabela 3: Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² .dia).	27
Tabela 4: Número médio de moradores por residências	29
Tabela 5: Consumo de energia elétrica por residência (kWh/mês)	29
Tabela 6: Dimensionamento do sistema.	31
Tabela 7: Custo das placas para o sistema.	32
Tabela 8: Tempo de retorno do investimento.	32

LISTA DE QUADROS

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Quadro 1: Quantitativo de obras do Programa Minha Casa Minha Vida no município de Macaé-RJ	46
Quadro 2: Número de moradores por residência	47
Quadro 3: Consumo de energia elétrica por residência	48
Quadro 4: Investimento e retorno do sistema	52

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EM EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE VIABILIDADE NOS MUNICÍPIOS DE RIO DAS OSTRAS/MACAÉ - RJ

RESUMO

A energia solar fotovoltaica vem apresentando um crescimento significativo na sua participação na matriz elétrica em diversos países. Seguindo esta tendência, o Brasil vem se destacando, com um crescimento relevante. O Brasil possui destaque no potencial para a geração de energia proveniente da irradiação solar já que fica localizado na zona intertropical, registrando assim, elevados índices de irradiação durante todas as estações do ano, além disso, as fontes renováveis tem sido um pilar de sua matriz de geração de energia elétrica. Neste contexto, onde a energia elétrica tem papel central no suprimento das necessidades humanas, associado a um aumento da demanda por energia, a difusão de sistemas solares fotovoltaicos e, portanto, a realização de análise da viabilidade financeira se apresenta como instrumento de suma importância. Sob a ótica da fontes renováveis e sua interlocução com o aspecto social, é proposto a realização de uma análise da implementação de projetos de energia solar fotovoltaica em todos os empreendimentos habitacionais de interesse social do Programa Minha Casa Minha Vida no município de Macaé-RJ, que possui 1302 unidades habitacionais. Para a condução do estudo, foi utilizado como base, os dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), FGV (Fundação Getúlio Vargas) entre outros. A partir dos dados coletados, foi realizado o dimensionamento do sistema de forma a cobrir integralmente a demanda energética do local que gira em torno de 208.270 kWh/mês. De acordo com os cálculos realizados, seriam necessárias cerca de 5.550 placas fotovoltaicas, cujo o investimento inicial necessário seria de aproximadamente R\$5,5 milhões, com perspectiva de retorno desse investimento (*payback*) em 33 meses, ou seja, o custo do projeto seria recuperado em aproximadamente 3 anos. Tendo em vista a vida útil do sistema, o tempo de retorno seria curto. Além disso, foi conduzido uma análise para estimar a redução da emissão de CO₂ na atmosfera proveniente da utilização da fonte solar fotovoltaica nessas unidades habitacionais, os cálculos resultaram em aproximadamente 200 ton/ano a menos de CO₂. Diante dos cálculos realizados, ficou evidenciado a viabilidade de implementação do sistema no âmbito econômico com tempo de retorno atrativo, além de benefícios no contexto ambiental com a redução das emissões de CO₂ e finalmente, o benefício social, visto que a implementação do sistema se daria em condomínios de interesse social e portanto, se beneficiariam das externalidades positivas no âmbito financeiro.

Palavras-chave: Sistema solar fotovoltaico. Geração distribuída. Energia solar.

***SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN SOCIAL INTEREST HOUSING: FEASIBILITY
STUDY IN THE MUNICIPALITIES OF RIO DAS OSTRAS/MACAÉ - RJ***

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy has shown a significant growth in its participation in the electric matrix in several countries. Following this trend, Brazil has been standing out, with a relevant growth. Brazil has a advantage in the potential for the generation of energy from solar irradiation since it is located in the intertropical zone, thus registering high irradiation rates during all seasons, in addition, renewable sources have been a pillar of its electric power generation matrix. In this context, where electricity plays a central role in the supply of human needs, associated with an increase in the demand for energy, the diffusion of photovoltaic solar systems and, therefore, the realization of financial viability analysis is an instrument of paramount importance. From the perspective of renewable sources and their dialogue with the social aspect, it is proposed to carry out an analysis of the implementation of photovoltaic solar energy projects in all housing developments of social interest of the Minha Casa Minha Vida Program in the municipality of Macaé-RJ, which has 1302 housing units. For the conduction of the study, the data from ANEEL (National Electric Energy Agency), FGV (Getúlio Vargas Foundation) among others were used as the basis. From the data collected, the system was dimensioned in order to fully cover the energy demand of the site that is around 208,270 kWh/month. According to the calculations performed, it would take about 5,550 photovoltaic modules, whose initial investment would be approximately R\$5.5 million, with a payback in 33 months, that is, the cost of the project would be recovered in approximately 3 years. In view of the system lifetime, the return time would be short. In addition, an analysis was conducted to estimate the reduction of CO₂ emissions in the atmosphere from the use of photovoltaic solar source in these housing units, the calculations resulted in approximately 200 ton/year less emissions. It was evidenced the feasibility of implementing the system in the economic scope with attractive return time, in addition to benefits in the environmental context with the reduction of CO₂ emissions and finally, the social benefit, since the implementation of the system would take place in condominiums of social interest and, therefore, would benefit from positive externalities in the financial sphere.

Keywords: *Photovoltaic solar system. Distributed generation. Solar energy.*

SUMÁRIO

ARTIGO CIENTÍFICO 1

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1. Energia solar e o desenvolvimento sustentável.....	7
2.2. Energia Solar Fotovoltaica.....	10
2.3. Potencial brasileiro de geração de energia solar fotovoltaica.....	11
2.4. Definição de geração distribuída.....	12
2.5. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos distribuídos.....	14
2.6. Políticas governamentais para o setor da energia solar.....	15
3. MATERIAL E MÉTODO.....	19
3.1. Material.....	19
3.1.1. Sistemas fotovoltaicos.....	21
3.1.1.1. Sistemas ligados a rede (<i>ON GRID</i>).....	21
3.1.1.2. Sistemas autônomos ou isolados (<i>OFF GRID</i>).....	21
3.1.1.3. Sistemas híbridos.....	22
3.1.1.4. Equipamentos auxiliares.....	23
3.1.1.4.1. Baterias.....	23
3.1.1.4.2. Controladores de carga.....	24
3.1.1.4.3. Inversores.....	24
3.2. Método.....	25
3.2.1. Descrição do local.....	25
3.2.2. Orientação geográfica.....	26
3.2.3. Radiação solar.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1. Consumo de energia elétrica.....	29
4.2. Potencia nominal necessária.....	29
4.3. Dimensionamento do sistema solar fotovoltaico <i>on grid</i>	31
4.4. Custo do sistema.....	31
5. CONCLUSÃO.....	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

ARTIGO CIENTÍFICO 2

1. INTRODUÇÃO.....	41
2. REVISÃO DA LITERATURA	42
2.1. Geração distribuída	42
2.2. Primeiro empreendimento de grande porte no Brasil a utilizar a tecnologia de geração distribuída.....	42
2.3. Utilização da geração de energia distribuída e a redução na emissão do CO2	43
2.4. Geração de energia distribuída no país e o peso no orçamento das famílias brasileiras	44
3. MATERIAL E MÉTODO	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1. Atual cenário do local de estudo	46
4.2. Consumo de energia elétrica do local	47
4.3. Potencia nominal e número de placas necessárias	48
4.4. Dimensionamento e custo do sistema solar fotovoltaico	50
4.5. Cálculo da redução da emissão de CO2 com a utilização da energia solar fotovoltaica	51
5. CONCLUSÃO.....	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

APRESENTAÇÃO

Na perspectiva mundial, o Brasil vem se destacando por possuir sua matriz de geração de energia elétrica altamente fundamentada em fontes renováveis, segundo o BEN 2019, o Brasil possui 83.3% de sua matriz elétrica renovável, enquanto a média mundial está em 24.0%. A energia elétrica no quesito das necessidades humanas é um elemento essencial e com o aumento da demanda energética origina-se uma exigência ainda maior em relação a sua eficácia de geração e consumo. De acordo com o Inpe (2012), o documento “O futuro que nós queremos”, identifica a importância do aprimoramento da eficiência energética, a amplificação de tecnologias limpas e eficazes e visa o constante crescimento do percentual de fontes de energias renováveis.

De acordo com a Agência Internacional de Energia (2002), a geração distribuída pode ser conceituada como a geração de energia situada próxima a unidade consumidora, sem levar em consideração seu tamanho, sendo assim, esse tipo de geração elétrica não necessita de linhas de transmissão com elevados níveis de tensão para que seja feito o transporte da energia gerada aos centros consumidores.

A geração distribuída gera impactos positivos em três esferas: social, econômica e ambiental. Social, pois por meio dela é possível levar energia elétrica de baixo custo e com boa eficiência para as regiões do país onde não possuem acesso a energia elétrica, contribuindo assim, para o desenvolvimento dessas regiões. No que tange os aspectos econômicos, a utilização de um sistema solar gera uma redução de custo para o consumidor com energia elétrica, esta economia associada ao tempo elevado de vida útil médio do sistema (25 anos) produz um retorno financeiro favorável, no médio prazo, ao consumidor. No que tange os aspectos ambientais, com a utilização do sistema solar fotovoltaico a geração e emissão de gases do efeito estufa são reduzidos, o que a torna uma fonte de energia limpa e com menos impactos ambientais.

Foi retratado por meio do primeiro artigo o estudo sobre a viabilidade de implantação de um sistema solar fotovoltaico em um empreendimento com 240 unidades habitacionais do Programa Minha Casa Minha Vida no município de Rio das Ostras, interior do estado do Rio de Janeiro. Tal estudo foi elaborado por meio de dados coletados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e FGV (Fundação Getúlio Vargas), onde foi possível estimar a demanda energética local que gira em torno de 38400 kWh por mês. Sendo assim, o sistema foi dimensionado para atender 100% desta demanda, para isso, serão necessárias cerca de 1029 placas fotovoltaicas.

Ao dimensionar o sistema para que ele atendesse a demanda local, foi obtido um resultado satisfatório, visto que o tempo de retorno do investimento inicial que gira em torno de R\$ 1.029.000,00, é baixo, se comparado ao investimento inicial e os benefícios que o sistema trará para os moradores local, o tempo de retorno do investimento gira em torno de 3 anos e a vida útil do sistema 25 anos em média, com isso fica comprovado a viabilidade de implementação bem como o alinhamento com dois Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da agenda 2030, onde um dos objetivos é a redução da desigualdade social e o outro a promoção de fonte de energias renováveis.

De acordo com os resultados obtidos por meio do artigo científico 1, a pesquisa seguiu com um maior detalhamento para a verificação da viabilidade e análise da hipótese da implementação irrestrita e obrigatória de projetos de energia solar fotovoltaica distribuída em todos os 12 empreendimentos habitacionais de interesse social do Programa Minha Casa Minha Vida no município de Macaé, que totaliza 1302 unidades habitacionais, afim de verificar os impactos ambientais e socioeconômicos que tal projeto causará para o município e população dos empreendimentos.

Neste contexto da cidade de Macaé, foi realizada a avaliação do cenário atual da geração distribuída com energia solar fotovoltaica, isto é, avaliação das regiões onde há maior número de usuários e o cruzamento de informações de domínio público para identificação do perfil socioeconômico das regiões onde há maior número de sistemas fotovoltaicos no município. Assim sendo, de acordo com os dados coletados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) foi possível observar que a maior concentração dos bairros que utilizam esta tecnologia são as regiões de renda mais alta onde estes usuários usufruem das políticas de incentivo a geração distribuída que onera toda a população consumidora, inclusive os usuários de menor renda, o que evidencia mais uma consequência da desigualdade social tão intensa no Brasil. Dessa forma, o trabalho buscou debater o cenário das políticas atuais de incentivo a implantação de sistema solar fotovoltaicos que não apresentam alternativas viáveis as famílias de baixa renda que vivem em conjuntos habitacionais como os que fazem parte do PMCMV (Programa Minha Casa Minha Vida).

Diante dos dados coletados, foi possível verificar a viabilidade da implantação do sistema solar fotovoltaico, visto que para atender a demanda dos 12 empreendimentos seria necessário um valor inicial alto, em torno de 5,5 milhões, porém, o tempo de retorno do mesmo gira em torno de 3 anos e meio, ou seja, se comparado a vida útil do sistema, que é em media 25 anos, o tempo de retorno é bem curto. Além dos benefícios para os moradores do local, a implementação do sistema trará benefícios para o meio ambiente, visto que, de acordo com os cálculos realizados o local deixaria de emitir cerca de 200 toneladas de CO₂ por ano na atmosfera.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

ESTUDO DA VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTVOLTAICO EM UM CONDOMÍNIO DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA, NA CIDADE DE RIO DAS OSTRAS - RJ

Andreza Karla Alves Pereira ¹
José Augusto Ferreira da Silva²

RESUMO

O estudo de viabilidade para implantação de um sistema solar fotovoltaico é de extrema importância nos tempos atuais por se tratar de uma fonte de energia limpa e renovável. Houve um aumento significativo na utilização da energia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica no mundo inteiro, uma vez que é uma ótima alternativa para reduzir os impactos ambientais. O Brasil quando comparado com outros países que já fazem uso desta tecnologia, tem grande vantagem por estar localizado na zona intertropical, registrando assim altos índices de irradiação solar durante todo o ano. Neste sentido, busca-se avaliar possível adoção da medida de implementação de um sistema solar fotovoltaico de geração distribuída em condomínios residenciais do programa social minha casa minha vida afim de verificar se haverá uma redução nos gastos com a energia elétrica. Foi utilizado um condomínio do Programa Minha Casa Minha Vida no município de Rio das Ostras, interior do estado do Rio de Janeiro como referência para execução dos cálculos pertinentes. Foi possível verificar a viabilidade de implementação do sistema solar fotovoltaico, com investimento inicial de aproximadamente R\$ 1 milhão e com tempo de retorno do investimento inicial em 3 anos.

Palavras chave: Sistema solar fotovoltaico. Geração distribuída. Energia solar.

FEASIBILITY STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM IN A CONDOMINIUM OF THE MINHA CASA MINHA VIDA PROGRAM, IN THE CITY OF RIO DAS OSTRAS – RJ

ABSTRACT

The feasibility study for the implantation of a solar photovoltaic system is extremely important nowadays because it is a clean and renewable energy source. There was a significant increase in the use of photovoltaic solar energy for generating electricity worldwide, a since it is a great alternative to reduce environmental impacts. When compared to other countries that already use this technology, Brazil has a great advantage because it is located in the intertropical zone, thus registering high levels of solar radiation throughout the year. In this sense, we seek to evaluate the possible adoption of the measure for the implementation of a distributed generation photovoltaic solar system in residential condominiums of the social program my house my life in order to verify if there will be a reduction in expenses with electricity. A condominium from the Minha Casa Minha Vida program in the city of Rio das Ostras, in the interior of the state of Rio de Janeiro, was used as a reference for performing the relevant calculations. It was possible to verify the feasibility of implementing the photovoltaic solar system, with an initial investment of approximately R \$ 1 million and with a return time on the initial investment in 3 years.

Keywords: *Photovoltaic solar system. Distributed generation. Solar energy.*

1. INTRODUÇÃO

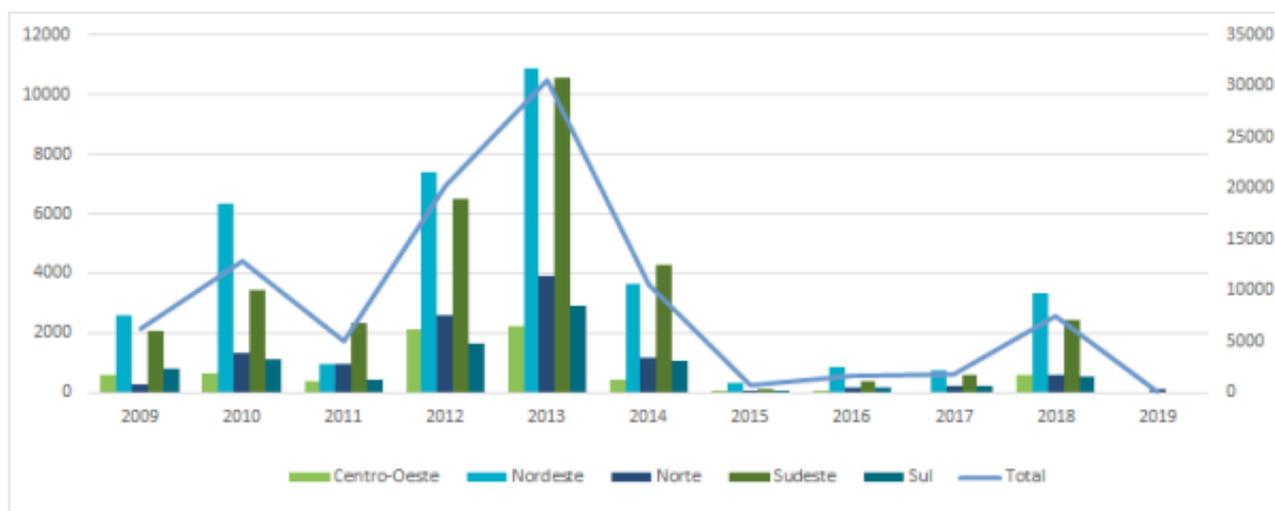
As principais fontes de energia utilizadas atualmente têm volumes limitados e poderão se esgotar em um horizonte de algumas décadas. Desta forma é notável, na atual conjuntura política e social da sociedade, a busca por fontes renováveis de energia. Nesse contexto uma alternativa já viável é a utilização de painéis fotovoltaicos, que tem por objetivo a transformação de energia solar em eletricidade. Sua aplicação torna-se uma realidade em muitos países, principalmente em meios urbanos.

De acordo com o CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito) (2006), a energia solar é considerada uma fonte de energia inesgotável. Pode-se inclusive falar que é uma fonte de energia promissora e indiretamente, o sol tem uma participação em quase todas outras fontes de energia.

Devido ao aumento da demanda de energias renováveis, nos últimos anos houve uma expansão considerável da fabricação de células solares e instalações fotovoltaicas. Entre os anos de 2001 e 2015 houve um crescimento exponencial da produção de energia fotovoltaica, e estima-se que em aproximadamente a cada dois anos esses valores dobrem. É graças a esse crescimento, e a crescente pesquisa para desenvolvimento de novos materiais cada vez mais eficientes e com menores custos que este tipo de tecnologia é a terceira fonte de energia renovável mais importante em termos de capacidade instalada a nível global, atrás apenas das hidroelétricas e eólicas (RÜTHER, 2000).

Desde 2009, o PMCMV (Programa Minha Casa Minha Vida) assumiu a maior parte da provisão habitacional de interesse social no Brasil. O programa minha casa minha vida é um projeto que busca facilitar as condições de acesso ao imóvel para as famílias de baixa renda do país, tendo como maior público alvo famílias com renda de até um salário mínimo e meio (AGÊNCIA SENADO, 2018).

Figura 1: Distribuição dos recursos (valor contratado) faixa 1 por região e ano (em milhões de reais)



Fonte: MDR, Elaboração SECAP, 2020.

A Figura 1, ilustra a distribuição dos recursos do PMCMV faixa 1 no país entre os anos de 2009 e 2019, nesse período houveram dois picos de investimentos, que ocorreram nos anos de 2010 e 2013 respectivamente, a partir de 2015 houve uma queda significativa em relação aos investimentos no programa, no eixo primário esquerdo, mostra o valor por região do país e se encontra apontado nas colunas, enquanto que no eixo secundário direito, se encontram os valores totais por faixa, referentes à linha. Devido o fato de possuírem a população com a menor renda do país, as regiões nordeste e sudeste receberam nesse período a maior parte dos recursos conforme mostra a Figura 1 (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020)

Atualmente, ao relacionar energia e sustentabilidade, é de suma importância considerar a junção de ambos, pois, a sustentabilidade além de dispor de um papel fundamental para geração de energia limpa, desempenha também um importante papel social, econômico e ambiental, ou seja, além de contribuir para a redução dos impactos ao meio ambiente como a diminuição da poluição e espalhamento dos gases do efeito estufa, auxilia na redução da conta de luz do consumidor em até 95%, possibilitando assim, o acesso à energia às classes de baixa renda (NASCIMENTO, 2012).

No contexto do crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil e no cenário dos condomínios habitacionais de interesse social, se propõe uma análise da viabilidade de implementação de um empreendimento de energia solar fotovoltaica para abastecimento próprio em um condomínio residencial do PMCMV no município de Rio das Ostras – RJ.

Sendo assim, buscou-se com este trabalho realizar um estudo de viabilidade da implantação de um sistema fotovoltaico neste empreendimento considerando as variáveis que afetam o sistema, afim

de reduzir os custos dessas famílias com a energia elétrica, uma vez que o Brasil possui grande potencial para gerar eletricidade a partir da radiação solar e a contribuir com uma matriz elétrica mais renovável.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Energia solar e o desenvolvimento sustentável

A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável, são definições atualmente expostas a nível global. Ao passo que o desenvolvimento sustentável é um desenvolvimento de aprendizagem no qual é conduzido por meio de políticas públicas direcionada por um plano de desenvolvimento nacional; a sustentabilidade é a reprodução da relação entre o meio ambiente e o homem, essencialmente com as adversidades existentes que pode degradar a compatibilidade entre a ecologia e o desenvolvimento econômico (FEIL, 2017).

Perante o exposto, fica explícito que os desafios atuais da sociedade são tão relevantes que é necessário atitudes e projetos coletivos para que haja um redirecionamento das relações sociais, produtivas e culturais, para que a vivência sustentável seja realizada (CARVALHO, 2019).

No quesito de coletividade, foi elaborada a Agenda 2030 que é uma aliança feita globalmente visando o desenvolvimento sustentável, onde seu principal objetivo é prover as necessidades básicas humanas através de um processo político, social e econômico, respeitando sempre o meio ambiente. Revalidada em 2015 por 193 países, a agenda 2030 possui 17 objetivos os assim chamados ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) com 169 metas a serem atingidas até 2030. Porém, ainda que a ONU (Organização das Nações Unidas) tenha traçado essas metas a nível global, é de responsabilidade de cada país traçar as devidas estratégias para alcançar tais objetivos (MOREIRA, et al., 2019).

Mundialmente, existem diversos desafios para o desenvolvimento sustentável. Há uma evolução progressiva na desigualdade social dentro dos países e entre os mesmos, bilhões de pessoas vivem na extrema pobreza sem perspectiva de possuir uma vida digna. Dentre os desafios que a humanidade vem enfrentando vale ressaltar o esgotamento dos recursos naturais e os impactos causados pela degradação ambiental, bem como as secas, desertificação, degradação dos solos, mudanças climáticas, sendo tais mudanças consideradas o maior desafio para se alcançar um desenvolvimento sustentável (ONU, 2015).

Entre os anos de 2000 e 2013, houve um aumento de 5% da população que possuía acesso a eletricidade. A predisposição para os anos seguintes é o aumento da demanda energética que possua um custo acessível, porém, as emissões dos gases de efeito estufa, geram mudanças climáticas radicais, ou seja, o grande desafio para o desenvolvimento sustentável é atender as demandas econômicas e proteger o meio ambiente simultaneamente (MOREIRA, et al., 2019).

Diante deste cenário, a ONU (2015), elaborou um plano de ação traçando metas enfatizadas na transição energética, de fontes poluidoras e não renováveis, para fontes limpas e renováveis, priorizando especialmente as necessidades humanas e os países mais vulneráveis. Dentre os objetivos traçados pela ONU, dois desses objetivos estão diretamente ligados ao objetivo desta pesquisa, o objetivo número 7: “Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos”. Tal objetivo tem 5 metas, sendo elas:

7.1 Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.

7.2 Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.

7.3 Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.

7.4 Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa.

7.5 Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio.

Globalmente, há uma desigualdade social mais acentuada nos dias atuais em relação a qualquer momento da história desde 1940. A desigualdade (de renda e distribuição da riqueza) dentro dos países tem crescido de forma significativa, e com isso, impossibilitando todo empenho para a conquista dos

objetivos do desenvolvimento e expansão das oportunidades e habilidades da população, principalmente dos mais vulneráveis (KRONEMBERGER, 2019).

Visando soluções para a desigualdade social, que é um problema global que necessita de soluções eficazes, foi criado o ODS 10, onde a visão planejada desse objetivo tem por finalidade a erradicação da pobreza em todas suas dimensões, na diminuição das desigualdades socioeconômicas e na luta contra as discriminações de todo e qualquer tipo (KRONEMBERGER, 2019).

O principal foco do ODS 10 que é “Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles” é o desafio da migração e do fluxo de deslocamento das pessoas entre regiões e países em virtude de eventos climáticos extremos, conflitos ou perseguições de qualquer tipo. É de fundamental importância atingir as metas dessa ODS pois ela é a base para a execução dos outros 16 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, de acordo com a ONU (2015) as metas do ODS 10 são:

10.1 Até 2030, progressivamente alcançar e sustentar o crescimento da renda dos 40% da população mais pobre a uma taxa maior que a média nacional.

10.2 Até 2030, empoderar e promover a inclusão social, econômica e política de todos, independentemente da idade, gênero, deficiência, raça, etnia, origem, religião, condição econômica ou outra.

10.3 Garantir a igualdade de oportunidades e reduzir as desigualdades de resultados, inclusive por meio da eliminação de leis, políticas e práticas discriminatórias e da promoção de legislação, políticas e ações adequadas a este respeito.

10.4 Adotar políticas, especialmente fiscal, salarial e de proteção social, e alcançar progressivamente uma maior igualdade.

10.5 Melhorar a regulamentação e monitoramento dos mercados e instituições financeiras globais e fortalecer a implementação de tais regulamentações.

10.6 Assegurar uma representação e voz mais forte dos países em desenvolvimento em tomadas de decisão nas instituições econômicas e financeiras internacionais globais, a fim de produzir instituições mais eficazes, críveis, responsáveis e legítimas.

10.7 Facilitar a migração e a mobilidade ordenada, segura, regular e responsável das pessoas, inclusive por meio da implementação de políticas de migração planejadas e bem geridas.

10.8 Implementar o princípio do tratamento especial e diferenciado para países em desenvolvimento, em particular os países menos desenvolvidos, em conformidade com os acordos da OMC.

10.9 Incentivar a assistência oficial ao desenvolvimento e fluxos financeiros, incluindo o investimento externo direto, para os Estados onde a necessidade é maior, em particular os países menos desenvolvidos, os países africanos, os pequenos Estados insulares em desenvolvimento e os países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus planos e programas nacionais.

10.10 Até 2030, reduzir para menos de 3% os custos de transação de remessas dos migrantes e eliminar os corredores de remessas com custos superiores a 5%.

2.2. Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar pode ser definida como a energia proveniente do sol, sua transformação pode se dar em energia térmica ou elétrica para diversas aplicações. Por ser proveniente da radiação solar, ela é considerada limpa e renovável. A aplicação de interesse nesta abordagem será o aproveitamento da mesma para geração de energia elétrica. Duas maneiras de transformá-la são comumente utilizadas, o primeiro método é definido como heliotérmico, onde a radiação é convertida primeira em energia térmica e após em energia elétrica e o segundo método é o fotovoltaico onde a radiação é convertida diretamente em energia elétrica (CEPEL, 2013).

O sistema solar fotovoltaico configura um agrupamento de equipamentos onde seu objetivo é a conversão de energia proveniente do sol em energia elétrica e permitir o uso imediato ou guardá-la para uso posterior. Tal armazenamento se dá, devido o uso de baterias que permitem a estocagem desta energia (BENEDITO, 2009).

Para que haja a conversão da energia solar para a elétrica é necessária uma célula fotovoltaica, a qual é constituída por materiais semicondutores, na qual o silício (Si) é o material mais utilizado na fabricação dessas células, há também o arseneto de gálio e o germânio, porém, seu alto valor inviabiliza os projetos mais simples (MARTÍN; AGUILERA, 2005).

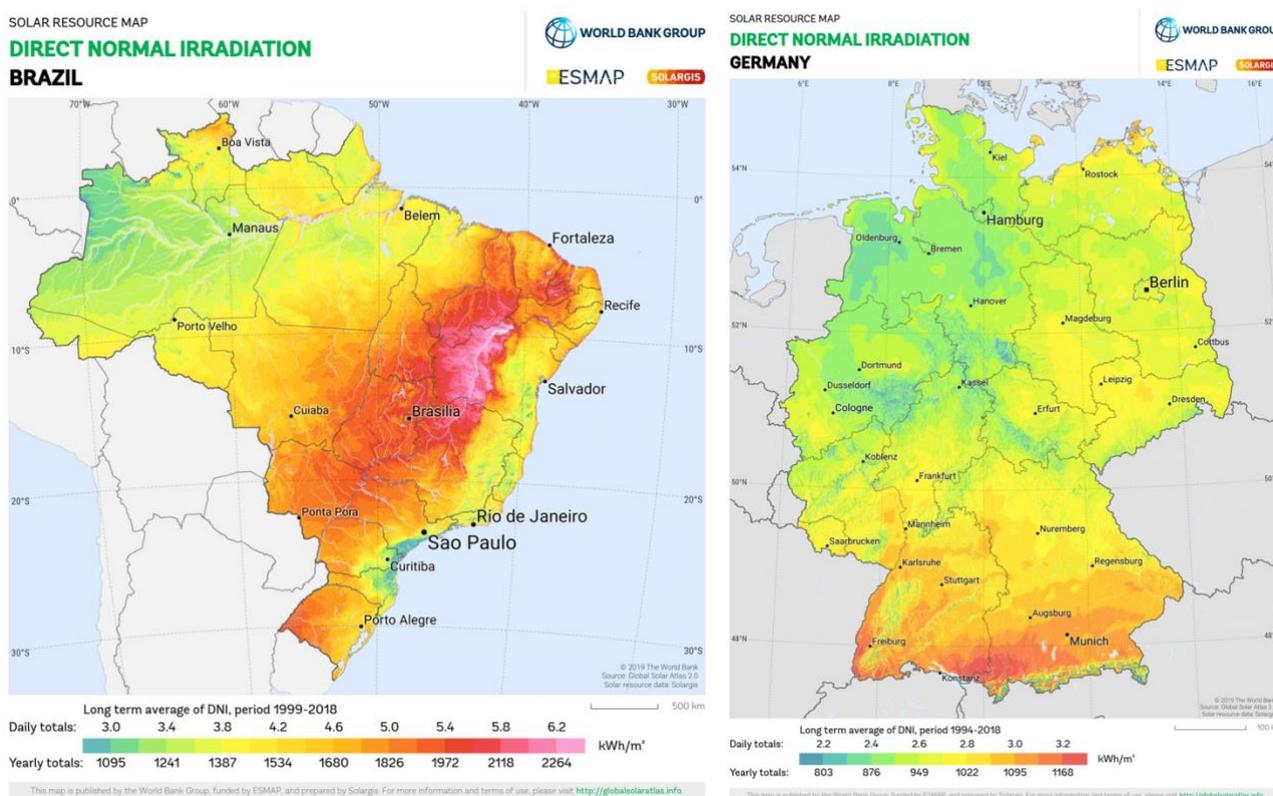
A luz solar incide sobre os painéis fotovoltaicos que são responsáveis pela transformação da radiação solar em energia elétrica, o processo ocorre com o efeito que a luz causa na fina camada de silício das células fotovoltaicas polarizando-as e gerando corrente contínua em todo o período durante o qual a radiação solar incide sobre os painéis (CEPEL, 2013).

As células de silício são constituídas de silício monocristalino, policristalino ou amorfo, onde as mais utilizadas são as células de silício monocristalino pois são as que apresenta maior eficiência devido a maior requisição de rigorosidade em sua fabricação (CRESCER, 2003).

2.3. Potencial brasileiro de geração de energia solar fotovoltaica

O Brasil possui uma média de irradiação alta e tal média é bastante homogênea em todo território brasileiro. É um país abundantemente privilegiado devido ser o único país no mundo que obtém mais de 3 mil horas de brilho solar por ano. A região Nordeste é uma região que recebe uma incidência média de 4,5 a 6 kWh diariamente. A irradiação solar no país tem um valor consideravelmente elevado, se comparado aos países europeus, se comparado com a Alemanha por exemplo, que é o país da Europa que mais produz energia solar fotovoltaica no mundo, o Brasil em seu estado de menor incidência solar, apresenta um potencial 40 vezes maior que o melhor estado de incidência solar da Alemanha, conforme mostra a Figura 2 (SEVERINO; OLIVEIRA, 2010).

Figura 2: Irradiação solar no Brasil (a) e na Alemanha (b)



Fonte: World Bank Group, 2019.

A capacidade solar fotovoltaica instalada no Brasil nos anos de 2017 e 2018 teve um avanço significativo, em 2017 tínhamos uma potência instalada de 935 MW e em 2018 atingiu-se a marca de 1798 MW. Em 2019 o balanço energético nacional publicou algumas informações referentes a micro e mini geração distribuída referente ao ano de 2018, no qual se registrou 526 GWh de geração solar fotovoltaica e 562 MW de potência instalada (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019).

2.4. Definição de geração distribuída

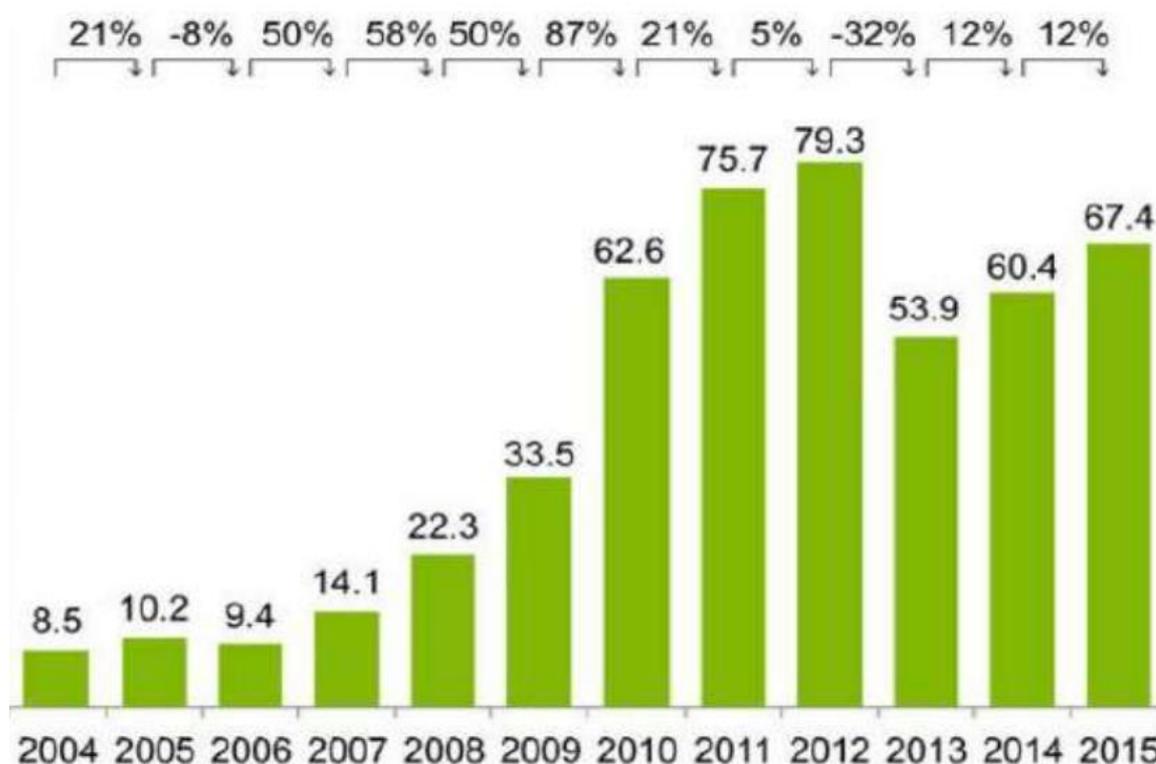
Em 1882 foi construído o primeiro sistema de geração de energia distribuída, esse sistema foi produzido por Thomas Edison e atendia um grupo de 59 consumidores. Com o passar do tempo, ocorreu a introdução da corrente alternada, houve também uma disseminação da propagação de energia, com isso o padrão de geração centralizada ganhando força e evoluindo globalmente (MIRANDA, 2013).

A definição de geração distribuída de acordo com Owens (2014), pode ser conceituada, de uma forma extremamente simples, como sendo a geração de energia elétrica próximo ao ponto que a mesma será consumida. Porém, segundo Severino et al. (2008, p 60), essa definição poderia ser conceituada da seguinte maneira:

Geração distribuída é a denominação genérica de um tipo de geração de energia elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região.

Houve uma ascensão mundial nos investimentos em geração de energia da distribuída, em 2004, a margem de investimentos girava em torno de US\$ 8,5 bilhões e evoluiu para US\$ 67,4 bilhões em 2015. Em 2012 houve um pico nesses investimentos chegando a uma marca de US\$ 79,3 bilhões, com um crescimento anual de aproximadamente 21% (FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF, 2016). Na Figura 3 exemplifica-se essa ascensão anualmente.

Figura 3: Ascensão do investimento global em geração de energia distribuída, dados anualmente e em dólar.



Fonte (FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF, 2016).

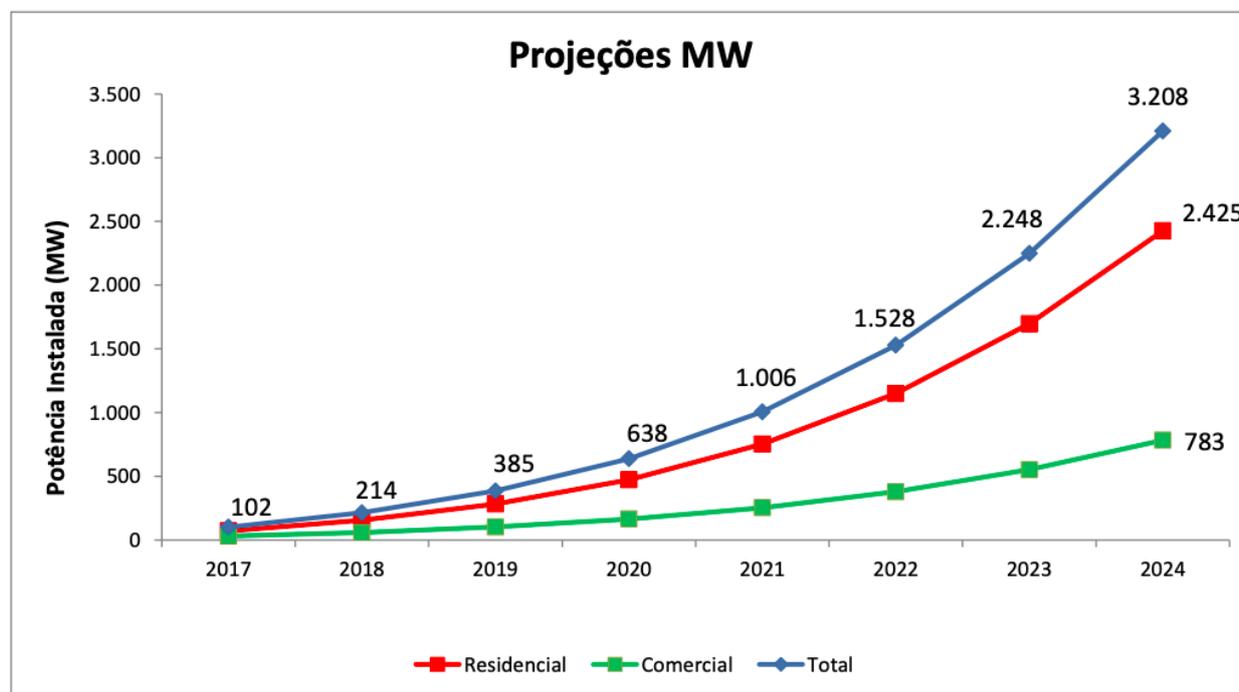
Existiam em 2014, algumas expectativas em relação a geração de energia distribuída, uma delas era de possuir investimentos mundiais em torno de 30% em energia solar. Observa-se que na Figura 3 no ano de 2015 mostra um valor de US\$ 67,4 bilhões, esse total representa aproximadamente 25% de investimentos em geração de energia distribuída o que praticamente alcança tais expectativas, e com isso deixa claro o grande potencial desse tipo de geração de energia (FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF, 2016).

2.5. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos distribuídos

De acordo com a grande necessidade de alternativas que visem diminuir cada vez mais a agressão ao meio ambiente e a minimização dos custos, fez-se necessário buscar cada vez mais alternativas de geração de energia que diminuíssem tais fatores. Existem várias fontes de energias renováveis, porém, a geração de energia solar através das placas fotovoltaicas com foco na geração distribuída, é que mais tem se destacado (IRENA, 2017).

A geração distribuída de energia gera vários impactos positivos ao sistema elétrico, uma vez que é uma fonte de energia limpa, então produz um baixo impacto ambiental, há também uma redução das cargas da rede elétrica entre outros benefícios gerados pelo sistema. Mesmo com o grande potencial de geração de energia através das placas fotovoltaicas no Brasil, o país ainda possui uma quantidade não significativa desta produção se comparado aos países líderes do ranking de produção de energia elétrica como Alemanha, Estados Unidos e China. Porém essa geração está com um crescimento exponencial no Brasil (como mostra a Figura 4), visto que o Brasil foi apontado como um dos vinte maiores produtores de energia solar em 2018.1 (DANTAS; POMPERMAYER, 2018).

Figura 4: Projeção da potência instalada residencial.



Fonte: Aneel, 2017.

A ANEEL publicou uma Resolução Normativa em 2015 no 687/2015, onde foi incluso algumas melhorias aos microgeradores. Entre estas melhorias está a possibilidade da geração distribuída, onde

toda a energia gerada poderá ser dividida entre todas as residências de um condomínio que opte por fazer a instalação desse sistema por exemplo, além disso todo o processo de adesão ao sistema de energia distribuída foi descomplexificado, tornando-se assim mais acessível (DANTAS; POMPERMAYER, 2018).

Realizar uma análise econômica financeira é primordial antes de fazer qualquer investimento, assim sendo, para fazer esta análise financeira é necessário fazer uma projeção de receitas e custos; uma análise dos indicadores calculados sobre os dados das receitas, despesas custos e investimento e uma estimativa das despesas e dos investimentos necessários. Onde a projeção de receitas é uma previsão feita pelo empreendedor para que haja a constatação da geração do valor da receita que espera receber num determinado período. O fluxo de caixa que projeta para períodos futuros todas as entradas e saídas de recursos financeiros de uma empresa. Posteriormente todas as estimativas de despesas, investimentos, lucros e os resultados obtidos através das projeções de custo e do fluxo de caixa, fazem-se a análise dos indicadores (RIBEIRO, 2018).

Existe uma grande variedade destes indicadores que nos permite analisar a viabilidade financeira de um projeto dentre eles estão o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e o tempo de retorno do investimento (*payback*). Vale ressaltar que ao realizar a análise destes indicadores, o empreendedor poderá verificar a viabilidade ou não do investimento que pretende fazer, bem como o tempo de retorno do mesmo (RIBEIRO, 2018).

2.6. Políticas governamentais para o setor da energia solar

O Brasil possui um grande potencial de radiação solar. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, diariamente incide entre 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² no país. Porém, apesar dessas condições favoráveis, o país ainda está longe de ser o que mais investe nesse tipo de energia. Para ter uma ideia o local menos ensolarado do Brasil é possível gerar mais eletricidade solar que o local mais ensolarado da Alemanha, este que se trata de um país que possui uma diferença considerável na instalação de sistemas fotovoltaicos e na geração de energia solar, e o principal motivo desse sucesso são os incentivos governamentais existentes no país.

Desta forma, seguindo a tendência mundial, a ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar) e seus associados buscam junto ao governo conseguir implementar mais incentivos, e os resultados positivos já são observados.

Segundo a ANEEL até 2024 cerca de 1,2 milhões de geradores de energia solar devem ser instalados em casas e empresas em todo o Brasil. De acordo com o publicado pela ABSOLAR (Associação de Energia Solar). Os incentivos governamentais farão com que o mercado de energia solar cresça e se torne cada vez mais estável, os principais são:

- R.N. nº 482/2012- Em 2012, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) estabeleceu algumas regras para a micro geração e a mini geração distribuída de energia solar por particulares. A Resolução Normativa nº 482 foi o primeiro ato regulatório a permitir o sistema de compensação, onde a energia produzida por painéis fotovoltaicos instalados em telhados gera créditos que podem ser compensados, abatendo assim os custos da conta de luz. Este sistema de compensação é conhecido mundialmente como *net-metering*. Apesar de não se tratar essencialmente de um incentivo, ele representa o marco inicial da geração solar distribuída no Brasil .
- R.N. nº 687/2015- após 3 anos da publicação da R.N. 482, algumas regras ainda precisavam ser ajustadas e outras implementadas para que a geração distribuída pudesse ser melhor aproveitada. Assim, deu-se origem a resolução Normativa nº 687 de 2015. Neste novo ato regulatório, a ANEEL estabeleceu novas regras que passaram a valer desde primeiro de março de 2016. Podemos destacar alguns pontos da resolução como a mudança dos limites de capacidade instalada para micro- e mini geração, a redução na burocracia de conexão dos sistemas, a ratificação do “auto-consumo” remoto e a criação da figura de geração compartilhada.
- Convênio nº 101/97- CONFAZ- O Convênio nº 101 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) isenta de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) as operações que envolvam diversos equipamentos para a geração de energia elétrica por energia solar e eólica. A última modificação do convênio foi realizada em 2014. Entre os equipamentos que o convênio abrange estão geradores fotovoltaicos. Não estão inclusos inversores e outros componentes do sistema fotovoltaico.
- Convênio ICMS nº 16/2015 – CONFAZ- Já o Convênio nº 16 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) diz respeito à cobrança de ICMS sobre a energia injetada na rede, isentando os estados participantes a realizarem tal cobrança. Este convênio, apesar de contribuir para a redução do tempo de *playback* de sistemas fotovoltaicos, na verdade não se trata de um incentivo e sim da correção de um desequilíbrio ocasionado pelo Convênio 06 de 2013, que estabelecia que a cobrança de ICMS deveria ser sobre o consumo bruto e não sobre o consumo líquido de energia, após o abatimento da energia gerada pelo sistema fotovoltaico. Antes do

CONFAZ/16, os micros geradores pagavam impostos sobre a energia gerada por eles mesmos, entretanto, até o momento 20 estados e o Distrito Federal já aderiram ao novo convênio, isentando a cobrança indevida de ICMS.

- PLS 167/2013 – PL 8322/2014-Em 2013, o Senado Federal aprovou a Projeto de Lei do Senado nº 167. Com isso, o projeto previa a isenção de Impostos sobre Produtos Industrializados (IPI) para painéis fotovoltaicos e similares. Posteriormente, em função de cláusulas adicionais, elementos acessórios como cabos, conectores, estruturas de suporte passaram a integrar a listagem de itens e podem ficar livres do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI). Já outros equipamentos, como os painéis fotovoltaicos, também teriam isenção de PIS/Pasep e COFINS. O projeto de lei, que passou por modificações desde sua redação original e tornou o PL 8322/2014, atualmente tramita entre as Comissões da Câmara de Deputados.

Visando a estimulação de geração de energia solar fotovoltaica distribuída no país, foi criado o ProGD (Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica) que é um programa do Ministério de Minas e Energia, para isso, visa a criação de linhas de crédito e formas de financiamento para a instalação destes sistemas em residências, comércio e indústrias. Um dos incentivos governamentais mais completos em relação a implementação de energia solar, além de criar linhas de crédito, também pretende estabelecer valores de referência para a venda de energia solar; estruturar a comercialização desta energia excedente; e promover a atração de investimentos para a nacionalização de tecnologias em energias renováveis (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019).

Em 2015, equipamentos de energia fotovoltaica foram incluídos nos itens de financiamento Construcard da Caixa Econômica Federal. O incentivo permite que pessoa física adquira os equipamentos que podem ser quitados em até 240 meses com taxas de juros de mercado. Outras são alvo dos incentivos governamentais. É o caso de apoios na instalação em centros de pesquisa e universidades e em residências de regiões rurais e ribeirinhas, de descontos em tarifas, de isenção fiscal na compra e importação de equipamentos, entre outros. Na tendência mundial, a mesma instituição continua debatendo novas formas de implementar políticas públicas que favoreçam as energias renováveis no país, como é o caso do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (ANEEL, 2012).

Para que haja uma melhor aderência por parte dos consumidores, um dos incentivos impulsionados pelo governo, foi o ProGD que foi criado em 2015 pelo Ministério de Minas e Energia.

Seus principais objetivos são: obter 2,7 milhões de unidades consumidoras produzindo energia de forma limpa e renovável para utilização própria, obtendo assim 23% de energia renovável na distribuição de energia elétrica, e reduzir as emissões de CO2 em 43% (em relação a 2005) até 2030. Para isso são previstos cerca de R\$100 bilhões em investimentos (MME, 2015).

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Material

A principal tecnologia utilizada para a conversão da luz em eletricidade, é o painel solar, tais painéis são produzidos do mesmo material, o silício (Si), que se trata do segundo elemento químico mais encontrado na terra, é o principal material utilizado para a confecção destas células. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo. Algumas tecnologias vêm sendo estudadas para melhor aproveitamento do sistema fotovoltaico, o inversor solar é uma outra tecnologia indispensável para o sistema, pois é através dele que ocorre a conversão da energia fotovoltaica para a elétrica (CEMIG, 2012).

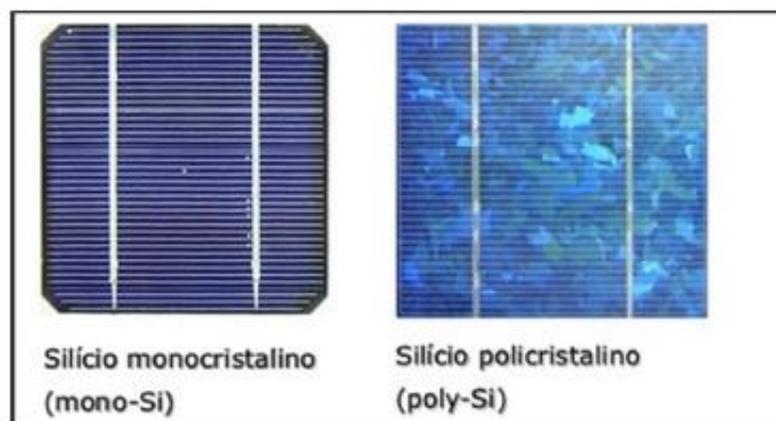
De acordo com suas características e matérias, as tecnologias aplicadas para a produção de células fotovoltaicas podem ser classificadas em três gerações.

A primeira geração se trata do silício cristalino (c-Si), que tem grande participação no mercado por sua eficiência, representa cerca de 85% do mercado, e se subdivide em:

- Silício monocristalino (m-Si) que são obtidos em sua maior parte através de fatias de um único grande cristal, mergulhado e fundido (MIRANDA, 2015). No processo o cristal recebe quantidade pequenas de boro formando um semicondutor dopado do tipo “p”, e posteriormente a seu corte é introduzido impurezas do tipo “n”, expostas a um a vapor de fosforo em fornos com altas temperaturas, o que garante eficiência e confiabilidade aos produtos (CEPEL, 2004; CRESESB,2004; CEMIG, 2012).
- Silício policristalino (p-Si), sua eficiência é inferior ao (m-Si), mesmo tendo origem do mesmo material, pois ao invés de ser obtido através de um único cristal, ele é fundido e solidificado, o que acaba gerando uma grande quantidade de grãos ou cristais com maior número de defeitos, assim tornando seu custo mais baixo quando comparados as células de monocristalinas (RUTHER, 2004).

Na Figura 5 a seguir foi retratado as diferenças entre ambos, para melhor entendimento.

Figura 5: : Diferenças das células de silício monocristalino e policristalino.



Fonte: Cepel, 2013.

A segunda geração que também chamada de filme finos, é dividida em silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Diferentemente dos módulos da primeira geração, este utiliza materiais semicondutores e técnicas de deposição diferentes. Entre os materiais mais estudados estão o silício amorfo (a- Si). Os filmes finos quando comparados com outras tecnologias apresentam grandes vantagens, pois além de consumir menos matéria prima ainda exigem menos energia de fabricação, o que torna seu custo baixo. Por ter sua complexidade de fabricação baixa é possível fabricá-los em grande escala, através de processos automatizados (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A terceira geração, definida pelo IEEE (2014, p 139) - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos como:

Células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único *band-gap* eletrônico. De forma geral, a terceira geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade.

E por fim, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, têm-se as células orgânicas ou poliméricas, esta que se baseia na utilização de semicondutor orgânico, que é responsável pela absorção solar, geração, separação e transporte de cargas (CEPEL; CRESESB, 2014).

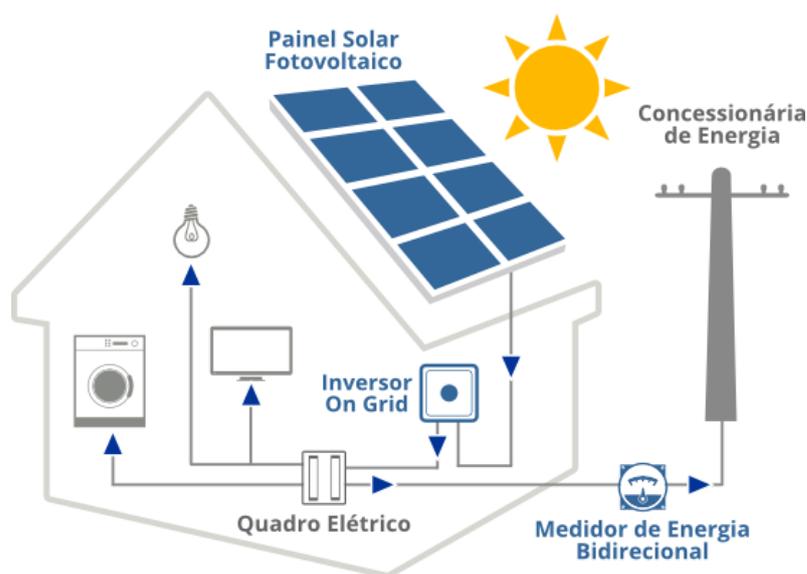
De acordo com Pinho & Galdinho (2014), graças aos incentivos governamentais criados, a produção destes componentes vem aumentando o que efetivamente diminui os custos do sistema.

3.1.1. Sistemas fotovoltaicos

3.1.1.1. Sistemas ligados a rede (*ON GRID*)

São aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica (PEREIRA; OLIVEIRA, 2013).

Figura 6: Sistemas ON GRID.



Fonte: Solar Energy, 20--?.

Uma das grandes vantagens desse sistema é a conexão com a rede de distribuição, visto que se ocorrer algum erro com o sistema, ou se o mesmo não gerar energia suficiente para suprir a demanda local, o usuário possui acesso a energia da rede de distribuição, ou seja, o mesmo não ficaria sem energia. Caso, o sistema gere mais energia que a demanda local, essa energia é injetada na rede em forma de crédito e o usuário poderá utilizá-la posteriormente, além disso, esse crédito poderá ser utilizado por uma residência com outro endereço, porém é necessário que esteja no nome do mesmo proprietário que gerou tal energia (PEREIRA; OLIVEIRA, 2013).

3.1.1.2. Sistemas autônomos ou isolados (*OFF GRID*)

Trata-se de um sistema de energia solar isolado, independente da rede elétrica, alimentando-se diretamente os aparelhos que consumirão esta energia. São mais utilizados em locais de difícil acesso à concessionária de energia elétrica.

Figura 7: sistemas OFF GRID.



Fonte: DonSol, 20--?.

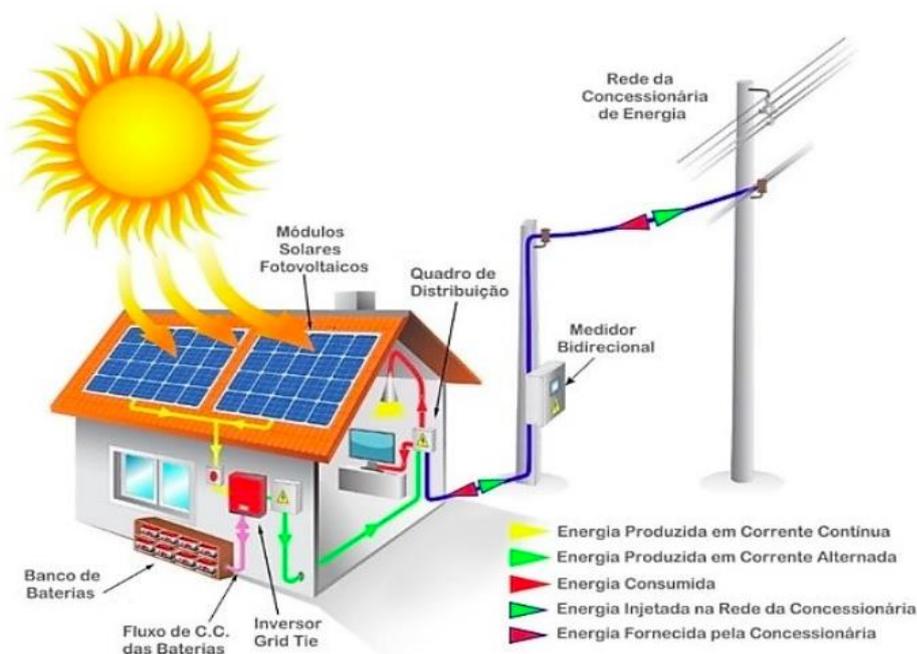
Atualmente possuem dois tipos de sistemas off grid, com armazenamento que pode ser utilizado em iluminação pública, bateria de veículos e até mesmo em pequenos aparelhos portáteis (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Já o sistema sem armazenamento, possui uma maior viabilidade econômica, além de ser frequentemente utilizado em bombeamento de água (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

Com base nos piores índices de radiação solar daquela área específica, dimensiona-se o sistema fotovoltaico isolado para ter uma autonomia de até três dias (em média).

3.1.1.3. Sistemas híbridos

A associação de sistemas fotovoltaicos com demais fontes de energia constitui uma das possibilidades de sistema híbrido. O seu maior benefício é proporcionar eletricidade (armazenada nas baterias), na privação de sol, ou seja, em dias de baixa, ou nenhuma, geração. No entanto, é apontado como um sistema complexo, já que necessita integrar diversas formas de produção de energia elétrica, como motores à diesel ou gás, ou por geradores eólicos (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

Figura 8: Sistemas híbridos.



Fonte: GridSolaris, 20--?.

As vantagens desse sistema é que o mesmo permite uma maior independência energética, permite que seja armazenada a energia para ser utilizada durante a noite, onde não há produção de energia, está sempre disponível caso haja um apagão na rede. Em contra partida, as desvantagens são que os sistemas híbridos necessitam de um investimento inicial mais elevado, visto que necessitam das baterias para armazenamento da energia, onde com isso a instalação fica mais complexa visto que há uma necessidade maior de espaço devido a necessidade das baterias (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

3.1.1.4. Equipamentos auxiliares

3.1.1.4.1. Baterias

As baterias, ou acumuladores, entre os diversos sistemas, são mais utilizadas naqueles isolados da rede elétrica, ou seja, off grid. Segundo Dazcal & Mello (2008), são dispositivos responsáveis por fazer o armazenamento da energia elétrica gerada pelos módulos, com o intuito de suprir a demanda da mesma na ausência da radiação solar. Com isso, podem ser consideradas de extrema importância, já que a radiação solar não ocorre nos períodos noturnos, e é reduzida em dias nublados.

Existem outros equipamentos capazes de realizar a função de armazenamento da energia, porém, a bateria ainda é utilizada em maior escala, devido à sua eficiência de funcionamento. A mesma é definida como: um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou paralelo,

capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução que ocorre em seu interior (PINHO; GALDINO, 2014, p.164).

São vários os tipos de baterias existentes, distinguindo-se devido às células empregadas, as quais influenciam diretamente na eficiência de armazenamento. Considerando o fato de que nem todos os modelos são economicamente viáveis, Messenger & Ventre (2010) apresentam as baterias de chumbo-ácido como o tipo, até hoje, mais utilizado para os sistemas fotovoltaicos.

3.1.1.4.2. Controladores de carga

Também chamado de regulador de carga, este componente é, geralmente, utilizado em sistemas off grid, ou seja, que empregam o uso de baterias para o armazenamento de energia. De acordo com Pereira & Oliveira (2011), os controladores de carga têm como principal função proteger os acumuladores, isto é, as baterias de sobrecargas do sistema. Além disso, se bem regulados, asseguram que o sistema opere em sua máxima eficiência. Messenger & Ventre (2010) complementam a finalidade deste equipamento ao afirmar que, ajustados corretamente, irão garantir o bom desempenho do sistema de baterias sob várias condições (carga, descarga e variações de temperatura).

O princípio de funcionamento, da proteção da bateria através dos controladores de carga, consiste em impedir que ela sofra sobrecarga de tensão e prevenir que ela seja completamente descarregada. Ambas as situações acarretam desgaste e, conseqüentemente, diminuição da vida útil da bateria, por isso devem ser controladas (PINHO; GALDINO, 2014).

3.1.1.4.3. Inversores

Os inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (PINHO; GALDINO, 2014).

De acordo com Pereira & Oliveira (2011), a energia elétrica na saída dos módulos fotovoltaicos é em corrente contínua (CC). Isto inviabiliza a sua aplicação direta na maioria dos equipamentos que trabalham, somente, em corrente alternada (CA). Para a solução deste problema, empregam-se os inversores, capazes de realizar a conversão desta tensão contínua para um valor de tensão em CA. Além disso, este equipamento é capaz de ajustar a frequência e nível de tensão gerada, para que o

sistema possa ser conectado à rede pública, on grid, de acordo com as normas vigentes estabelecidas pela Aneel.

Para selecionar o inversor adequado a ser utilizado em um sistema fotovoltaico, segundo Messenger & Ventre (2010), os requisitos a serem analisados são: a forma de onda da carga e a eficiência do próprio inversor.

3.2. Método

Essencialmente, a base metodológica dessa pesquisa compreendeu a realização de um levantamento bibliométrico, utilizando a base de dados do portal Periódicos da Capes e palavras chaves como método de busca conforme mostra a Tabela 1, desta forma, foi possível obter elementos de diferentes bases de dados como a Scielo e Scopus, promovendo um melhor resultado. Além das palavras chaves, foi adicionado aos motores de buscas alguns filtros e autores.

Tabela 1: Estratégias bibliométricas.

Interação	Palavra-Chave	Número de artigos encontrados	Número de Artigos selecionados	Número de artigos analisados
1	Photovoltaic solar system	67.996	723	15
2	Distributed generation	1.351.147	1.683	35
3	Solar energy	639.644	83	12

Obs: Ordenado por: relevância

Fonte: Autor, 2020.

Associada a revisão bibliográfica, foi conduzido um levantamento de dados digitais relacionados a temática da energia solar fotovoltaica na região de interesse, como radiação e ângulo de incidência. Utilizando um software livre de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), foi realizada a obtenção das informações geográficas do local de interesse através da base de dados do SunData que é disponibilizada pelo Ministério de Minas e Energia e o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica (CRESESB) para condução do estudo de viabilidade. Ainda no âmbito das ferramentas computacionais, foram utilizados softwares livres para execução de cálculos matemáticos de dimensionamento do sistema e viabilidade de implantação.

3.2.1. Descrição do local

O Ambiente de estudo foi um condomínio residencial do programa Minha Casa Minha Vida, faixa 1, situado no interior do estado do Rio de Janeiro, no município de Rio das Ostras, o condomínio

possui 15 blocos com 16 apartamentos cada bloco, totalizando 240 apartamentos, como mostra a Figura 9.

Figura 9: Condomínio residencial Praia Ancora.

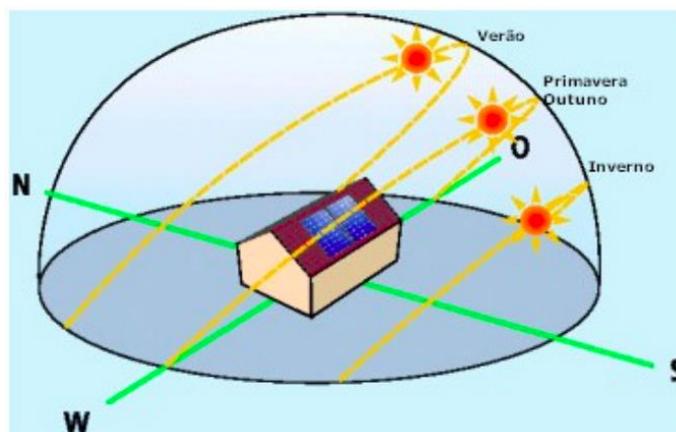


Fonte: Autor, 2019.

3.2.2. Orientação geográfica

Para aproveitamento máximo do potencial de geração dos módulos fotovoltaicos é necessário instalá-los com uma orientação adequada onde se obtenha maior incidência solar, pois a produção energética dos sistemas solares varia nos meses do ano, não somente devido as condições meteorológicas, mas também devido ao movimento da terra ao redor do sol, como mostrado na Figura 10. O local de estudo por se situar no hemisfério sul, apresenta uma orientação favorável ficando voltada para o norte geográfico. O norte geográfico é definido a partir do norte magnético, através de uma bússola, valores de declinação magnética e valores obtidos através de *softwares* (CRUZ, 2012).

Figura 10: Movimento do sol ao longo do ano.



Fonte: <https://www.electronica-pt.com/instalacao-sistema-fotovoltaico>

Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o município de Rio das Ostras possui uma latitude de 22,5° S e longitude 41,949° O. De posse destes dados foi possível definir o valor de irradiação solar do empreendimento, através do SunData que é um software destinado ao cálculo da irradiação solar diária média, baseado em dados históricos, no plano inclinado em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

De acordo com as Tabelas 2 e 3, há uma maior média de irradiação solar diária no mês de fevereiro (verão) e a menor média no mês de julho, isso se justifica devido a maior nebulosidade nessa época do ano, que é inverno no país. É possível verificar que a maior média anual ocorre com a inclinação a 20° N.

Tabela 2: Irradiação solar diária média mensal (kWh/m².dia).

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]					
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Plano Horizontal	0° N	6,20	6,41	5,10	4,47	3,69	3,42
Ângulo igual a latitude	23° N	5,57	6,09	5,24	5,05	4,54	4,43
Maior média anual	20° N	5,68	6,18	5,26	5,01	4,46	4,32
Maior mínimo mensal	26° N	5,44	6,00	5,21	5,09	4,61	4,52

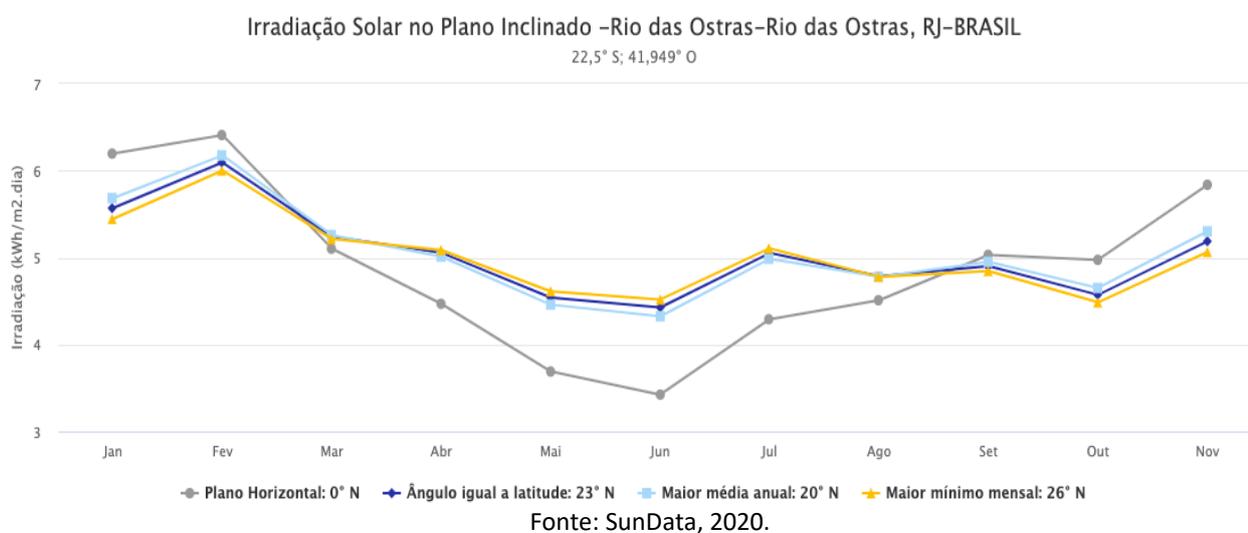
Fonte: SunData, 2020.

Tabela 3: Irradiação solar diária média mensal (kWh/m².dia).

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]							
		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	3,48	4,29	4,51	5,03	4,97	5,84	4,78	2,99
Ângulo igual a latitude	23° N	4,39	5,05	4,78	4,90	4,57	5,19	4,98	1,70
Maior média anual	20° N	4,30	4,99	4,78	4,95	4,65	5,30	4,99	1,87
Maior mínimo mensal	26° N	4,47	5,11	4,78	4,85	4,49	5,06	4,97	1,53

Fonte: SunData, 2020.

Figura 11: Irradiação no plano inclinado.



Na Figura 11, é possível verificar que o plano inclinado possui uma maior irradiação solar diária se comparado com o plano horizontal, pois quando se tem o plano horizontal a média é de 4,78 e quando o plano está inclinado a 20°N a média é de 4,99, ou seja, a melhor posição para se obter o melhor aproveitamento solar, é com o dimensionamento das placas no plano inclinado.

3.2.3. Radiação solar

Para realizar o cálculo da potência gerada pelos painéis foram necessários dados diários de radiação solar incidente. Os valores das médias mensais do total diário da radiação solar (kWh/m²/dia), em todos os meses do ano, foram obtidos com o software SunData, em função das diferentes orientações e inclinações para os painéis. Em geral, o valor da latitude local é usado como ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico. O ângulo com a maior média diária anual de irradiação solar costuma ser usada quando se deseja a maior geração anual de energia, o que seria o caso de aplicações de sistemas fotovoltaicos conectadas a rede de distribuição dentro do Sistema de Compensação de Energia, definido pela Resolução Normativa da Aneel n° 482/12. Já o ângulo com maior valor mínimo mensal de irradiação solar costuma ser uma medida conservadora, usado em situações onde o fornecimento contínuo de energia elétrica é crítico para atividade fim e por isso procura-se minimizar o risco de falta de energia (CRESESB, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Consumo de energia elétrica

É de suma importância fazer o levantamento do consumo médio de energia para o local onde for implantado o sistema fotovoltaico, uma vez que para determinar a quantidade de placas que o sistema precisará para suprir a necessidade do local a ser instalado é necessário ter o valor do consumo médio.

Tabela 4: Número médio de moradores por residências

Fonte	Número médio de moradores por residência				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
IBGE (2007)	4,0	3,8	3,4	3,3	3,2
Eletrobrás/PROCEL (2005)	3,8	3,5	2,9	3,4	3,0

Tabela 5: Consumo de energia elétrica por residência (kWh/mês)

Consumo de energia elétrica por residência (kWh/mês)					
Fonte	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
IBGE (2007)	109,2	97,1	153,8	159,9	162,0
Eletrobrás/PROCEL (2005)	88,8	97,0	108,9	169,8	267,2

De acordo com as Tabelas 4 e 5, o número médio de moradores por residência e o consumo de energia elétrica é de aproximadamente 4 pessoas e 160kWh/mês o que está de acordo realidade do condomínio em estudo. Como o empreendimento em estudo é composto por 240 residências, o consumo total do condomínio seria em torno de 38.400 kWh/mês.

4.2. Potência nominal necessária

Para realizar esta avaliação é necessário assumir e conhecer algumas condições iniciais. O primeiro passo é o cálculo do consumo médio diário, que possui realidades distintas de cálculo para os sistemas *on grid* e *off grid*. Para o sistema *on grid* conforme a Resolução Normativa nº 414 de 2010 da ANEEL, se o cliente possuir uma rede bifásica, é cobrado uma tarifa mínima obrigatória, consumindo ou não, relativo a 50 kWh/mês. Desta forma, para executar o dimensionamento, faz-se necessário retirar 50 kWh/mês da demanda estimada.

$$E = \frac{(Ec-tx)}{30} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

E = consumo médio diário (kWh/dia);

Ec = consumo médio mensal (kWh/mês);

tx = tarifa mínima obrigatória (50 kWh/mês)

O valor obtido (Eq.1) do consumo médio diário para o empreendimento foi de 1.278 kWh/dia.

Para calcular a potência do sistema fotovoltaico é necessário dividir o consumo médio diário respectivo a cada sistema pela média de irradiação solar supondo a instalação dos painéis com um ângulo de inclinação igual a zero (posição horizontal), valor este que foi fornecido pelo programa SunData, corresponde a 4,78 kWh/m².dia na cidade de Rio das Ostras-RJ.

$$P_s = \frac{E}{\sigma_{is}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

Ps = potência do sistema (kWh);

E = consumo médio diário (kWh/dia);

σ_{is} = média de irradiação solar (kWh/m².dia).

Assim sendo, os valores de potência (Eq.2) para o sistema calculado é de 267,36 kW.

Sabendo dos valores de potência do sistema, é necessário fazer o calculo de quantas placas fotovoltaicas serão necessárias para atender a demanda do local, para isso, é preciso dividir a potência do sistema total, pela potência de cada placa solar que é de acordo com o fabricante de 260W.

$$n_p = \frac{P_s}{P_p} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

np = número de placas necessárias (un);

Ps = potência do sistema (W);

Pp = potência da placa (W).

Desta forma, serão necessárias 1.028,30 placas, ou seja, 1.029 placas fotovoltaicas para atender a demanda do local.

De acordo com o fabricante de painéis fotovoltaicos Globo, uma placa fotovoltaica de 260W tem dimensões de 1,640 x 0,990 m, ou seja, aproximadamente 1,63m². Este módulo fotovoltaico foi certificado pelo INMETRO com nota “A”, apresentando eficiência de 16%, onde sua temperatura de operação varia entre -40°C a +85°C, a tensão máxima do sistema é de 1000 V DC e sua corrente máxima por fusíveis em série é de 20A. Levando em consideração suas dimensões, para a instalação de 1.029 placas seriam necessários 1.677,27m² para a instalação do sistema solar fotovoltaico.

Diante do exposto, como critério de verificação de viabilidade de um sistema solar no empreendimento, será considerado o valor de R\$0,79776/kWh, que multiplicado pela estimativa de consumo mensal de 38.400 kWh menos a tarifa mínima obrigatória (50 kWh/mês), pois como o sistema é on-grid faz se necessário retirar essa tarifa, com isso o consumo fica 38.350 kWh, totalizando um valor de R\$30.594,09 para o sistema.

4.3. Dimensionamento do sistema solar fotovoltaico *on grid*

O cálculo foi feito de forma que o consumo de energia do condomínio seja totalmente atendido pelo sistema fotovoltaico. Portanto, o sistema solar deverá atender a demanda de 38.350 kWh/mês. Com base nesse valor foi calculada a compensação diária que o sistema deverá prover. Para isso, divide-se o valor da demanda (38.350 kWh), por 30 dias, obtendo o valor de 1.278,33kWh/dia (Eq. 1), sendo os resultados apresentados na Tabela 6. Os dados apresentados estão relacionados para a utilização do sistema *on-grid*.

Tabela 6: Dimensionamento do sistema.

Estimativa do consumo (kWh)	38400
Taxa mínima (kWh/mês)	50
Sistema solar (kWh)	38350
Consumo médio diário (kWh/dia)	1278,33

Fonte: Autores, 2020.

4.4. Custo do sistema

Analisando o dimensionamento descrito, a utilização de um sistema fotovoltaico on grid para suprir toda a estimativa de consumo do condomínio, de acordo com o mercado, somente para comprar as 1.029 placas fotovoltaicas, seria necessário um investimento em torno de R\$1.029.000,00 reais, sem incluir neste valor, os demais equipamentos necessários para atender o sistema.

Tabela 7: Custo das placas para o sistema.

	Quantidade (un)	Custo unitário (R\$)	Total (R\$)
Placas	1029	1.000,00	1.029.000,00
Total			1.029.000,00

Fonte: Autores, 2020.

A partir dos custos levantados para o sistema *on grid* foi obtido um custo no valor aproximado de R\$ 1.029.000,00 reais para suprir a demanda energética de 240 residências, diante disso, é necessário estimar o tempo de retorno deste investimento. Para a realização do mesmo é necessário estimar o custo energético mensal em reais, ou seja, se o consumo médio mensal gira em torno de 38.350 kWh/mês e o valor pago por kWh é de R\$0,79776/kWh, basta multiplicar ambos valores que obteremos uma média de R\$30.594,10, ou seja, ao ser implantado o sistema de geração energética distribuída, o empreendimento economizaria mensalmente em torno de R\$30 mil reais. Para a obtenção do tempo de retorno do investimento, é necessário realizar a divisão entre o valor inicial do sistema e a economia esperada, conforme mostra a Eq.4:

$$T_{payback} = \frac{In}{Ec} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:

TPayback = tempo de retorno do investimento (meses);

In = investimento sistema (R\$);

EC = economia esperada (R\$).

Tabela 8: Tempo de retorno do investimento.

Investimento (R\$)	1.029.000,00
Tpayback (meses)	34

Fonte: Autores, 2020.

Diante dos cálculos apresentados, se nesse condomínio fosse implementado o projeto, o tempo de retorno do investimento seria de aproximadamente 3 anos. Considerando que as placas fotovoltaicas têm vida útil de 25 anos em média, é possível perceber que há um benefício que se estende por um longo prazo, após o tempo de retorno do investimento inicial.

5. CONCLUSÃO

O aumento da necessidade de energia elétrica no Brasil, é constante, sendo assim, é necessário que o país comece a investir na geração de energia elétrica, com isso, a geração de tal energia pode ser uma alternativa para o planejamento energético. A energia gerada e injetada na rede de distribuição, pode ser consumida no local em que a mesma foi gerada, evitando assim, perdas com a transmissão de energia.

Uma das principais desvantagens do sistema, é que, diante da elevação de temperatura, há uma perda de potência, outra desvantagem importante é que temos as perdas por cabeamento. Durante o dia, temos algumas variações na irradiação global, devido as nuvens, entre outros. Essas duas desvantagens somadas, acabam diminuindo a potência gerada, e com isso a produção do sistema.

A área utilizada é um fator determinante na construção e desenvolvimento de projetos de geração de energia, apesar da energia solar fotovoltaica necessitar de uma área para implantação que vai variar de acordo com a capacidade instalada necessária para suprir a necessidade de consumo, em comparação com outras fontes como como a hidráulica por exemplo, que necessita de áreas para construção e alagamento demasiadamente grandes, a energia solar possui notável vantagem e pode ser utilizada em escala residencial.

Foi possível estimar a viabilidade da implantação de um sistema de geração distribuída em empreendimentos do programa social minha casa minha vida, a fim de reduzir os gastos dessas famílias com a energia elétrica e ainda contribuir com o meio ambiente. A metodologia deste trabalho pode ser aplicada em diversos projetos, não somente de geração distribuída, considerando a objetividade do método de cálculo.

Por fim, vale ressaltar que de acordo com os resultados, foi possível observar que é extremamente viável a implementação do projeto de energia solar fotovoltaica distribuída, visto que o tempo de retorno do investimento inicial é bem pequeno em relação a vida útil do sistema. Sendo o investimento inicial na ordem de R\$ 1 milhão e o tempo de retorno do investimento de aproximadamente 3 anos. Com isso fica evidenciado de que a fonte de energia solar tem um enorme potencial para se tornar a primeira opção no quesito de geração de energia elétrica, pois além de ser uma fonte de energia sustentável é economicamente mais viável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA SENADO. **As novas possibilidades para o programa Minha Casa, Minha Vida – Especial Cidadania**. 2018. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/especial-cidadania/as-novas-possibilidades-para-o-programa-minha-casa-minha-vida#:~:text=No%20total%2C%20foi%20anunciada%20no,moradias%20para%20a%20Faixa%203.>. Acesso em: 08 Set. 2020.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 482**. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 16 de out. 2020.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 687**. 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 01 de nov. 2020.

BENEDITO, R. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. São Paulo, 2009.

CARVALHO, G. O. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma visão contemporânea**. Florianópolis. 2019. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/6707/4348. Acesso em 17 nov. 2020

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **As energias solar e eólica no Brasil**. 2013. Disponível em: <http://cresesb.cepel.br/download/casasolar/casasolar2013.pdf>. Acesso em: 01 de out. 2020.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **As energias solar e eólica no Brasil**. 2013.

COPETTI, J.; MACAGNAN, M. **Baterias em sistemas solares fotovoltaicos**. Abens -Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, 11, abr. 2007.10f.

CRESCB. **Energia solar: princípios e aplicações**. 2003. Rio de Janeiro: CEPEL, 2003. Disponível em: <http://www.cresceb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar.pdf>. Acesso em: 29 de out 2020.

CRESESB-CEPEL. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2004. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.p df](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf). Acesso em: 17 de set. 2020.

CRESESB-CEPEL. **Energia solar princípios e aplicações**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2006. Disponível em:<[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/energia_solar_principios_aplicacoes_2006](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/energia_solar_principios_aplicacoes_2006.pdf)>. pdf. Acesso em: 10 set. 2020

CRUZ, A. A. P. **Usina Solar Fotovoltaica de Juiz de Fora**. UFJF. Juiz de Fora, p. 58. 2012.

DATASHEET - BPSX120, 2016. Disponível em:

<<http://www.comel.gr/pdf/bpsolar/BPSX120.pdf>>. Acesso em: março 2020.

DANTAS, S.; POMPERMAYER F. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro, 2018.

ELETROBRÁS. **Como a energia elétrica é gerada no Brasil**, 2012. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/elb/natrilhadaenergia/main.asp?View=%7B61D475A6-BBFC-41CE-98E3-2BA4FD90DB2F%7D>. Acesso em: 02 out. 2020.

ELETROBRÁS. **Conservação de energia: Eficiência energética de instalações e equipamentos**. Procel. Itajubá, MG, Editora da EFEI, 2001.

ELETROBRAS. **Energia nuclear**. 2016. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Espa%3%A7odoConhecimento/Pesquisaescolar/EnergiaNuclear.aspx>. Acesso em: 15 set. 2020.

FEIL, Alexandre André. SCHREIBER, Dusan. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados**. Cad. EBAPE, v. 14, n. 3, jul./set. 2017.

FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF. **GLOBAL TRENDS IN RENEWABLE ENERGY INVESTMENT** 2016. Disponível em: <https://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2016lowres_0.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2020.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, **Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets**. OECD/IEA. Paris, France, 2002.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **O futuro que queremos: economia verde, desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza**. 2012. Disponível em: . Acesso em: 23 maio 2020

IRENA- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY. “**Rethinking Energy 2017**”. Disponível em: < http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_REthinking_Energy_2017.pdf > Acesso em 28 de agosto de 2019.

KRONEMBERGER, Denise Maria Penna. **Os desafios da construção dos indicadores ODS globais**. Cienc. Cult., São Paulo , v. 71, n. 1, p. 40-45, Jan. 2019 . Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252019000100012&lng=en&nrm=iso>. Aceso em 17 nov. 2020.

MARTÍN, E. C.; AGUILERA, M. Á. E. **Edifícios fotovoltaicos conectados a la red eléctrica: características y posibilidades energéticas**. In: I Master em Domótica 2005. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2005. Disponível em: http://www.iesdef.ump.es/ESF_arquitectos/MasterCEDINT6.PDF. Acesso em: 29 de mai. 2019

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil). **Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018**. Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018, Rio de Janeiro, n. 620.9:553.04(81), p. 1-292, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2020.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA (Brasil) – Conselho Nacional de Política Fazendária. **Convênio ICMS 101/97**. 1997. Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/1997/CV101_97. Acesso em: 4 jun 2020.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA (Brasil) – Conselho Nacional de Política Fazendária. **Convênio ICMS 16/15**. 2015. Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15. Acesso em: 4 jun 2020.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA (Brasil) – **Programa Minha Casa Minha Vida**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/cgu/pt-br/assuntos/noticias/2021/04/cgu-divulga-prestacao-de-contas-do-presidente-da-republica-de-2020/relatorio-de-avaliacao-pmcmv.pdf>. Acesso em: 4 out 2021

MIRANDA, R.F.C., 2013, **ANÁLISE DA INSERÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/miranda.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2020.

MME. **Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar**. Ministério de Minas e Energia, 2015. Disponível em: <https://tinyurl.com/y98wue3j>. Acesso em: 05 Ago.2020.

MOREIRA, Marcelo Rasga et al. **O Brasil rumo a 2030? Percepções de especialistas brasileiros (as) em saúde sobre o potencial de o país cumprir os ODS Brazil heading to 2030**. Saúde debate, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-11042019001200022&script=sci_arttext. Acesso em: 17 nov. 2020.

NASCIMENTO, Thiago Cavalcante; MENDONÇA, Andréa Torres Barros Batinga de; CUNHA, Sieglinde Kindl da. **Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil**. Cad. EBAPE.BR, Rio de Janeiro , v. 10, n. 3, p. 630-651, Sept. 2012 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-39512012000300010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 17 nov. 2020.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Nova York, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 15 Set. 2020.

OWENS, B. **THE RISE OF DISTRIBUTED POWER**. 2014. Disponível em:<<https://www.ge.com/sites/default/files/2014%2002%20Rise%20of%20Distributed%20Power.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2020.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PROGD- PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DA GERACAO DISTRIBUIDA DA ENERGIA ELETRICA. – **Ações de estímulo a geração distribuída, com base em fontes renováveis**. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3013891/15.12.2015+Apresentação+ProGD/bee12bc8-e635-42f2-b66c-fa5cb507fd06?version=1.0>. Acesso em: 15 set. 2020.

RIBEIRO, B. **Análise da viabilidade econômica de implantação de um estacionamento solar: Estudo de caso**. São João Del-Rei, 2018

RUTHER, R. – **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis, SC: Labsolar, 2004.

SENADO FEDERAL (Brasil). **Projeto de Lei do Senado nº 167**. 2013. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/112612>. Acesso em: 15 set. 2020.

SEVERINO, M.M; CAMARGO, I.M.T; DE OLIVEIRA, M.A.G. “**Geração distribuída: discussão conceitual e nova definição**”. Revista Brasileira de Energia, v.14, n.1, p.47-69, 2008.

SEVERINO, M.& OLIVEIRA, M. **Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas**. Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

SOLAR ENERGY INTERNATIONAL. **Photovoltaics Design and Installation Manual**. Canadá: New Society Publishers, 2004.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.

WORLD BANK GROUP (OECD). **Global Solar Atlas**. Solar resource maps, ODA, ano 2019, p. 1-1, 31 dez. 2019. Disponível em: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download>. Acesso em: 1 jul. 2020.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

ESTUDO DA VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTVOLTAICO EM TODOS OS EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL DO MUNICÍPIO DE MACAÉ-RJ

Andreza Karla Alves Pereira ¹
José Augusto Ferreira da Silva²

RESUMO

O Brasil possui destaque no potencial para a geração de energia proveniente da irradiação solar já que fica localizado na zona intertropical, registrando assim, elevados índices de irradiação durante todo o ano, além disso possui sua matriz de geração de energia elétrica altamente fundamentada em fontes renováveis. A análise da viabilidade financeira para uma implementação de um sistema solar fotovoltaico é de suma importância atualmente, visto que a energia elétrica no quesito das necessidades humanas é um elemento essencial e com o aumento da demanda energética acaba ocasionando uma exigência ainda maior em relação a essa tecnologia e sua eficácia. Sob a perspectiva social e de energia renováveis, se propõe uma análise da implementação de projetos de energia solar fotovoltaica em todos os empreendimentos habitacionais de interesse social do Programa Minha Casa Minha Vida no município de Macaé-RJ. O município possui atualmente 12 empreendimentos do Programa, totalizando 1302 unidades habitacionais. Para realizar tais análises foram utilizados dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), FGV (Fundação Getúlio Vargas) entre outros. Diante dos dados coletados, foi dimensionado o sistema solar fotovoltaico que atendesse 100% a demanda energética local que gira em torno de 208.270 kWh/mês, ou seja, aproximadamente 5.500 placas para atender todos os empreendimentos, e para isso seria necessário um investimento inicial de cerca de R\$5,5 milhões, com estimativa de tempo de retorno do investimento inicial em 33 meses, ou seja, o investimento se recuperaria cerca de 3 anos após o início do projeto. Além disso, foi conduzida uma estimativa do impacto do projeto no âmbito da redução das emissões de CO₂, que resultou em aproximadamente 200 ton/ano, cerca de 5000 ton ao longo dos 25 anos de vida útil do projeto. Diante dos resultados obtidos ficou evidenciado uma boa aderência a implementação de sistemas fotovoltaicos em empreendimentos de interesse social, visto que há viabilidade financeira e capacidade de proporcionar benefícios sociais para uma população economicamente frágil, além de contribuir com a redução das emissões de CO₂, resultados que estão em consonância com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU.

Palavras chave: Sistema solar fotovoltaico; Geração distribuída; Energia solar.

FEASIBILITY STUDY FOR IMPLEMENTING A SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN ALL HOUSING PROJECTS OF SOCIAL INTEREST IN THE MUNICIPALITY OF MACAÉ-RJ

ABSTRACT

Brazil stands out in the potential for the generation of energy from solar irradiation as it is located in the intertropical zone, thus recording high levels of irradiation throughout the year, in addition to having its electric energy generation matrix highly based on renewable sources . The analysis of the financial viability for an implementation of a photovoltaic solar system is of paramount importance today, since electricity in terms of human needs is an essential element and with the increase in energy demand it ends up causing an even greater demand in relation to this technology and its effectiveness. From a social and renewable energy perspective, an analysis of the implementation of photovoltaic solar energy projects in all social interest housing projects of the Minha Casa Minha Vida Program in the municipality of Macaé-RJ is proposed. The municipality currently has 12 projects under the Program, totaling 1302 housing units. To carry out such analyzes data from ANEEL (National Electric Energy Agency), FGV (Fundação Getúlio Vargas) among others were used. Based on the data collected, the photovoltaic solar system was sized to meet 100% of the local energy demand, which is around 208,270 kWh/month, that is, approximately 5,500 plates to meet all the projects, and for this an initial investment of around R\$5.5 million, with an estimated payback time on the initial investment of 33 months, that is, the investment would recover around 3 years after the start of the project. In addition, an estimate of the project's impact in terms of reducing CO2 emissions was conducted, which resulted in approximately 200 ton/year, around 5000 ton over the 25 years of the project's lifetime. In view of the results obtained, a good adherence to the implementation of photovoltaic systems in projects of social interest was evidenced, as there is financial feasibility and the ability to provide social benefits for an economically fragile population, in addition to contributing to the reduction of CO2 emissions, results that are in line with the UN Sustainable Development Goals (SDGs).

Keywords: *Solar photovoltaic system; Distributed generation; Solar energy.*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país privilegiado no âmbito da energia gerada através do sol, visto que é um dos países com maior potencial de geração de energia elétrica proveniente da irradiação solar por possui um elevado tempo de brilho solar durante todo o ano.

Os investimentos em energia solar vem apresentando um crescimento considerável anualmente, no Brasil. De acordo com a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), o Brasil poderá possuir investimentos em torno de 100 bilhões de reais nessa tecnologia, até o ano de 2030, o que corresponde a aproximadamente 25% das matrizes de energia de todo o país.

Os incentivos à geração de energia solar de forma distribuída se dá, pelo elevado potencial dessa modalidade, bem como os benefícios que a mesma proporciona ao sistema elétrico, como o baixo impacto ambiental, redução no carregamento das redes e conseqüentemente a postergação nos investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição (CORREIA et. al., 2020).

A evolução da emissão de CO₂, um dos gases do efeito estufa, vem gerando grandes preocupações para o Brasil e para o mundo. De acordo com a ABESCO (2016) nos últimos anos, a matriz elétrica brasileira tem sido responsável pela emissão de grandes volumes de CO₂ na atmosfera, como visto no pico da crise energética, no ano de 2014, quando 26% do sistema elétrico brasileiro foi suprido através das termelétricas, uma fonte que possui elevado nível de emissão poluentes. Nesse período a emissão advinda das termelétricas chegou a ultrapassar, em alguns momentos, a emissão gerada por meio do desmatamento.

Assim sendo, a geração de energia através do sistema solar fotovoltaico é uma opção sustentável, visto que uma casa produzindo sua própria energia, por meio dos módulos fotovoltaicos, deixa de consumir a energia proveniente da matriz, o que acarreta uma redução considerável nas emissões de CO₂ na atmosfera (ABESCO, 2016).

Com a pesquisa, para a produção desse artigo, buscou-se realizar uma análise da viabilidade de uma hipotética implantação do sistema solar fotovoltaico em todos os empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida do município de Macaé-RJ, buscando entender os reflexos causados por esta medida na esfera social, ambiental e econômica.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Geração distribuída

A geração distribuída pode ser conceituada como qualquer fonte geradora com produção destinada, em sua maior parte, a cargas locais ou próximas, alimentadas sem necessidade de transporte da energia através da rede de transmissão, e que tenha capacidade de mobilidade no que diz respeito à sua localidade física (AMARAL et. al., 2016).

Nos últimos anos diversos fatores contribuíram para o crescimento da geração distribuída, dentre esses fatores foram destacados cinco que fizeram essa tecnologia ganhar visibilidade do mercado e conseqüentemente investimentos do mesmo, de acordo com a FGV (2015) tais fatores são: liberação do mercado de energia; desenvolvimento de tecnologias de geração elétrica em escala reduzida; aumento na demanda de uma eletricidade mais confiável; restrições na construção de novas linhas de transmissão e preocupações com as mudanças climáticas.

De acordo com a ANEEL (2019), que foi a principal agente responsável pelo crescimento da geração distribuída visto que em 2012 a mesma lançou uma resolução normativa regularizando o método de geração distribuída (Resolução nº 482/2012), de acordo com a mesma, a geração distribuída no país ultrapassou a marca de 1GW de potencia instalada em micro e minigeração onde a fonte mais utilizada pelos consumidores é a solar fotovoltaica que possui aproximadamente 86 mil micro e mini usinas e 870MW de potência instalada.

Segundo o ProGD (Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica) o Brasil até o ano de 2030 possuirá cerca de 2,7 milhões de unidades consumidoras no setor agrícola, residencial, comercial e industrial, gerando sua própria energia.

2.2. Primeiro empreendimento de grande porte no Brasil a utilizar a tecnologia de geração distribuída

De acordo com a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) o primeiro empreendimento de grande porte a utilizar a tecnologia de geração distribuída fica localizado na região de Pampulha em Minas Gerais, o condomínio possui 440 unidades habitacionais.

Segundo a MRV (2018), o empreendimento nominado Spazio Parthenon é uma grande conquista para a empresa visto que o sistema solar fotovoltaico irá atender a demanda do consumo individual de cada apartamento e das áreas comuns, sendo assim vai atender aos objetivos da empresa

de contribuir para um desenvolvimento sustentável por meio da utilização de uma fonte de energia limpa.

No empreendimento foi instalado o sistema solar fotovoltaico com uma potência de 437,25 kWp, tal sistema gera mensalmente 52.800 kWh de energia, para que essa demanda energética fosse atendida, foi necessário utilizar 1.650 placas solares no empreendimento, o que resultou em um investimento inicial de R\$1,5 milhão. Em síntese, no Spazio Parthenon são geradas por apartamento 120 kWh por mês, das quais, 105 kWh/mês são para consumo próprio do morador, e os outros 15 kWh/mês são conduzidos para a área comum do empreendimento. Se em algum mês a quantidade energética gerada para cada morador, ultrapasse a demanda do mesmo, a energia produzida pelo sistema em excesso, é convertida em crédito e poderá ser utilizada em até 60 meses (MRV, 2018).

Na Figura 1 ilustra-se a disposição das placas solares fotovoltaicas que ficaram situadas no telhado de cada bloco do empreendimento a fim de se obter uma melhor irradiação solar durante o dia e conseqüentemente gerar mais energia.

Figura 1: Spazio Parthenon



Fonte: MRV, 2018.

2.3. Utilização da geração de energia distribuída e a redução na emissão do CO₂

A elevada quantidade de dióxido de carbono na atmosfera trazem conseqüências como chuva ácida, poluição do ar, efeito estufa, entre outros. Tais efeitos provocam um aquecimento terrestre e

com isso é gerado diversos danos ao ecossistema. Uma das alternativas para que haja a redução da emissão de CO₂ na atmosfera é a substituir a fonte de energia gerada por meio de combustíveis fósseis como a queima de carvão e petróleo, visto que tal ato contribui consideravelmente para o aquecimento global, por fontes de energias renováveis (IRENA, 2017a).

O Brasil é um dos maiores emissores de gases do efeito estufa no mundo, decorrente da grande dependência dos combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica. No ano de 2015 o nível de emissão mundial de CO₂ atingiu cerca de 36,24 bilhões de toneladas onde, a ordem de países de maior emissão ocorreu na seguinte ordem: China 29,35%, EUA 14,26%, Europa 9,57%, Índia 6,76%, Rússia 4,85%, Japão 3,45% e o Brasil 1,32% (JRC, 2015).

O Brasil tem um excelente potencial de geração de energia elétrica proveniente da luz solar, visto que o país possui uma posição geográfica privilegiada e com isso possui mais horas de brilho solar, o que evidencia o grande potencial do país em geração de energia elétrica por meio de fontes limpas (IRENA, 2017a).

De acordo com Dantas et.al, 2019, onde o mesmo realizou um estudo de caso em uma unidade consumidora com uma micro usina fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica de 45kWp, afim de avaliar a quantidade ativa de energia em tal usina, bem como seu nível de emissão de CO₂, segundo os dados levantados para o estudo, o nível de emissão de CO₂ no mês de maio de 2018 da unidade consumidora utilizando a energia da usina foi em torno de 180 kgCO₂, em comparação com a unidade consumidora no mesmo mês, porém, utilizando apenas energia ativa da concessionária, onde a emissão de CO₂ girou em torno de 270 kgCO₂. Diante dos resultados obtidos fica evidenciado que a utilização do sistema solar fotovoltaico reduz consideravelmente a emissão de CO₂ na atmosfera, pois de acordo com o estudo, o mês de maio de 2018 gerou uma redução de 32% ou aproximadamente 90 kgCO₂ de emissão de dióxido de carbono.

2.4. Geração de energia distribuída no país e o peso no orçamento das famílias brasileiras

A utilização da energia proveniente da radiação solar, é uma realidade bastante presente em boa parte do Brasil, atualmente o país possui cerca de 5 GW instalados, e com isso obtém cada vez mais consumidores, porém, o avanço da utilização dessa tecnologia resulta em uma pressão na conta de luz daqueles que não fazem uso de tal tecnologia. Isto ocorre pois a conta de luz é composta pelos seguintes custos: distribuição, transmissão, impostos, encargos setoriais, perdas e custo da energia. Ou seja, os incentivos que foram fornecidos a quem utilizasse a geração de energia distribuída, geram um impacto sobre a conta de luz dos demais consumidores, principalmente às famílias mais pobres, visto que a

conta de luz atualmente impacta tais famílias em média 5 vezes mais, se comparados as famílias mais ricas (IDEC, 2021).

Contudo, o consumidor que faz uso da energia solar fotovoltaica, a conta de luz do mesmo se limita a uma tarifa mínima que é paga a concessionária para disponibilizar energia, caso o sistema não supra a demanda total. O grande problema é que tal tarifa não é suficiente para atender a instalação demandada pelo sistema. Dados da Aneel mostram que, esse cruzamento de subsídio, gerará um custo aproximado de R\$55 bilhões de reais nos próximos 15 anos, tal custo será cobrado das famílias mais pobres por meio das taxas de conta de luz (IDEC, 2021).

Portanto, o que atualmente acontece na prática é que, mesmo que os custos que os sistema de geração distribuída acarreta seja distribuído por todos os consumidores, os benefícios que tal tecnologia possui, são usufruídos predominantemente pelas classes mais favorecidas (ABRADEE, 2021).

3. MATERIAL E MÉTODO

Para o estudo de viabilidade, foi realizada uma revisão bibliográfica, utilizando como base de dados o portal de Periódicos da Capes, para o levantamento bibliométrico por meio da inserção de termos de busca correlatos o tema, com o uso de operadores booleanos e símbolos de truncamentos. Foi utilizado também como forma de buscas para obtenção de materiais que contemplassem artigos com a temática envolvendo energia solar fotovoltaica e geração distribuída, um levantamento bibliográfico, onde foram realizadas consultas em livros, revistas e meios eletrônicos.

Para realização do estudo de viabilidade, a obtenção dos dados quantitativos utilizados como parâmetro para os cálculos foi realizada por meio dos dados públicos divulgados pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), FGV (Fundação Getúlio Vargas), entre outros. Foram utilizados softwares livres como LibreOffice para realização dos cálculos e QGIS (software de SIG – sistema de informações geográficas) para análise dos dados sob a perspectiva geoespacial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atual cenário do local de estudo

O ambiente de estudo são todos os empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida do município de Macaé-RJ, que de acordo com a SISHAB, o município possui 12 empreendimentos com status concluído o que totaliza 1302 unidades habitacionais, como demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1: Quantitativo de obras do Programa Minha Casa Minha Vida no município de Macaé-RJ

UF	Município	Empreendimento	UH	Valor	Status
RJ	Macaé	PARQUE MAR DO CARIBE	178	2.538.606,90	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RESIDENCIAL BOSQUE AZUL QUADRA 03	42	3.439.089,92	Obras Entregues
RJ	Macaé	RESIDENCIAL BOSQUE AZUL QUADRA 04	86	9.641.813,35	Obras Entregues
RJ	Macaé	RESIDENCIAL MAR BALTICO	195	3.329.823,83	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RESIDENCIAL MAR DA IRLANDA	208	6.590.818,73	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RESIDENCIAL MAR DE GALES	240	5.747.184,66	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RESIDENCIAL MAR DO NORTE	232	7.342.791,75	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RESIDENCIAL PARQUE MARACAIBO - MODULO I	12	1.264.153,84	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	RES PQ MARACAIBO MOD II	4	397.619,44	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	TOTAL VILLE MACAE - CONDOMINIO 2	40	1.177.163,11	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	TOTAL VILLE MACAE - CONDOMINIO 3	17	660.151,42	Obras Concluídas - FGTS
RJ	Macaé	TOTAL VILLE MACAE MODULO I	48	998.830,18	Obras Concluídas - FGTS

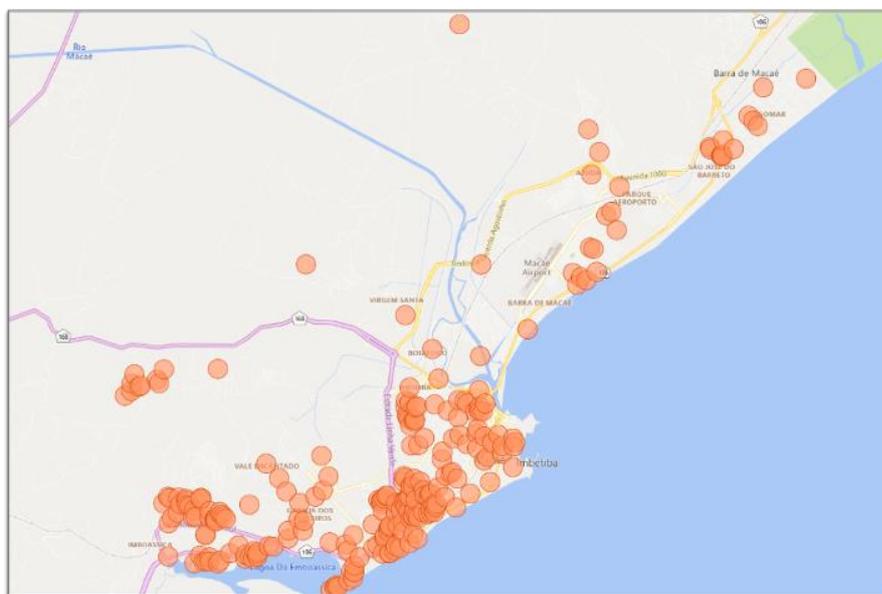
Fonte: ANEEL, 2021.

A partir do mapa apresentado na Figura 2, é possível verificar de forma qualitativa que no município de Macaé, os locais onde a tecnologia de sistemas solares fotovoltaicos está mais difundida são os bairros mais nobres/intermediários, como por exemplo, Praia dos Cavaleiros, Imbetiba, Praia do Pecado, Vale dos Cristais, Mirante da Lagoa, entre outros.

Esta correlação é explicada principalmente pelo alto investimento inicial demandado para instalação do sistema, valores médios em torno de R\$ 27 mil (a partir de cotações com fornecedores locais) para um sistema capaz de atender uma família com 4 pessoas. Esse fator é significativo para o entendimento da baixíssima aderência das famílias de baixa renda aos sistemas solares fotovoltaicos.

A relação entre a alta concentração dos sistemas fotovoltaicos nos bairros com maior renda e a baixa concentração nos de menor renda, evidencia mais uma consequência da desigualdade social tão intensa no Brasil e também no Município de Macaé. Essa realidade da limitação de acesso a tecnologia solar fotovoltaica é visualizada em todo país e caracteriza não apenas uma consequência da desigualdade social, mas também contribui para o agravamento da mesma, visto que a implementação do sistema, de forma geral, gera benefício financeiro a longo prazo para o seu detentor e ônus para os não detentores.

Figura 2: Concentração dos bairros que mais possuem painéis fotovoltaicos



Fonte: ANEEL, 2021.

4.2. Consumo de energia elétrica do local

Para que haja um dimensionamento do sistema solar fotovoltaico eficaz para suprir a demanda do local, é necessário fazer o levantamento do consumo médio do local a fim de descobrir quantas placas fotovoltaicas serão necessárias para atender o sistema.

Quadro 2: Número de moradores por residência

Fonte	Número médio de moradores por residência				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
IBGE (2007)	4,0	3,8	3,4	3,3	3,2
Eletrobrás/PROCEL (2005)	3,8	3,5	2,9	3,4	3,0

Quadro 3: Consumo de energia elétrica por residência

Consumo de energia elétrica por residência (kWh/mês)					
Fonte	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
IBGE (2007)	109,2	97,1	153,8	159,9	162,0
Eletrobrás/PROCEL (2005)	88,8	97,0	108,9	169,8	267,2

De acordo com os Quadros 2 e 3 é obtido uma média de consumo para a região sudeste de 160 KWh/mês, considerando que cada residência possua uma média de 4 moradores. Ou seja, o consumo de energia elétrica dos 12 empreendimentos do município gira em torno de 208.320 KWh/mês.

Segundo a Resolução Normativa nº 414 de 2010 da ANEEL, caso o cliente possua uma rede bifásica, e cobrado do mesmo uma tarifa mínima obrigatória, independente se houver ou não o consumo, relativo a 50 KWh/mês, ou seja, para realizar o dimensionamento do sistema é necessário retirar 50 KWh/mês da demanda estimada.

$$E = \frac{(Ec - tx)}{30} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

E = consumo médio diário (kWh/dia);

Ec = consumo médio mensal (kWh/mês);

tx = tarifa mínima obrigatória (50 kWh/mês)

A partir da Equação (1) foi obtido um valor de 6.942 KWh/dia para o consumo médio diário dos 12 empreendimentos.

4.3. Potência nominal e número de placas necessárias

Para a realização do cálculo da potência do sistema solar fotovoltaico é preciso realizar a divisão do consumo médio diário do sistema pela média da irradiação diária do município que foi obtido por meio do software Sundata e ao supor que as placas serão dimensionadas horizontalmente,

ou seja, com o ângulo de inclinação igual a zero, o valor da irradiação obtida para esta posição foi de 4,92 KWh/m².dia. Para a obtenção do valor da potência é preciso utilizar a Equação (2):

$$P_s = \frac{E}{\sigma_{is}} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:

P_s = potência do sistema (kWh);

E = consumo médio diário (kWh/dia);

σ_{is} = média de irradiação solar (kWh/m².dia).

Ao realizar os cálculos pertinentes a Equação (2) foi obtido um valor de 1.410,98 KW de potência para o sistema.

Para saber quantas placas fotovoltaicas são necessárias para atender a demanda dos empreendimentos, é necessário realizar a divisão da potência total do sistema, pela potência total das placas que de acordo com o fabricante das placas Globo é de 260W, conforme mostra a Equação (3).

$$n_p = \frac{P_s}{P_p} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

n_p = número de placas necessárias (un);

P_s = potência do sistema (W);

P_p = potência da placa (W).

Ao realizar os cálculos pertinentes a Equação (3), foi obtido um valor de 5.466,84 unidades, ou seja, para atender a demanda dos 12 empreendimentos do município de Macaé, são necessárias 5.467 placas fotovoltaicas. Segundo o fabricante das placas fotovoltaicas Globo, as dimensões das mesmas são de 1,640 x 0,990 m, o que dá uma área de 1,63m² aproximadamente, ao considerar a dimensão

das placas e a quantidade necessária de placas para atender o sistema, seria necessária uma área de aproximadamente 8.911m², onde, dividido pelos 12 empreendimentos ficaria uma área de 742m² para cada condomínio.

4.4. Dimensionamento e custo do sistema solar fotovoltaico

Diante dos cálculos apresentados anteriormente, utilizando o valor do kWh a R\$0,79776, que multiplicado pelo consumo médio do local (208.320 kWh menos a taxa da concessionária de 50 kWh), obtém-se o valor de R\$166.149,47 para o sistema. O dimensionamento do sistema foi realizado para que atendesse 100% da demanda do local, ou seja, o sistema deverá atender a demanda de 208.270 kWh/mês.

Com isso, para que haja uma base do custo do investimento inicial para que o sistema seja instalado a fim de suprir toda a demanda mensal necessária do local, levando em consideração apenas o valor das placas fotovoltaicas, que de acordo com o mercado gira em torno de R\$1.000,00 a unidade, para atender o sistema com 5.467 placas, seria necessário um investimento inicial de R\$5.467.000,00.

Outro cálculo de suma importância é o tempo de retorno no investimento, pois a partir dos resultados obtidos é possível determinar ou não a viabilidade de implantação do sistema, Para a obtenção do tempo de retorno do investimento, é necessário realizar a divisão entre o valor inicial do sistema e a economia esperada, conforme mostra a Equação (4):

$$T_{payback} = \frac{In}{EC} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:

TPayback = tempo de retorno do investimento (meses);

In = investimento sistema (R\$);

EC = economia esperada (R\$).

Ao realizar os cálculos da Equação (4), foi obtido um valor de 33 meses, ou seja, se os 12 empreendimentos do município de Macaé implementarem o sistema, em aproximadamente 3 anos já seria obtido o retorno completo do investimento inicial. Além disso, visto que a vida útil das placas

gira em torno de 25 anos, os consumidores teriam pelo menos 22 anos de economia com a energia elétrica, fato que evidencia a viabilidade econômica para essa tecnologia.

4.5. Cálculo da redução da emissão de CO₂ com a utilização da energia solar fotovoltaica

De acordo com o MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) o cálculo para que seja determinado a quantidade de CO₂ evitada com a utilização de sistemas solares fotovoltaicos é dada pela Equação (5) conforme demonstrado abaixo:

$$CO2_{evitado} = E_{produzida} \times FP_{CO2} \quad (Eq.5)$$

Onde:

$CO2_{evitado}$ = massa de CO₂ evitada (kg);

$E_{produzida}$ = Eletricidade produzida (kWh);

FP_{CO2} = Fator de prevenção de CO₂ (kg/kWh)

A partir da Equação (5), utilizou-se o valor para o fator de prevenção fornecido pelo MCT de 0,1244 kg/kWh e a eletricidade produzida de 208.320 kWh (valor da demanda dos empreendimentos calculado por meio da Equação (1)) tal equação resultaria em um valor de 25.915 kg ou seja 26 toneladas de CO₂ evitado por mês, e anualmente seria evitado a emissão de 311 toneladas de CO₂.

Ao utilizar o sistema de energia solar fotovoltaico nos 12 empreendimentos no município há uma redução considerável na quantidade de CO₂ emitida se comparado com a não utilização do sistema, porém esse valor não é zerado, o valor de CO₂ emitido com a utilização do sistema é obtido por meio da multiplicação da eletricidade produzida pelo sistema e o fator de emissão de CO₂ (gerado pela sistema de energia fotovoltaica), ou seja, 208.320 kWh (eletricidade produzida) e 0,045 kg/kWh (fator de emissão de CO₂ para energia solar, vale ressaltar que para outras fontes energéticas esse fator é diferente) obtidos por meio dos dados do IPCC (2012), logo, com a implementação do sistema solar fotovoltaico os 12 empreendimentos emitiriam cerca de 9.374 kg de CO₂ ou seja 9,3 toneladas por mês, ou 112.488 kg ou seja, 112,4 toneladas por ano.

Para saber o real valor que os empreendimentos estariam deixando de emitir de CO₂ com a implementação do sistema solar fotovoltaico, basta diminuir o valor de CO₂ evitado, conforme resultado da Equação (5) do valor de CO₂ emitido por meio do sistema fotovoltaico, o que resulta em 311 toneladas menos 112,4 toneladas, logo, os empreendimentos estariam deixando de emitir cerca de 198,6 toneladas de CO₂ por ano.

Diante dos cálculos expostos acima, o Quadro 4 abaixo representa o investimento inicial para a implementação do sistema solar fotovoltaico nos empreendimentos, bem como o tempo de retorno do investimento e a quantidade de CO₂ que o local deixaria de emitir caso o sistema fosse implantado.

Quadro 4: Investimento e retorno do sistema

Estimativa do consumo (kWh)	208.320
Investimento inicial (R\$)	5.467.000,00
Tempo de retorno do investimento (meses)	33
Quantidade de CO ₂ evitado por ano (tonelada)	198,6

Fonte: Autores, 2021.

5. CONCLUSÃO

Atualmente, um dos maiores desafios enfrentados pelo Brasil e pelo mundo é o quesito energético, visto que a energia elétrica é um insumo essencial para o crescimento social, ambiental e econômico, porém engloba diversos impactos ambientais, tais impactos podem ser locais ou até mesmo globais. Assim sendo, umas das alternativas para que haja a mitigação desses impactos seria a do consumidor gerar parte ou 100% da energia consumida.

Diante dos resultados obtidos por meio dos cálculos apresentados foi possível analisar a completa viabilidade de implantação do sistema visto que mesmo com um investimento inicial relativamente alto, em torno de 5,5 milhões de reais, o tempo de retorno do mesmo é mínimo se comparado ao tempo de vida útil do sistema, o tempo de retorno gira em torno de 3 anos e a vida útil do sistema 25 anos, com isso é notório a viabilidade do sistema no quesito econômico, vale ressaltar que a economia gerada pelo sistema contempla todos os apartamentos dos empreendimentos, ou seja, haverá a redução na conta de energia elétrica de cada morador desses empreendimentos, bem como a redução com os gastos de energia para as áreas comuns.

No que tange os impactos ambientais advindos da energia elétrica, um dos impactos significantes é a quantidade de emissão de CO₂ na atmosfera, que causa diversos danos ambientais, ao implementar o sistema solar fotovoltaico no município, o mesmo deixaria de emitir cerca de 200 toneladas de CO₂ por ano, ou seja, há uma grande viabilidade ambiental com a utilização do sistema solar fotovoltaico.

Com isso, fica evidenciado o grande potencial que a fonte de energia solar possui no Brasil, podendo assim, se tornar uma das primeiras opções no quesito de geração de energia elétrica, pois possui viabilidade na esfera econômica e ambiental. Com esse estudo, pode-se também concluir que tem viabilidade na esfera social, com vistas a redução da desigualdade social escarada todo o Brasil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESCO – **Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Conservação de Energia**. Junho, 2016. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/novidade/residencias-podem-deixar-de-emitir-1-tonelada-de-co2-por-ano-com-microgeracao-fotovoltaica/>. Acesso em: 20. Agos. 2021

ABRADEE – **Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica**. **Por que o Brasil precisa mudar as regras da energia solar?**. Março, 2021. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/por-que-o-brasil-precisa-mudar-as-regras-da-energia-solar/>. Acesso em: 20 mai. 2021

AMARAL, A. B. A. et al. **Solar Energy and Distributed Generation: 2015, a Year of Inflection in Brazil?** IEEE Latin America Transactions, v. 14, n. 8, p. 3731-3737, Aug. 2016. DOI: <https://10.1109/TLA.2016.7786357>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7786357>. Acesso em: 10 fev. 2021.

ANEEL- **Agência Nacional de Energia Elétrica** - Geração Distribuída. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracaodistribuida/656877. Acesso 08 de nov de 2020.

CORREIA DA SILVA, LARISSA et al. **Crescimento da geração distribuída no brasil e correlação entre os estados**. Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233), [S.l.], v. 10, n. 3, p. 143-158, dez. 2020. ISSN 2318-3233. Disponível em: <http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/2373>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

DANTAS, O.; APOLÔNIO, R.; JÚNIOR, A. **Potencial da geração distribuída e seu impacto na redução de emissão de co2: Estudo de uma micro usina fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica**. Revista Engevista (ISSN 1415-7314), V.21, n.2, p. 329-340, mai. 2019. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/27299/16565>. Acesso em: 20 mai. 2021

FGV - Fundação Getúlio Vargas. **Micro e Mini geração no Brasil: Viabilidade Econômica e Entraves do Setor**. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/13853/micro.pdf?sequence=1>. Acesso 08 de nov. 2020.

IDEC – **Instituto Brasileiro De Defesa Do Consumidor**. **O efeito “Robin Hood às avessas” da energia solar**. Março, 2021. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/wp->

content/uploads/2021/03/Estudo_GD_Robin-Hood-a%CC%80s-avessas.pdf. Acesso em: 20 mai. 2021.

IRENA – **International Renewable Energy Agency. Accelerating the global energy transformation.** International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2017a. Disponível em: <https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_REthinking_Energy_2017.pdf>. Acessado em: 01 mar. 2021.

IPCC. **Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.** . [S.l: s.n.], 2012. Disponível em:< https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf>. Acesso em: 15 fev 2021.

JRC – JOINT RESEARCH CENTER. "**Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)**", **CO2 time series 1990-2015 per region/country.** Disponível em: <<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=CO2ts1990-2014&sort=des9>>. Acessado em: 01 mar. 2021.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros.** Brasília.2006 (Relatório técnico). Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 12/01/2021.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Tabela Fator Médio Mensal e Anual (tCO2/MWh).** Disponível em:< <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>>. Acesso em: 10/02/2021.

MRV **Engenharia inaugura condomínio com geração de energia solar fotovoltaica.** MRV, 2018. Disponível em: <https://www.mrv.com.br/institucional/pt/relacionamentos/noticias/mrv-engenharia-inaugura-condominio-com-geracao-de-energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 19 fev. 2021.