

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCAS MOURA DOS SANTOS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM
RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

NATAL/RN

2020

LUCAS MOURA DOS SANTOS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM
RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Werner Farkatt Tabosa.

NATAL/RN

2020

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Santos, Lucas Moura dos.

Análise de viabilidade econômica de Sistema Fotovoltaico em residência unifamiliar / Lucas Moura dos Santos. – Natal, 2020.
49 f.

Orientador: Prof. Dr. Werner Farkatt Tabosa.
Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Energia solar.– Monografia. 2. Sistema fotovoltaico – Monografia.
3. Viabilidade econômica – Monografia. I. Tabosa, Werner Farkatt. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

LUCAS MOURA DOS SANTOS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM
RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Werner Farkatt Tabosa
Orientador

Prof. Dr. Leivlam Rodrigues de Lima
Membro Interno

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre acreditaram no meu potencial e me incentivaram a ser uma pessoa melhor a cada dia. Foram de fundamental importância para que eu seguisse firme nos meus objetivos. Dedico também a todos que fizeram parte da minha caminhada e acreditaram em mim, à vocês meus sinceros agradecimentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu saúde e direcionamento para que eu seguisse firme nesta caminhada, fazendo com que eu vencesse mais uma etapa em minha vida.

Ao meu professor orientador Dr. Werner Farkatt Tabosa, pela dedicação e suporte que me deu nesta jornada, além dos ensinamentos e conselhos valiosos para a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais Luciano Oliveira dos Santos e Nesse Cristina Moura Garcia dos Santos que acreditaram no meu potencial e me deram o suporte necessário para que eu seguisse firme nessa jornada, sem eles não seria possível.

Gostaria de agradecer também a Beatriz Melo Galvão pelos auxílios, conselhos e parceria e apoio nas minhas decisões.

“É necessário sempre acreditar que o sonho é possível, o céu é o limite e você é imbatível. O tempo ruim vai passar, é só uma fase, e o sofrimento só aumenta mais a sua coragem”

(Edy Rock)

RESUMO

A necessidade de consumo de energia elétrica tem crescido de forma exponencial no mundo. Para suprir esta demanda de consumo energética de forma que afete ao mínimo o meio ambiente, várias fontes de geração de energia consideradas limpas estão sendo empregadas, entre elas tem-se a energia solar, que vem se tornando cada vez mais atrativa por ter uma fonte infinita de geração que é a luz solar e não ser poluente durante o seu uso. Desta forma, foi realizado um estudo de caso a respeito da análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico que fornece energia para residência unifamiliar através da geração e compensação de energia, levando em consideração quanto do capital investido foi destinado para alimentar a residência e a expectativa de retorno do investimento baseado no projeto de viabilidade econômica inicial do sistema.

Palavras-chave: Energia Solar. Sistema fotovoltaico. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

The need for electric energy consumption has grown exponentially in the world. To supply this demand in a way that effects the environment less, several considered clean sources of energy are being used, including solar energy, which has become increasingly attractive for having an infinite source that is sunlight, and for being non-polluting during its use. In this way, a case study was carried out regarding the economic feasibility analysis of a photovoltaic system that provides energy for a single-family residence through the generation and compensation of energy, taking into consideration how much of the invested capital was destined to supply the residence and the expected return of the investment, based on the system's initial economic viability project.

Keywords: Solar Energy. Photovoltaic System. Economic Viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Usina Solar Itupevara.....	20
Figura 2- Usina Solar Bom Jesus da Lapa.....	20
Figura 3- Usina Solar Apodi.....	21
Figura 4- Vista Aérea do Empreendimento	24
Figura 5- Representação da Metodologia.....	25
Figura 6 – Primeira Célula Solar.....	27
Figura 7- Exemplos de Utilização dos Painéis solares	29
Figura 8 - Ranking de Geração e Potência Instalada Solar no mundo.....	30
Figura 9 - Mercado fotovoltaico no mundo.....	30
Figura 10- Potência instalada (MW) de Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil.....	31
Figura 11- Atlas Brasileiro de Energia Solar.....	33
Figura 12 - Sistema de Geração Fotovoltaica	36
Figura 13 - Inversor utilizado no sistema fotovoltaico.....	40
Figura 14 – Inversor utilizado para melhor dimensionamento do sistema.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - média de tempera e precipitação no semiárido Norte riograndense.....	35
Tabela 2 - Custos do sistema fotovoltaico	40
Tabela 3 - Unidades Consumidoras e porcentagem de distribuição de excedentes.....	41
Tabela 4 - Geração e compensação de energia da unidade geradora	42
Tabela 5 - Consumo e compensação de energia da Unidade Consumidora utilizada no estudo de caso	43
Tabela 6 - Histórico de consumo em kWh da Unidade Consumidora.....	44
Tabela 7 - Valor pago nas contas de energia.	45
Tabela 8 - Energia consumida pela Unidade Consumidora Principal (geradora)..	46
Tabela 9 – Compatibilidade do sistema fotovoltaico com o inversor.....	47
Tabela 10 – Custos necessários para suprir as necessidades da residência.....	49
Tabela 11 – Tabela retirada do estudo de viabilidade econômica original do sistema fotovoltaico realizado pela empresa ElektSolar Innovations.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	19
1.2 OBJETIVO.....	23
1.2.1 Objetivos Específicos	23
3 METODOLOGIA	24
4 REFERENCIAL TEÓRICO	26
4.1 HISTÓRICO DOS PAINÉIS SOLARES.....	26
4.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL E NO MUNDO.....	28
4.3 POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO.....	33
4.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS.....	34
4.5 CONDIÇÕES QUE FAVORECEM A UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS.....	35
4.6 SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	36
4.7 SISTEMAS CONECTADOS À REDE (ON-GRID).....	37
4.8 ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	38
5 ESTUDO DE CASO	39
5.1 CARACTERÍSTICAS DE GERAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA.....	39
5.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	39
5.2.1 Módulos Fotovoltaicos	39
5.2.2 Inversor	39
5.3 VALOR DO SISTEMA FOTOVOLTAICO – TABELA DE PREÇOS.....	40
5.4 UNIDADES CONSUMIDORAS.....	41
5.5 GERAÇÃO E COMPENSAÇÃO DE ENERGIA DA UNIDADE GERADORA.....	42
5.6 CONSUMO E COMPENSAÇÃO DE ENERGIA DA UNIDADE CONSUMIDORA UTILIZADA NO ESTUDO DE CASO.....	43
5.7 VARIAÇÃO DE CONSUMO EM KWH E DE TARIFAS AO LONGO DO ANO.....	44
5.8 QUANTIDADE DE PAINÉIS SOLARES NECESSÁRIOS PARA ALIMENTAR A RESIDÊNCIA.....	45
5.9 NOVO INVERSOR UTILIZADO PARA SUPRIR AS NECESSIDADES DA RESIDÊNCIA.....	47
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49

7 REFERÊNCIAS.....	51
---------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o consumo de energia elétrica em todo o planeta teve um crescimento exponencial. Segundo os estudos realizados por Niágara Silva (2012), para o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), entre os anos de 1995 e 2011 o consumo anual de energia no mundo passou de 243.000 GWh para 443.000 GWh, representando na época, um aumento de 78%, em relação à década anterior. De acordo com o estudo supracitado, a tendência é que o consumo de energia aumente cada vez mais nos anos subsequentes.

Com a crise energética no âmbito mundial, oriunda do aumento demográfico e a dependência cada vez maior da sociedade em consumir energia elétrica, tornou-se um desafio para as organizações mundiais encontrar alternativas tecnológicas que viessem a suprir esta demanda energética, levando em consideração a preservação do meio ambiente e as questões sociais.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), a matriz energética pode ser definida como o conjunto de fontes de energia disponíveis para alimentar todo o país, para captar, distribuir ou utilizar em setores comerciais, industriais, residenciais ou como forma de combustível para ser utilizada em veículos. No Brasil, há uma predominância na utilização de petróleo e seus derivados como fonte energética, sendo estes causadores de grandes impactos ambientais, são limitados e com previsão de esgotamento no futuro, sendo classificados como fontes não renováveis (OLIVEIRA, SUAREZ e SANTOS, 2008), representando uma parcela de 36,4% de toda a demanda nacional. Um fator determinante para este número ser tão expressivo é a predominância do transporte rodoviário no país, que aumenta muito a demanda por combustíveis fósseis. Seguido pelos derivados de cana de açúcar, representando 17%, gás natural 13%, energia hidráulica 12%, lenha e carvão vegetal 8%, energias renováveis 5,9%, carvão mineral 5,7%, energia nuclear 1,4% e 0,6% demais energias não renováveis.

Analisando os estudos elaborados pelos autores supracitados, pode-se enfatizar que uma dos pilares da indústria nacional está pautada na produção, geração e consumo de energia elétrica, que pode ser definida como “o conjunto de fontes de energia disponíveis apenas para a geração de energia elétrica”, sendo composta por 65,2% de energia hidráulica, 10,5% de gás natural, 8,2% de

biomassa, 6,9% de solar e eólica, 4,1% de carvão, 2,6% de nuclear e de 2,5% de petróleo e derivados.

No Brasil, de acordo com o ATLAS de Energia Elétrica da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2008), a energia elétrica é o segmento da infraestrutura mais universalizado. Sendo que, em 2008, aproximadamente 95% da população brasileira tinha acesso à rede elétrica, representando cerca de 85% dos mais de 61,5 milhões de unidades consumidores espalhados em 99% dos municípios brasileiros (COELHO, 2014).

Neste contexto, pode-se dizer que a energia elétrica é fundamental para a sociedade moderna. Segundo Coelho (2014), no atual modelo de organização social humana ela desempenha um papel imprescindível no desenvolvimento das forças produtivas, sendo indispensável para a vida humana e para o desenvolvimento socioeconômico de um país.

O consumo de energia do Brasil cresce todos os anos. Ele tem certa relação ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), mas também ao crescimento vegetativo da população e da renda das pessoas. A necessidade de aumentar o parque gerador nacional é uma constante. Todo ano ele tem que crescer cerca 3% a 4%. Se houver atrasos de obras, como a de Belo Monte que não produz, vai faltar energia [...] (**Revista Brasil**).

Com base nesses dados, pode-se observar que a energia hidráulica é a que vem sendo utilizada com maior intensidade em todo o território nacional ao longo das últimas décadas. Este tipo de energia ainda é bastante utilizado no país, por ser considerada para muitos especialistas uma energia limpa. Em geral, as hidrelétricas causam “menos impactos ambientais”, se comparadas a outros modelos de geração de energia, tais como as usinas termelétricas à base de óleo diesel, carvão ou gás natural.

Em geral, as hidrelétricas são classificadas como fontes “menos poluentes” com relação à emissão de particulados ou gases na atmosfera. Entretanto, as usinas termelétricas são identificadas como importantes fontes de impactos ambientais, especialmente associado à emissão de poluentes atmosféricos. Além disso, as usinas hidrelétricas emitem 60 vezes menos gases poluentes que as usinas de carvão e 18 vezes menos que usinas movidas a gás natural (JÚNIOR et al., 2013).

As centrais termelétricas são importante tipologia de geração de energia elétrica e hoje possuem uma participação significativa na matriz brasileira. Na operação dessas termelétricas são emitidos vários poluentes gasosos e materiais particulados, efluentes líquidos, efluentes sólidos, rejeitos térmicos, ruídos e efeitos estéticos, os quais podem variar em função de diversos fatores, que vão desde o tipo de combustível utilizado, a idade dos equipamentos até a tecnologia empregada (XAVIER, 2004 apud COLEHA, 2014).

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), os anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 foram os mais quentes registrados até hoje. O relatório mais recente da organização mostra ainda que, no ano de 2018, a temperatura média global foi 1°C acima da base pré-industrial, mostrando que o aquecimento global está acontecendo de forma acelerada (Francisco de Assis, 2019).

Em 1995, as queimadas respondiam por 77% de nossas emissões de gases do efeito estufa. Caíram para 32% em 2012. No mesmo período, a fumaça das usinas termoelétricas foi de 8% a 30% das emissões brasileiras. O dado é do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa, organizado pelo Observatório do Clima, uma coalizão de ONGs e centros de pesquisas.

As emissões atmosféricas e, particularmente, os aspectos ligados às emissões de gases de efeito estufa (GEE), indicam à necessidade da realização de estimativas das atuais emissões atmosféricas das termoelétricas brasileiras e da elaboração de cenários para projeções futuras.

Segundo Mansur e Germano (2014), a mudança de perfil das emissões brasileiras é resultado, em parte, da redução da participação das hidrelétricas em nossa matriz de geração. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 1998 mais de 88% da capacidade instalada brasileira era hidrelétrica. Ela caiu para 73% em 2012. As termelétricas passaram de 12% para 27% nesse mesmo período. O Brasil, que ostentava uma economia baseada em energia limpa, provavelmente começará a se preocupar com quanto polui para alimentar a indústria e o comércio.

Diferentemente de grande parte do mundo, historicamente, a geração de energia elétrica no Brasil é predominantemente hidráulica, em virtude do grande potencial hidráulico presente no país (XAVIER, 2004 apud COELHO, 2014). A partir da década de 60, as hidrelétricas ganharam impulsos através de fortes investimentos estatais (XAVIER, 2004 apud COLHO, 2014). Além disso, as crises do petróleo de 1973 e 1979 colaboraram para que o país adotasse uma nova

estratégica de geração de energia, mesmo sendo necessário um alto custo (ambiental, social e econômico) para a sua instalação.

Atualmente, um problema comumente enfrentado pelos especialistas para a instalação das usinas hidrelétricas, está atrelado às mudanças climáticas globais, dentre elas a elevação da temperatura do Planeta e a modificação do regime de chuvas. As áreas onde existiam precipitações regulares, agora já não acompanham mais o acervo histórico, fazendo com que a disponibilidade hídrica diminua, e conseqüentemente a produção de energia entre em declínio (UNICAMP, 2018).

Para que não falte energia ou que seja equilibrado o fornecimento energético, diversas ações devem ser tomadas. Há curto prazo, poderia se pensar em colocar as termelétricas em funcionamento, e há longo prazo, acelerar os investimentos, e colocar em dia as obras atrasadas de geração e distribuição de energias a base de sistemas eólicos, solares e/ou híbridos (BRASIL, 2015).

Em consequência destes fatos, as Organizações Mundiais vêm procurando alternativas que possam suprir as demandas energéticas dos países, de forma sustentável e que prejudique ao mínimo o meio ambiente. Além da crise hídrica que os países já estão enfrentando, a produção de energia através de usinas hidrelétricas possuem outras desvantagens ambientais e sociais, quando comparadas a outras fontes de energias alternativas, como, por exemplo, os parques eólicos e solares. Dentre estas desvantagens, pode-se destacar o alto custo de implantação das usinas hidrelétricas, os danos na fauna e flora da região onde será implantada a usina, alagamento de grandes áreas, recobrimento de áreas férteis, realocação de comunidades tradicionais, tais como quilombolas, indígenas e ribeirinhas (JÚNIOR et al., 2013).

Diante desse cenário, buscam-se as energias renováveis como uma alternativa de energia limpa, sustentável e independente, e naturalmente reabastecidos, como sol, vento, chuva, marés e energia geotérmica (FOGAÇA, 2019). Neste contexto, foram surgindo novas tecnologias, como a maremotriz, eólica, solar, geotérmica e a biomassa. Entre estas fontes de energias limpas, tem-se a energia solar como uma ótima alternativa, por ter uma fonte inesgotável que é a energia produzida pelo sol: ela é adquirida por meio de painéis fotovoltaicos que são capazes de converter a radiação solar em energia elétrica e vem tendo grande crescimento em especial no Nordeste Brasileiro, devido às suas condições

climáticas e alta incidência de raios solares e posicionamento geográfico favorável, mediante a proximidade com a linha do equador (ECOIA, 2017).

O uso dessa categoria de geração de energia possui diversas vantagens como alta eficiência energética, redução de custos em longo prazo, menores perdas na implantação e distribuição da energia elétrica, não é poluente durante seu uso, não produz ruído e é viável em praticamente todo o território brasileiro, em virtude da alta incidência de radiação solar (VILLALVA, 2016).

Uma fonte de energia limpa, renovável e abundante em praticamente todo o planeta, estas são as principais vantagens da energia solar, que pode levar eletricidade e sustentabilidade até em locais isolados, suas desvantagens são a intermitência da geração (apenas durante o dia) e alto custo da tecnologia (BLUESOL, 2018).

Com a redução de custos dos sistemas fotovoltaicos e a possibilidade de geração própria, prevê-se uma mudança de paradigmas na geração de energia elétrica (MELO, 2013). Para que o investimento seja feito da melhor forma, é necessário realizar um estudo a respeito da viabilidade econômica da inserção do sistema fotovoltaico.

Diante do exposto, será feita uma análise a respeito da viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico que alimenta residência unifamiliar através da geração e compensação de energia, levando em consideração quanto do capital investido foi destinado para alimentar a residência e a expectativa de retorno do investimento.

2 JUSTIFICATIVA

Diante do uso crescente de fontes de energia provenientes de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão mineral, o xisto e o gás natural, as grandes organizações mundiais começaram a se preocupar com o bem-estar da população (qualidade de vida, respiração e diminuição da emissão de CO₂ na atmosfera). Essas fontes de energia são provenientes da decomposição de material orgânico em camadas de bacias sedimentares. Como são formados por processos naturais, por meio da decomposição de seres vivos, o petróleo e demais combustíveis a ele associados não são renováveis entre a escala de vida humana, pois a transformação de matéria orgânica em Hidrocarboneto demora milhões de anos para acontecer. Os combustíveis derivados do petróleo possuem ainda diversas desvantagens, como preços cada vez maiores (quanto menor a disponibilidade no mercado e maior procura, mais elevado é o seu custo), emitem gases poluentes à atmosfera (contribuindo para o aumento do efeito estufa por meio da queima desses tipos de combustível), contribuem para a chuva ácida e para o aumento da temperatura terrestre (BRASIL ESCOLA, 2019).

Em decorrência deste cenário, as fontes de energia consideradas limpas estão sendo utilizadas para amenizar a poluição do planeta. Entre as fontes de energia alternativa, tem-se a energia solar que vem ganhando espaço, se mostrando uma excelente opção e sendo implementada cada vez mais em todo o território nacional. Pode-se destacar usinas solares como a Usina Solar Ituverava (Figura 1), situada em Tabocas do Brejo Velho – BA, que produz cerca de 196 Megawatts por ano, seguido pela Usina Solar Bom Jesus da Lapa (Figura 2), situada em Bom Jesus da Lapa – BA, produzindo cerca de 158 Megawatts por ano e a Usina Solar Apodi (Figura 3), situada em Quixeré – CE, produzindo cerca de 132 Megawatts por ano, ambas na região Nordeste do país. Acordo com a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), a energia solar vem tendo taxa histórica de crescimento anual de aproximadamente 35%, e estima-se que até o fim de 2019, este crescimento seja de 44% (ANEEL, 2019).

Figura 1 – Usina Solar Ituverava.



Fonte: Eleksolar (2019).

Figura 2 – Usina Solar Bom Jesus da Lapa.



Fonte: TODABAHIA (2015).

Figura 3 – Usina Solar Apodi.



Fonte: Ambiente Energia (2018).

A energia solar fotovoltaica pode ser empregada de várias formas: em sistemas isolados ou autônomos instalados. Em áreas distantes, produzir uma linha de transmissão de quilômetros de distância para atender poucas casas não é economicamente viável, fazendo com que sistemas isolados de geração de energia sejam uma ótima opção, muito comum em propriedades rurais e comunidades isoladas. Também se podem instalar painéis solares em residências, condomínios, edifícios, sistemas conectados à rede de distribuição em geral e por meio de usinas solares.

Um importante salto para o crescimento no emprego deste tipo de energia no Brasil foi o projeto estratégico desenvolvido pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) denominado “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” que veio com o objetivo de propor arranjos técnicos e comerciais para projeto de geração de energia elétrica através de tecnologia solar fotovoltaica, de forma integrada e sustentável, buscando criar condições para o desenvolvimento de base tecnológica e infraestrutura técnica e tecnológica para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética nacional (ANEEL, 2011).

Porém, para a inserção deste tipo de sistema é necessário um estudo de viabilidade econômica para garantir que o investimento será viável e qual é a perspectiva de retorno do investimento feito.

3 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico em residência localizada em Natal/RN através do sistema de compensação de energia, verificando quanto do capital total investido no sistema fotovoltaico foi destinado para suprir a demanda de consumo da residência unifamiliar (Unidade Consumidora utilizada no estudo de caso), comparando-a com o projeto original, que é responsável por alimentar mais 6 (seis) residências.

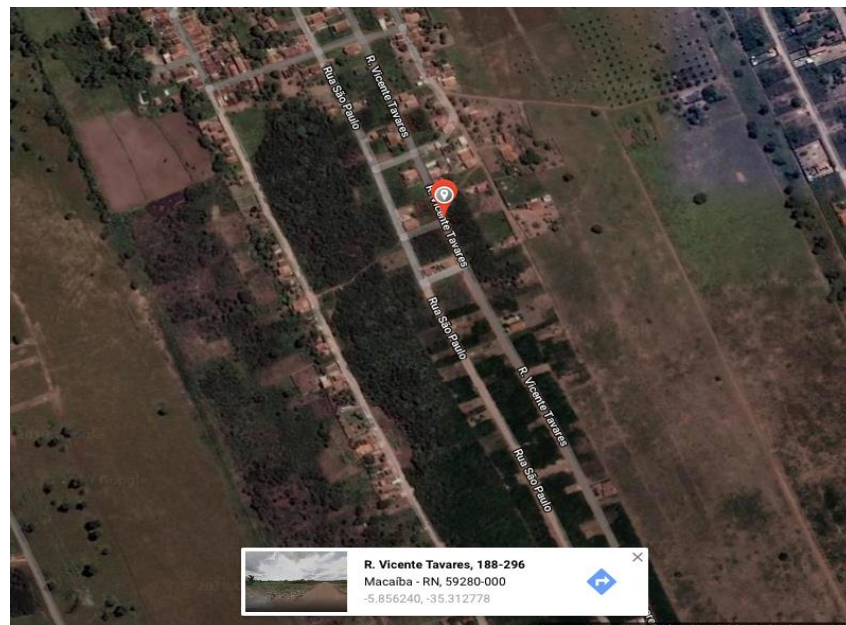
3.1 Objetivos Específicos

- Quantificar e avaliar a evolução da geração de energia elétrica por esses sistemas fotovoltaicos residenciais.
- Realização de um estudo de caso utilizando resultados da viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico em residência localizada em Natal/RN
- Comparar os resultados obtidos com o projeto original
- Realizar uma estimativa futura de economia com a implantação do sistema fotovoltaico.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa pode ser considerada descritiva, pois visa através de coleta de dados e estudo de caso, analisar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico em residência unifamiliar. O sistema fotovoltaico está localizado no município de Macaíba/RN, no bairro Ferreiro Torto, Rua Vicente Tavares, nº 5 (Figura 4). O sistema de geração é proveniente de fonte solar com capacidade de gerar 21,440 kWp e ocupam uma área de 126,98 m².

Figura 4 – Vista aérea da empreendimento.



Fonte: Imagem retirada do Google Maps (2020).

A Unidade Geradora fornece excedentes de energia para seis residências localizadas na cidade de Natal/RN através do sistema de compensação e rateio dos créditos de energia elétrica. Este estudo focará na viabilidade econômica de apenas uma destas residências unifamiliares, baseando-se à partir deste empreendimento de produção de eletricidade através da conversão fotovoltaica. A residência está localizada em Areia preta e representa uma área de 192m².

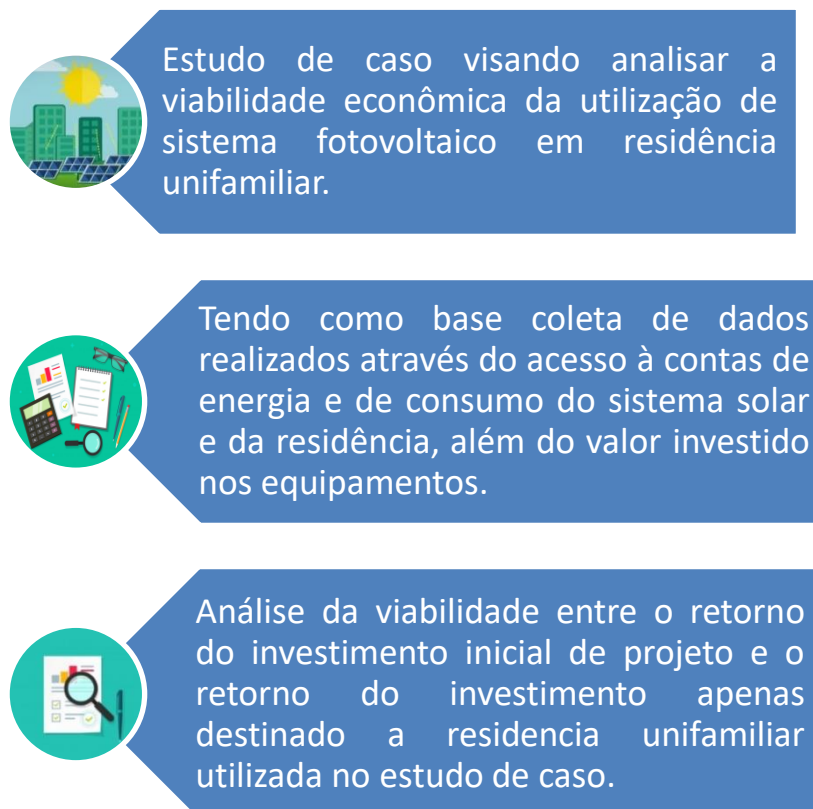
Inicialmente, foi realizado um contato com o proprietário do sistema fotovoltaico para obter as informações necessárias para o andamento do estudo. Foram fornecidos os seguintes dados: Memorial descritivo do empreendimento, custo dos equipamentos, projetos e mão de obra, geração e compensação de energia ao longo dos meses em que o sistema ficou ativo, porcentagem de rateio

dos excedentes de crédito em energia elétrica, faturas e projeção do retorno do investimento (payback).

Em seguida, foram reunidas informações a respeito da residência, dentre elas a variação de consumo e compensação de energia e valor das contas de energia elétrica antes e após a distribuição dos excedentes de energia por parte da Unidade Geradora desde que o contrato com a COSERN entrou em vigor.

Após toda a coleta de dados, será analisado quanto do capital investido no empreendimento foi destinado apenas para suprir as necessidades da Unidade Consumidora Principal (geradora) e distribuição dos excedentes de energia para suprir a demanda média de consumo da Unidade Consumidora utilizada no estudo de caso, e a partir da economia média mensal das faturas de energia elétrica, analisar a previsão de payback, comparando com o retorno do investimento do estudo original, que é de 3 anos e 5 meses.

Figura 5 - Lista representando a metodologia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

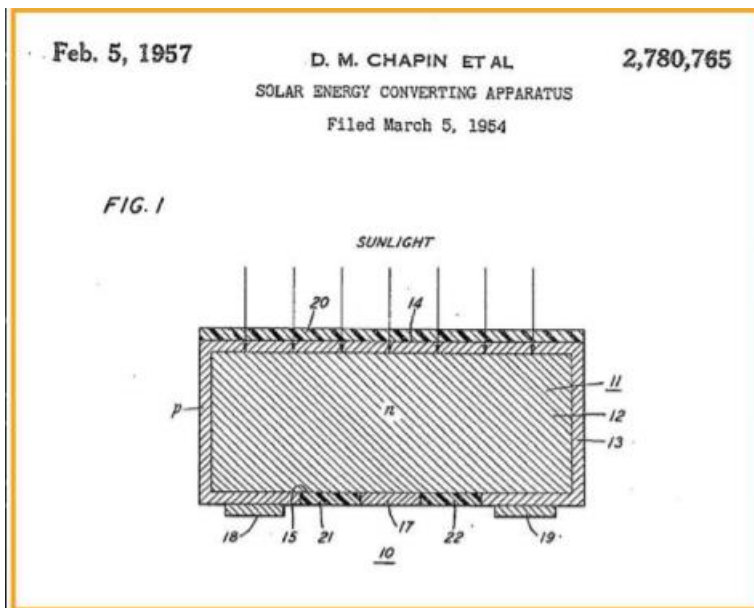
4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1- Histórico dos Painéis Solares

Segundo Vallêra e Brito (2006), a história da primeira célula solar começou em março de 1953, quando Calvin Fuller, químico da empresa Bell Labs, produziu seu primeiro equipamento a partir do silício. Para iniciar o processo, foi mergulhada uma barra de silício dopado (adição de impurezas químicas elementares, como o fósforo) a uma pequena concentração de Gálio, tornando o material um bom condutor com cargas móveis positivas. Após isto, com a ajuda do seu colega de trabalho Gerald Pearson, físico renomado na época, a barra foi mergulhada em banho quente de Lítio, portadora de carga negativa. Quando os elementos de carga positiva entraram em contato com os de carga negativa, criou-se um campo elétrico permanente. Após este processo, verificou-se que, quando a amostra era exposta à luz, produzia corrente elétrica.

Apesar desta grande descoberta, a eficiência de conversão dos painéis não passava de 4%, o que era eficaz apenas para operar pequenos dispositivos elétricos, além de seu elevado custo de produção. Não contente com esta baixa eficiência, Fuller executou alguns novos experimentos, até que chegou na substituição do elemento Gálio pelo Arsênio, seguido por uma difusão de Boro, o que resultou em uma eficiência recorde de 6%, sendo 50% maior do que a solução apresentada anteriormente (Figura 5). Estes dados eram surpreendentes para a época, porém o alto custo de fabricação e implementação dos painéis fazia com que só se fosse utilizado este tipo de fonte de energia alternativa em casos muito específicos, como a produção de eletricidade no espaço através de veículos espaciais (OLIVATI, 2016).

Figura 6 – Primeira célula solar apresentada na reunião anual da *National Academy of Sciences*, em Washington (DC).



Fonte: Compilado de Olivati (2016).

Mediante os fatos apresentados anteriormente, em que a produção de células solares apresentava limitações técnicas e alto custo de produção, a utilização de outras fontes de energia como o carvão mineral e derivados de petróleo eram empregados com muito mais intensidade.

Com a crise petrolífera em 1953 causada por motivações políticas, países situados no oriente médio, que eram os principais produtores e exploradores do petróleo na época, começaram a regular as exportações dos combustíveis fósseis para os países consumidores, principalmente os Estados Unidos e países situados na Europa. Os preços dos barris tiveram aumento de aproximadamente 400%, o que gerou um pânico na economia global (IPEA, 2010).

Diante deste cenário e da crescente preocupação mundial decorrente do aumento do consumo de petróleo, e por consequência, da queima exponencial dos combustíveis fósseis, o planeta passa por modificações significativas, marcadas pelo aquecimento global, alterações climáticas (mudanças no regime de chuvas) e subida do nível do mar. Por meio destes acontecimentos e visando a redução dos custos das células solares e aumento da eficiência energética das mesmas, novos programas de pesquisa e investimentos tecnológicos foram sendo criados, o que resultou no emprego de novos materiais, como por exemplo, o uso do silício multicristalino e do silício diretamente em fita ao invés de cristais únicos. O resultado

desses avanços foi uma redução considerável de custos da eletricidade em aproximadamente 85% e aumento de eficiência das células solares, passando da casa dos 20% (DUSOL, 2019).

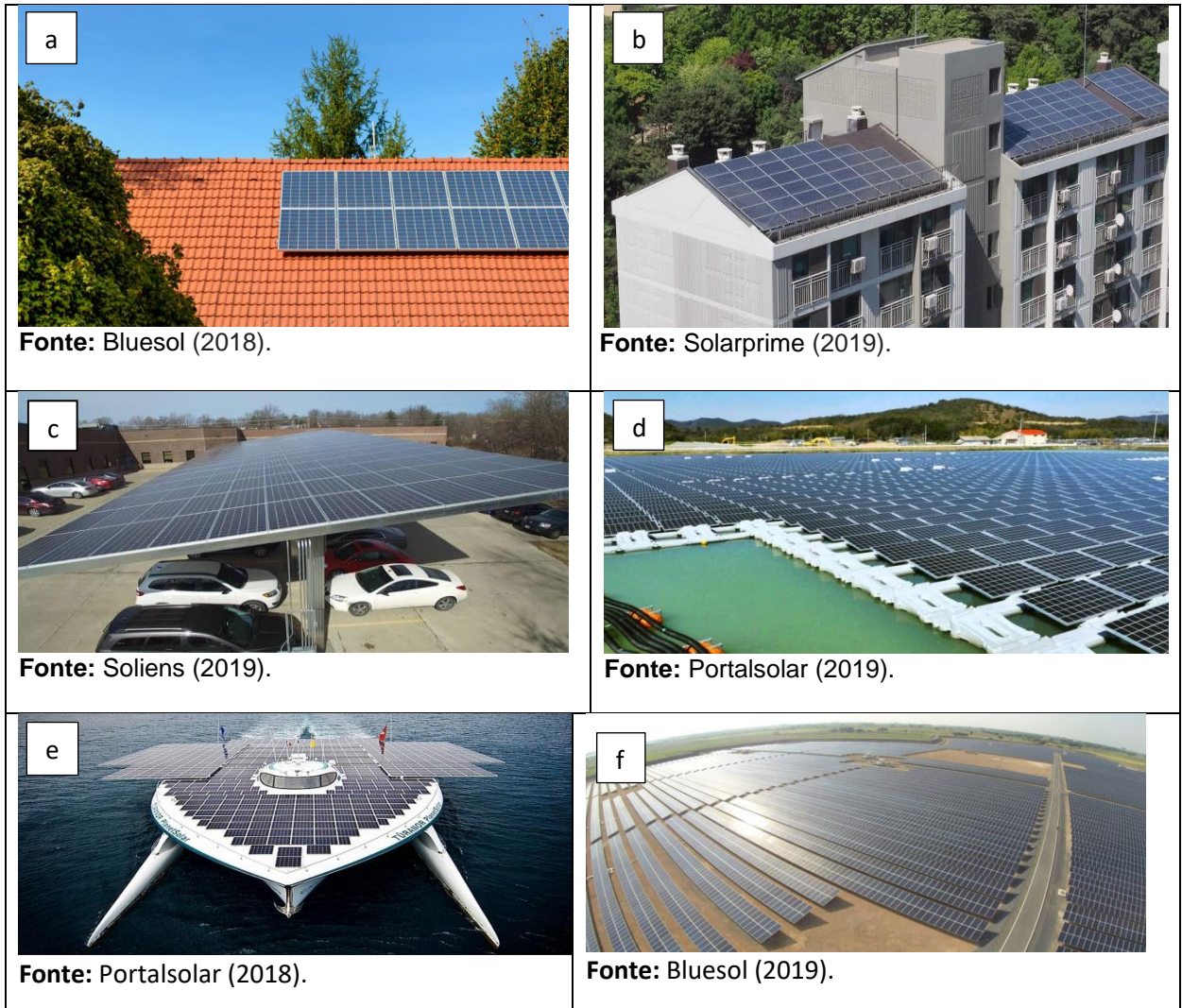
Nos anos subsequentes, novas tecnologias foram sendo aprimoradas a fim de aumentar cada vez mais a eficiência energética das células solares, além da procura por reduzir os custos de fabricação. As grandes organizações mundiais passaram a compreender e tratar o cenário fotovoltaico como um verdadeiro mercado lucrativo, e perceberam que produzindo em grande escala, o custo unitário das células diminuiria significativamente, deixando as células solares fotovoltaicas mais competitivas se comparado à outros tipos de geração de energia.

“Hoje é dado ênfase a mecanismos de apoio à criação e desenvolvimento de um verdadeiro mercado de electricidade solar sustentável que, nos próximos 25 anos, possa levar a energia fotovoltaica a muitos dos lares do planeta” (VALLÉRA; BRITO, 2006).

4.2 - Energia Solar Fotovoltaica no Brasil e no Mundo

A energia proveniente do sol pode ser utilizada através do efeito fotovoltaico, que é definido pela conversão direta da luz solar em energia elétrica. Essa corrente é coletada (através de placas fotovoltaicas) e processada por dispositivos controladores e conversores, podendo ser armazenados em baterias ou utilizados em sistemas conectados à rede de distribuição. As placas fotovoltaicas podem ser instaladas de diversas formas, sejam nos telhados de residências, edifícios, coberturas de garagens, veículos automotores, embarcações, aeronaves, em sistemas flutuantes ou ainda instalados sobre plataformas fixas em usinas geradoras de eletricidade (Figura 7).

Figura 7– Exemplos de Utilização dos Painéis solares: a) telhado de residência; b) edifícios; c) coberturas de garagens; d) sistemas flutuantes; e) embarcações; f) usinas geradoras de eletricidade.



De acordo com o Departamento de Informação e Estudos Energéticos (MME, 2017), a geração de energia proveniente de células solares no mundo está em expansão, atingindo, em 2016, uma potência total instalada de 301GW e uma geração total de 333,1TWh, resultando em um fator de capacidade médio de 14,4% (Figura 8).

Figura 8 – Ranking de Geração e Potência Instalada Solar no mundo - 2016**Geração e Potência Instalada Solar no Mundo - 2016**

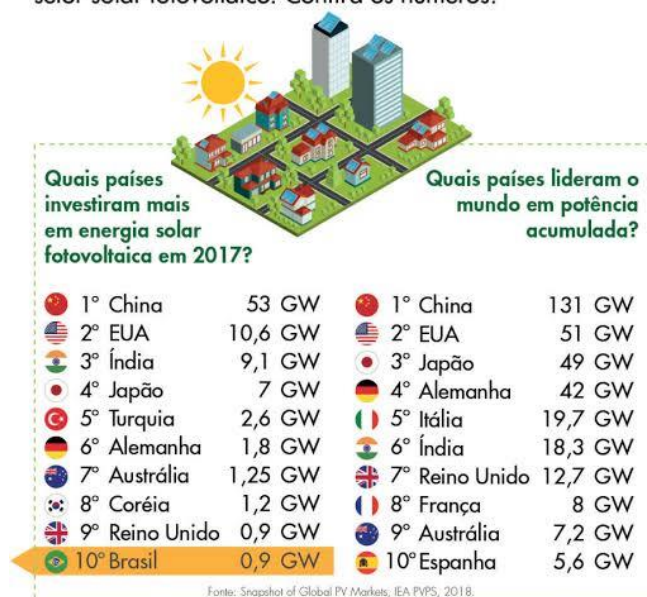
	País	Geração (TWh)	% da Geração Total	Potência Instalada (MW)	Fator de Capacidade (%)	Expansão no Ano (GW)
1	China	66,2	1,1	78.070	13,2	34,5
2	Estados Unidos	56,8	1,3	40.300	18,6	14,7
3	Japão	49,5	4,9	42.750	14,9	8,6
4	Alemanha	38,2	5,9	41.275	10,8	1,5
5	Itália	22,9	8,1	19.279	13,7	0,4
6	Espanha	13,6	5,0	5.490	28,3	0,1
7	Índia	11,9	0,8	9.010	18,8	4,0
8	Reino Unido	10,3	3,1	11.727	11,0	2,0
9	França	8,3	1,5	7.130	13,8	0,6
10	Austrália	7,2	2,8	5.488	15,8	0,8
11	Coreia do Sul	5,2	0,9	4.350	15,2	0,9
12	Grécia	4,0	8,2	2.611	17,5	0,0
13	África do Sul	3,3	1,3	1.544	27,6	0,5
14	Canadá	3,1	0,5	2.715	13,4	0,2
15	Bélgica	3,0	3,6	3.422	10,1	0,2
	Outros	29,7	0,4	26.313	14,6	6,3
	Mundo	333,1	1,4	301.473	14,4	75,1
	% do mundo	1,4		4,7		34,9

Fonte: Compilado de MME (2017).

Somente em 2017 o Brasil ingressou no ranking mundial como 10º país que mais investe em energia solar fotovoltaica, com 0,9GW de potência instalada neste ano (Figura 9).

Figura 9 – Mercado fotovoltaico no mundo.**O Mercado Fotovoltaico no Mundo**

Em 2017, o Brasil ingressou no ranking mundial do setor solar fotovoltaico. Confira os números!

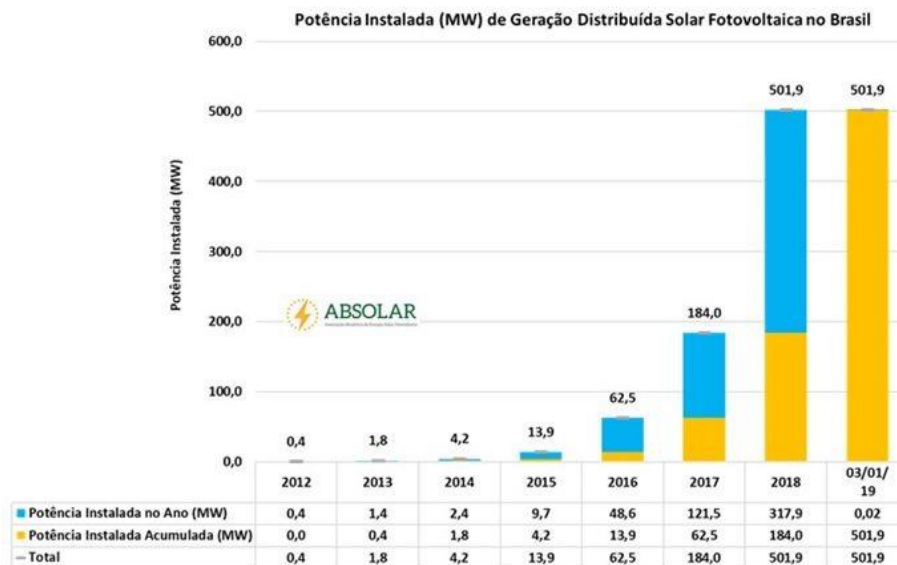


Fonte: Compilado de MME (2017)

Um incentivo importante para alavancar o crescimento da energia solar no Brasil foi o programa Luz Para Todos, desenvolvido pelo Governo Federal em 2003, onde beneficiou várias residências brasileiras, que passaram a ser atendidas por eletricidade por meio de Microsistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica ou Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SILVA, 2015).

Embora os sistemas autônomos de energia solar fotovoltaica sejam uma ótima alternativa para locais onde não possuem a rede elétrica de distribuição, seu melhor uso ocorre com sistemas conectados à rede, pois possui um grande potencial de exploração em sistemas de geração distribuída, como é o caso da microgeração e minigeração distribuída (Figura 10), além de parques que funcionam como grandes usinas de eletricidade.

Figura 10 – Potência instalada (MW) de Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil.



Fonte: Compilado de ABSOLAR (2018).

O gráfico apresentado acima detalha o crescimento da potência instalada de microgeração e minigeração (de 75KW até 5MW de potência instalada) de energia solar fotovoltaica distribuída no Brasil. Ao analisá-lo, pode-se destacar o aumento de 0.4MW de potência produzida em 2012 para 317,9MW em 2018 e um total instalado acumulado de 501,9MW.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2019), a fonte solar fotovoltaica, baseada na conversão direta de energia solar em energia elétrica de forma renovável, limpa e sustentável é líder no segmento de microgeração e minigeração distribuída, apresentando mais de 99,5% das instalações do país. Em 2018, o Brasil alcançou a marca de 1GW de potência instalada total, possuindo atualmente cerca de 82,6 mil sistemas solares fotovoltaicos conectados a rede elétrica de distribuição, trazendo mais sustentabilidade ambiental e economia, somando mais de R\$ 2,6 bilhões em investimentos acumulados desde 2012, distribuídos ao redor de todas as regiões do país.

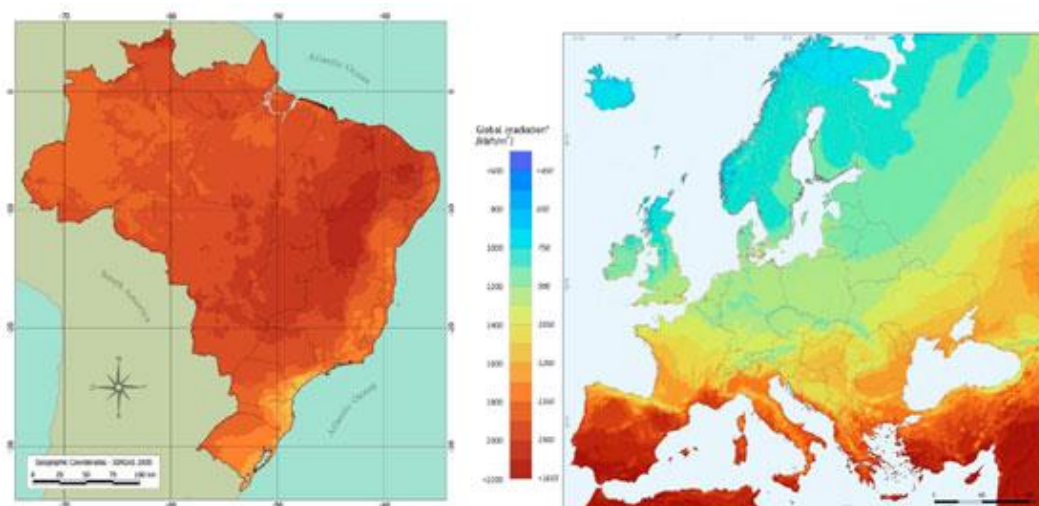
“A expressiva marca de 1GW da Geração Distribuída no Brasil é fruto do nosso grande potencial para exploração de fontes renováveis e também da confiança no marco regulatório. Temos a convicção que o crescimento será ainda mais robusto nos próximos anos, o que torna ainda mais importante o debate de revisão da Resolução nº 482, para que esse crescimento ocorra de forma sustentável, com equilíbrio entre os consumidores” (ANEEL, 2019).

Um importante passo para a inserção da energia fotovoltaica no país foi o projeto estratégico “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” proposta pela Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) em conjunto com concessionárias de energia elétrica de todo o país, com o objetivo de promover e criar usinas experimentais de energia fotovoltaica interligada ao sistema elétrico nacional, fazendo com que entidades públicas, privadas e até mesmo internacionais atraíssem olhares para a implantação de grandes usinas solares (VILLALVA, 2016).

4.3- Potencial de Utilização

O Brasil possui um enorme potencial para geração de energia a partir da luz do sol, principalmente nas regiões do Nordeste e do Centro-Oeste, onde apresentam maior potencial de aproveitamento da energia solar. A título de comparação, no local menos ensolarado no Brasil pode-se gerar mais eletricidade solar do que na Alemanha, que é um dos países líderes quando se trata de produção de energia fotovoltaica. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (figura 7), há uma incidência diária de aproximadamente 4500 Wh/m² a 6000 Wh/m² enquanto que na Alemanha estes índices ficam em menos de 3500 Wh/m². Como o país já possui grande parte de sua fonte energética por meio de energias consideradas limpas vêm-se utilizando a energia solar fotovoltaica como fonte complementar de energia, dando auxílio a outros tipos de fontes de maior abundância, como é o caso da energia hidráulica, ajudando a compor assim a matriz energética brasileira (AMERICADOSOL, 2019).

Figura 6– Atlas Brasileiro de Energia Solar.



Fonte: Compilado do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2017).

Com o imenso potencial fotovoltaico que o Brasil possui, já destacado anteriormente, o país pode se tornar um dos principais líderes mundiais no emprego de energias renováveis alternativas. Apesar de o Brasil já possuir uma boa matriz de geração de energia considerada limpa e renovável, esta situação pode não permanecer ao longo dos anos sem o uso de novas fontes.

Além disso, ainda existe muito espaço para o crescimento da energia solar fotovoltaica no país, pois ela é uma ótima opção, sendo viável e promissora, seja para complementar ou ampliar a geração de eletricidade. Além dos fatos supracitados, os sistemas fotovoltaicos podem ser implementados em qualquer local onde se tem espaço para instalar um painel, sem falar nas condições climáticas e o

espaço territorial do Brasil, que são extremamente favoráveis para a energia solar fotovoltaica (VILLALVA, 2016).

Para os investidores que desejam adquirir este tipo de energia limpa, além da grande eficiência e economia no quesito conta de energia elétrica, os painéis fotovoltaicos possuem uma vida útil elevada, e em sua maioria fornecem garantia de até 25 anos a depender da fabricante, e o retorno do investimento acontece em uma média de 5 à 7 anos, sendo bastante vantajoso apesar do alto investimento inicial (WASOLAR, 2018).

“Para o consumidor também há a opção de conectar o painel à rede elétrica e passar a fazer a troca da energia gerada pela consumida da mesma, desta forma, como toda a energia, direta ou indiretamente, vem do sistema solar fotovoltaico, é possível economizar até 95% do valor gasto atualmente. Além disso, é possível proteger-se contra oscilações de custo da geração elétrica no país, que mantém os consumidores expostos a aumentos repentinos nas suas respectivas contas” (TERRA, 2019).

4.4 - Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Impactos Socioambientais

Um grande problema enfrentado pela energia solar fotovoltaica é a baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, sendo necessário o uso de vários painéis, e conseqüentemente grandes áreas, para a captação de energia em quantidade suficiente para que o empreendimento seja economicamente viável (ANEEL, 2019).

De acordo com Barbosa Filho et al. (2015), os principais impactos ambientais derivados da inserção e utilização de usinas solares fotovoltaicas, principalmente nas fases de implantação e operação, possuem grandes influências no meio físico, social, econômico e ao meio ambiente. Estas influências são menores se comparadas a outros tipos de geração de energia, porém não devem ser negligenciadas ao se considerar um empreendimento envolvendo painéis solares fotovoltaicos.

Todas as fontes geradoras de energia elétrica causam conseqüências positivas e negativas ao meio ambiente, e não é diferente com as usinas solares. Estes impactos podem se estender a vários âmbitos e características do meio ambiental: seja ele físico, químico, biológico, social ou econômico, causados pela interferência humana e que podem afetar direta ou indiretamente o ecossistema de uma região.

4.5 – Condições que Favorecem a Utilização de Painéis Solares Fotovoltaicos

Existem diversos fatores que podem ser determinantes para que uma região seja mais ou menos afetada pelos impactos ambientais em decorrência de empreendimentos que transformam energia proveniente da radiação solar em energia elétrica, que estão estreitamente ligados às características físico-climáticas da região, como o índice de radiação solar, índice de precipitação, relevo e vegetação. Uma região que apresenta um índice considerável de chuvas possui aspectos positivos quando o assunto é a limpeza dos painéis solares. Por outro lado, ela prejudica a produção de energia devido à diminuição dos níveis de irradiância nos módulos solares. No território brasileiro, em especial na região do semiárido Nordeste, os índices de precipitação são relativamente baixos e a temperatura da região é alta, como podemos ver na tabela abaixo (Tabela 1). Estas condições climáticas são favoráveis quando o assunto é eficiência energética dos painéis, colocando a região do semiárido nordestino em posição de destaque quando o assunto é a implantação de usinas solares.

Tabela 1 – Tabela representando a média de temperatura e precipitação no semiárido Norte riograndense.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	22.4	21.5	19	16.2	13.9	13.5	14.3	15.4	17.4	19.4	21.3	19.1
Temperatura mínima (°C)	17.1	16.3	13.9	11.2	9	8.6	9.2	10.1	11.9	13.8	15.6	13.8
Temperatura máxima (°C)	27.8	26.7	24.2	21.2	18.9	18.5	19.4	20.8	23	25	27	24.5
Chuva (mm)	155	132	117	131	145	141	142	141	205	178	151	153

Fonte: CLIMATE-DATA.ORG (2019).

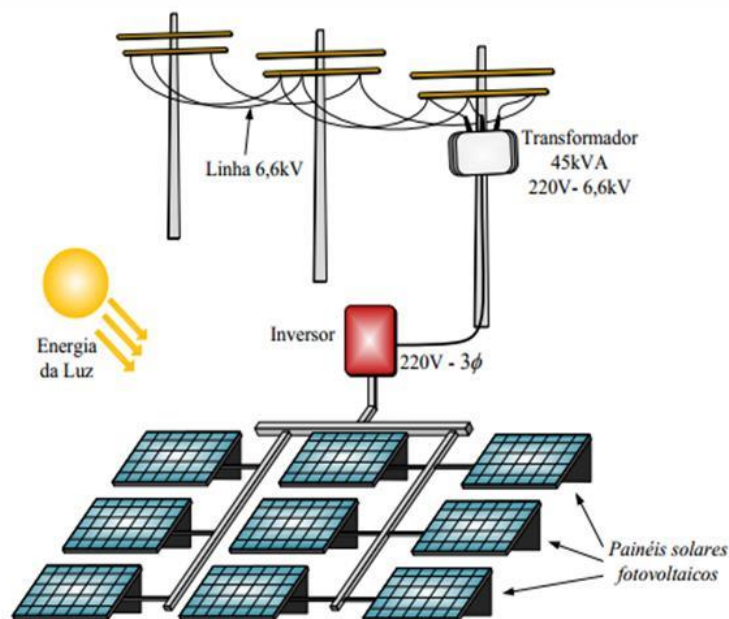
Além do fator climatológico, o relevo também é um importante fator para se analisar antes de se executar um empreendimento de grande porte que é a implantação de usinas solares, pois ele tem a capacidade de modificar o regime de radiação de acordo com a face e o grau de inclinação do terreno, fazendo com que aumente ou diminua o grau de radiação solar sob o terreno através do ângulo de incidência dos raios solares (REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, 2011). A radiação solar é um fator muito importante quando se fala em eficiência energética, pois quanto maior a incidência de raios solares nos módulos, maior a conversão em energia elétrica.

4.6 – Sistemas de Geração Fotovoltaica

A usina solar é um sistema fotovoltaico de grande porte, geralmente fixa no solo, projetada para produção e venda de energia elétrica, composto por vários módulos fotovoltaicos, geralmente contendo o material Silício Cristalino, com finalidade de converter a energia proveniente do sol em energia elétrica, fornecendo-a para a rede de distribuição (PORTAL SOLAR, 2019).

A energia elétrica é produzida em corrente contínua pelos painéis solares, o que causa muito desperdício na hora da distribuição, sendo necessária a adição de inversores para realizar a conversão para corrente alternada, que é mais vantajosa devido a sua capacidade de transmissão ser muito maior, suportando uma voltagem mais elevada e evitando desperdícios se comparada à corrente contínua. O tipo de inversor mais indicado são os inversores centrais, normalmente empregados para potências acima de 100kWp, próprios para sistemas de grande porte como usinas. Sua alimentação é feita por um grande número de módulos fotovoltaicos, concentrando várias fileiras de painéis conectados em série em um único inversor – denominado de string (RESENDE, 2017).

Figura 12 – Sistema de Geração Fotovoltaica.



Fonte: compilado de Mundo da Elétrica (2019).

4.7- Sistemas Conectados à Rede (On-Grid)

Os sistemas On-Grid, ou popularmente chamados de sistemas conectados a rede elétrica de distribuição, geram energia elétrica e injetam o excedente à rede elétrica e o medidor registra essa energia, ocorrendo o contrário quando a edificação consome mais energia do que a gerada pelo sistema fotovoltaico. No final do mês, caso o balanço energético seja positivo (mais geração de energia elétrica do que a consumida), a distribuidora disponibilizará um crédito energético referente ao excedente, sendo compensado nas faturas subsequentes, tendo prazo de até 36 meses (PINHO; GALDINO 2014).

Para dimensionar de forma otimizada o gerador fotovoltaico, deve-se levantar dados como o consumo médio diário anual da edificação (Wh/dia). Este dado normalmente é calculado a partir do histórico de faturas mensais de consumo de energia elétrica emitidas pela distribuidora local (PINHO; GALDINO 2014).

O desempenho de um sistema fotovoltaico é tipicamente medido pela taxa de desempenho, que pode ser definida como a relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível. Esta relação serve para avaliar o desempenho da geração de energia elétrica do sistema nas condições de operação, considerando as perdas envolvidas, seja por queda de tensão dos conectores e cabos, impurezas na superfície dos painéis, sombreamento, eficiência e carregamento do inversor, dentre outros fatores (PINHO; GALDINO 2014).

Apesar destes fatores, o dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) é condicionado pelos recursos financeiros e pela área disponível para a sua instalação.

4.8- Análise Econômica do Sistema Fotovoltaico

Um estudo de viabilidade econômico financeira tem como objetivo avaliar o orçamento total do sistema, bem como o custo dos equipamentos, custos de instalação, contrato com a empresa responsável, sua vida útil e o tempo de retorno do investimento. Para atestar de fato a viabilidade do empreendimento, faz-se necessário a utilização de métodos de orçamento de capital.

O payback simples é uma dentre as técnicas de orçamento disponíveis, que examina o tempo para recuperar o retorno de um investimento, podendo ser calculado a partir do valor investido e da geração de energia do sistema, em kWh. No Brasil, o payback varia bastante de acordo com a radiação solar e as tarifas cobradas de cada região. Quanto menor a radiação solar e maiores as tarifas, menor será o payback do sistema.

Para se ter uma média, o tempo de retorno de investimento varia entre 5 a 8 anos, e o tempo de vida útil do sistema é de 25 anos, fazendo com que, após o retorno do investimento, tenha-se energia produzida de forma gratuita.

É importante salientar que durante a vida útil de um painel solar, o mesmo pode ir perdendo eficiência em geração de energia ao longo de sua vida útil. Este valor pode chegar a cerca de 20% (OLIVEIRA; SCHILLING, 2018).

Faz-se necessário para o estudo de viabilidade econômica reunir informações como o valor total do investimento, incluindo valor pago a vista e valor financiado pelo banco caso haja, incluindo as taxas de juros ao mês, o consumo e a geração de energia meses antes e meses após a instalação do sistema, características e durabilidade dos módulos, bem como o índice de radiação solar do local.

5- ESTUDO DE CASO

5.1- Características de Geração da Unidade Consumidora

De acordo com os dados retirados do memorial descritivo do sistema solar, a unidade consumidora utiliza padrão de entrada trifásico com tensão de fornecimento de 380V, a carga instalada é de 12kW, o disjuntor geral é de 32A e o fator de potência é de 0,92.

De acordo com o parecer técnico enviado pela COSERN em 11/12/2018, a potência disponibilizada é de 24,2 kW.

5.2- Equipamentos Utilizados

5.2.1- Módulos Fotovoltaicos

No empreendimento foram utilizados 64 módulos com potência de 335 Wp cada, totalizando 21,440 kWp. Os módulos fotovoltaicos utilizados são da fabricante Canadian Solar, modelo Monocristalino 335 Wp - CS3U 370MS. O módulo monocristalino é caracterizado por ser obtido através de um único cristal de Silício. Cristais de tamanho maior tornam as células solares mais eficientes, razão pela qual podem obter de 10% a 15% a mais de eficiência se comparados aos módulos policristalinos.

5.2.2- Inversores

O sistema fotovoltaico é composto de 1 inversor com potência nominal de 20 kW. O inversor utilizado é do fabricante ABB, modelo ABB TRIO-20-TL-OUTD-S2X-400 TRIFASICO (figura 8).

Figura 13 – Inversor utilizado no sistema fotovoltaico.



Fonte: WinnerShop (2020).

5.3- Valor do Sistema Fotovoltaico – Tabela de Preços

A partir dos valores disponibilizados pelo proprietário do sistema fotovoltaico, foi elaborada uma tabela para melhor visualização das informações referentes às características e preços dos equipamentos utilizados no sistema fotovoltaico, bem como valores de projetos e de mão de obra (Tabela 2).

Tabela 2 – Custos do sistema fotovoltaico.

Item	Produto	Quantidade	Valor Unit.	Valor Total
1	Canadian Solar 335 Wp Monocristalino - Modelo CS3U 370MS	64	R\$ 594,82	R\$ 38.068,48
2	Inversor ABB TRIO-20-TL-OUTD-S2X-400 TRIFASICO	1	R\$ 22.260,70	R\$ 22.260,70
3	Montagem por módulo	64	R\$ 150,00	R\$ 9.600,00
4	Projetos	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
VALOR TOTAL GASTO NO EMPREENDIMENTO				R\$ 72.929,18

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Com bases nos dados da tabela acima, o valor gasto total para a execução do empreendimento foi de R\$ 72.929,18, sendo R\$ 60.328,75 o valor dos equipamentos (módulos solares e inversor) e R\$ 12.600,00 de mão de obra e projetos.

O valor total do sistema fotovoltaico foi pago à vista, principalmente pelo poder de negociação que o proprietário do sistema teve, fazendo com que obtivesse desconto no valor dos equipamentos. Outro ponto decisivo para esta escolha foram as taxas oferecidas pelos bancos para financiamento, que não foram atrativas.

5.4- Unidades Consumidoras

Na tabela abaixo é possível identificar a lista das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação e indicação do percentual de rateio dos créditos em kWh (Tabela 3).

Tabela 3 – Unidades Consumidoras e porcentagem de distribuição de excedentes.

Conta Contrato	Endereço	Unidade Consumidora	Porcentagem em
7013825496	Rua Vicente Tavares, n5, Bairro: Ferreiro Torto, Cidade: Macaíba	Principal (Geradora)	0%
0855497824	Rua Pinto Martins, n922, apto 200, Bairro: Areia Preta, Cidade: Natal	Compensação	15,73%
7013661736	Rua Pinto Martins, n922, apto 100, Bairro: Areia Preta, Cidade: Natal	Compensação	11,8%
7013644378	Rua Rodrigues Alves, n726, apto 802, Bairro: Tirol, Cidade: Natal	Compensação	26,966%
7008672614	AV: Dep Marcio Marinho, 14 Cond Porto Brasil Cidade: Pirangi do Norte – Distrito Litoral – Parnamirim	Compensação	23,595%
7006877154	Rua Joaquim Manoel, n717 sala 922, Bairro: Petropolis, Cidade: Natal	Compensação	13,483%
7013644998	Alameda das Margaridas, n1255 apto 1200 Bairro: Tirol, Cidade: Natal	Compensação	8,426%

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário do sistema fotovoltaico (2020).

Inicialmente é descontada toda a energia necessária para alimentar o local onde o sistema fotovoltaico (Unidade Consumidora Principal) está implementado. Após estes descontos, a energia excedente é distribuída para as demais Unidades Consumidoras, onde cada uma delas recebe um percentual distinto de acordo com as suas necessidades.

Neste estudo de caso será feito o estudo de viabilidade econômica apenas da residência unifamiliar que representa o contrato 7013661736 na COSERN, tendo 11,8% da energia excedente produzida pela Unidade Geradora.

5.5- Geração e Compensação de Energia da Unidade Geradora

Tabela 4 – Geração e compensação de energia da unidade geradora ao longo dos meses de atividade.

PERÍODO	GERADO NO MÊS (kWh)	TOTAL GERADO (kWh)	TOTAL UTILIZADO (kWh)	SALDO PARA O PRÓXIMO CICLO (kWh)
mar/19	0	0	0	0
abr/19	0	0	0	0
mai/19	1333	1333	194	1139
jun/19	2565	3898	95	4942
jul/19	2450	6348	3971,70915	2376,29085
ago/19	2388	8976	6862,90265	2113,09735
set/19	2347	11665	9598,01999	2066,98001
out/19	3134	14799	12585,67674	2213,32326
nov/19	3093	17892	15659,20219	2232,79781
dez/19	2648	20540	18392,7505	2147,2495
jan/20	2488	23028	21386,94682	1641,05318
fev/20	2518	25546	24071,16832	1474,83168
mar/20	-	-	-	-

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário do sistema fotovoltaico (2020).

Com os dados fornecidos pelo proprietário do sistema fotovoltaico, pode-se observar a geração de energia mensal em kWh, o total gerado acumulado ao longo dos meses, o total de energia utilizado acumulado ao longo dos meses e o saldo de crédito de energia disponível para o próximo ciclo, ou seja, a energia que não foi utilizada fica disponível para ser consumida no mês subsequente.

É importante salientar que o sistema fotovoltaico iniciou suas atividades no mês de maio de 2019, porém só começou a distribuir energia para as unidades consumidoras em julho de 2019.

Até o mês de fevereiro de 2020 foram gerados um total de 25546 kWh de energia e utilizados 24071,16832 kWh, restando 1474,83168 kWh de saldo para ser utilizado no próximo ciclo. Essa geração de energia é inicialmente utilizada para cobrir o consumo de energia do local onde está instalado a Unidade Geradora, e o excedente é distribuído para as Unidades Consumidoras participantes do sistema de compensação e os créditos são rateados de acordo com os percentuais de distribuição.

5.6- Consumo e Compensação de Energia da Unidade Consumidora utilizada no Estudo de caso

A tabela abaixo representa a energia consumida pela residência (Unidade Consumidora) utilizada para realizar o estudo de caso, que possui contrato com a COSERN de número 7013661736, representando 11,8% de rateio dos excedentes de energia produzidos pela Unidade Geradora.

Pode-se observar que a energia faturada é de apenas 100 kWh nos meses em que o sistema fotovoltaico distribuiu energia para a residência, o que representa o mínimo de kWh que uma residência deve pagar para a COSERN. O restante da energia consumida foi compensado através da compensação de energia fornecida pela Unidade Geradora (Tabela 5).

Tabela 5 – Consumo e compensação de energia da Unidade Consumidora utilizada no estudo de caso.

MÊS	ENERGIA CONSUMIDA	ENERGIA INJETADA	ENERGIA FATURADA	kWh COMPENSADO	CRÉDITO
jul/19	437	0	100	337	0
ago/19	441	0	100	341	0
set/19	446	0	100	346	0
out/19	423	0	100	362,85	0
nov/19	466	0	100	366	0
dez/19	519	0	100	419	0
jan/20	368	0	100	288,864	0
fev/20	397	0	100	297	0
mar/20	-	-	-	-	-

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário da residência (2020).

5.7- Variação de Consumo em kWh e de tarifas ao longo do ano

Com os dados de histórico de consumo de energia faturada retirados da COSERN, tem-se a energia faturada em kWh ao longo de um ano, no período de março/2019 à março/2020. O consumo de energia ao longo dos meses em que o sistema fotovoltaico não estava distribuindo energia para a residência teve uma média 437,125 kWh, tendo como base a energia consumida em um período de 12 meses. Após a inserção da residência no sistema de compensação de energia, o valor faturado de energia caiu para o mínimo estabelecido pela COSERN, que é de 100 kWh, o que consequentemente diminuiu consideravelmente o valor da conta de energia na residência (Tabela 6).

Tabela 6 – Histórico de consumo em kWh da Unidade Consumidora

PERÍODO	FATURADO (kWh)
mar/19	497
abr/19	491
mai/19	464
jun/19	431
jul/19	100
ago/19	100
set/19	100
out/19	100
nov/19	100
dez/19	100
jan/20	100
fev/20	100
mar/20	100

Fonte: COSERN (2020).

Vale ressaltar que esta redução de kWh faturado para o mínimo estabelecido pela Companhia Energética indica que o sistema fotovoltaico está sendo efetivo no quesito redução de custos em energia elétrica para esta residência (Tabela 7) e para as outras residências participantes do sistema de compensação de energia, ainda restando créditos para o mês subsequente.

Tabela 7 – Valor pago nas contas de energia

MÊS	VALOR PAGO
mar/19	R\$ 395,34
abr/19	R\$ 398,83
mai/19	R\$ 387,13
jun/19	R\$ 350,92
jul/19	R\$ 73,26
ago/19	R\$ 75,61
set/19	R\$ 79,34
out/19	R\$ 80,83
nov/19	R\$ 78,91
dez/19	R\$ 76,91
jan/20	R\$ 74,98
fev/20	R\$ 74,14
mar/20	R\$ 73,85

Fonte: COSERN (2020).

A tabela acima representa o valor pago nas contas de energia entre os meses de Março/2019 à Março/2020. É importante observar a variação de custos desde que o contrato com a COSERN de número 7013661736 entrou em vigor. Como a Unidade Geradora passou a distribuir os excedentes de energia para as Unidades Consumidoras apenas no mês de Julho/2019, os meses anteriores foram pagos as tarifas com valor integral referentes aos kWh consumidos.

O valor médio pago por mês em contas de energia enquanto a Unidade Consumidora não estava recebendo os excedentes de energia do sistema foi de R\$ 383,01, enquanto o valor médio pago nos demais meses foi de R\$ 76,43. Com os valores médios de energia com e sem a distribuição dos excedentes de créditos, obtém-se o valor médio de economia, que é de R\$ 306,58 por mês.

5.8- Quantidade de Painéis Solares Necessários Para Alimentar a Residência

Para determinar a quantidade de painéis solares necessários para suprir as necessidades da residência, leva-se em consideração a média de geração de energia produzida pelos 64 módulos presentes na Unidade Geradora. Através da tabela de geração e compensação de energia, percebe-se que a energia média produzida por mês é de 2554,6 kWh. Como 64 painéis solares produzem em média 2554,6 kWh por mês, logo um painel produz cerca de 39,915625 kWh por mês.

Como o consumo médio de energia mensal da residência é de 437,125 kWh e o valor mínimo faturado pela COSERN é 100 kWh, o máximo que pode ser compensado pela Unidade Geradora através do sistema de compensação de energia é 337,125 kWh.

Outro ponto que precisa ser levado em consideração para determinar a quantidade de painéis solares para alimentar a residência é a quantidade de energia consumida pela Unidade Consumidora Principal (geradora), que neste caso possui contrato com a COSERN de número 7013825496 (Tabela 8), pois só após compensados os créditos de energia que são rateados os excedentes de crédito em energia elétrica.

Tabela 8 – Energia consumida pela Unidade Consumidora Principal (geradora)

MÊS	ENERGIA CONSUMIDA (kWh)
mai/19	194
jun/19	95
jul/19	85
ago/19	79
set/19	77
out/19	59
nov/19	38
dez/19	43
jan/20	40
fev/20	33

Fonte: Dados fornecidos pelo proprietário da Unidade Consumidora Principal (2020).

Através da tabela acima pode ser observado que a média de consumo mensal da Unidade Consumidora Principal (geradora) foi de 74,3 kWh.

Com a somatória da geração média de consumo da Unidade Consumidora Principal e do consumo máximo que pode ser compensado na residência, tem-se o valor de geração mensal necessário para o sistema suprir a própria demanda de consumo da unidade geradora, e forneça os excedentes de crédito em energia elétrica para a residência, que é de 411,425 kWh.

Analisados os dados apresentados, pode-se dizer que, fazendo a divisão entre a energia produzida necessária para satisfazer as necessidades de consumo

da residência e a geração de energia de um painel solar, considerando os mesmos equipamentos, temos a quantidade de painéis solares necessários.

Como um painel solar gera cerca de 39,915625 kWh por mês e é necessário produzir 411,425 kWh por mês, se tem que para suprir as necessidades da residência utilizada no estudo que caso são necessários em média 11 módulos fotovoltaicos, restando ainda aproximadamente 27,65 kWh aproximadamente de saldo de crédito para o próximo ciclo.

5.9- Novo inversor utilizado para suprir as necessidades da residência

Como o inversor utilizado no projeto do sistema fotovoltaico original teve potência nominal de 20 kW e no estudo de compatibilidade do arranjo fotovoltaico com o inversor realizado pela empresa ElektSolar Innovations (Tabela 9), o inversor utilizado conseguiria suportar a utilização de até 74 módulos fotovoltaicos, para suprir apenas as necessidades da residência utilizada no estudo que necessita de 11 módulos solares com 335 Wp para suprir sua demanda de consumo, totalizando assim 3.685 kWp, o inversor ficaria superdimensionado, deixando o orçamento mais caro, aumentando assim o tempo de payback.

Tabela 9 – Compatibilidade do sistema fotovoltaico com o inversor

4- COMPATIBILIDADE DO ARRANJO FV COM O INVERSOR	
Fator de Dimensionamento do Inversor - FDI	125%
MAX. de módulos por inversor (FDI)	74

Fonte: ElektSolar Innovations (2017).

Por isso, para que o sistema fotovoltaico utilizado no estudo de caso não fique superdimensionado e não ocorra uma diferença tão grande de payback se comparado com o sistema fotovoltaico original, faz-se necessário a substituição do inversor para que seja compatível com os 3.685 kWp de potência fornecidos pelos 11 módulos solares.

Para realizar essa substituição, foi escolhido o inversor da marca Fronius, modelo denominado Fronius Primo 4.0, que possui 4,0 kW de potência nominal (Figura 14), e é ideal para operar arranjos de módulos fotovoltaicos com potência instalada entre 960 Wp até 5,2 kWp. O menor preço encontrado para este tipo de inversor foi de R\$ 9.578,07.

Figura 14 – Inversor utilizado para melhor dimensionamento do sistema.



Fonte: MinhaCasaSolar (2020).

6- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com apenas 11 módulos fotovoltaicos e um inversor mais economicamente viável e melhor dimensionado, o investimento total necessário para que o sistema fotovoltaico venha a suprir a demanda de consumo da residência seria de aproximadamente R\$ 20.771,09 (Tabela 10).

Levando em consideração que os painéis funcionarão perfeitamente e que os equipamentos ainda assim precisarão de manutenção, faz-se uma estimativa de acréscimo de 1% do valor total investido, totalizando R\$ 22.848,20.

Tabela 10 – Custo necessário para alimentar residência.

Item	Produto	Quantidade	Valor Unit.	Valor Total
1	Canadian Solar 335 Wp Monocristalino - Modelo CS3U 370MS	11	R\$ 594,82	R\$ 6.543,02
2	Inversor Fronius Primo 4.0	1	R\$ 9.578,07	R\$ 9.578,07
3	Montagem por módulo	11	R\$ 150,00	R\$ 1.650,00
4	Projetos	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
INVESTIMENTO TOTAL				R\$ 20.771,09

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os resultados do estudo de caso dizem respeito ao valor do investimento que será necessário para viabilizar o sistema fotovoltaico somente na residência escolhida, bem como a expectativa de retorno do investimento e quanto de economia a inserção do sistema fotovoltaico irá representar levando em consideração os mesmos módulos fotovoltaicos e custos com mão de obra necessária à instalação dos módulos do projeto original.

O valor total investido no sistema fotovoltaico para manter a Unidade Geradora e a Unidade Consumidora utilizada no estudo representou aproximadamente R\$ 22.848,20. Levando em consideração uma economia de R\$ 306,58 por mês em custos com energia, pode-se dizer que o retorno do investimento ocorreria em aproximadamente seis anos e dois meses. Como a vida útil dos painéis

gira em torno de 20 anos, ainda restariam em média 14 anos de energia gerada de forma gratuita.

Pode-se dizer que o projeto inicial do sistema fotovoltaico que possui seis Unidades Consumidoras participantes do sistema de compensação do percentual de rateio dos créditos é mais vantajoso do que apenas alimentando a Unidade Consumidora utilizada no estudo, pois no projeto de viabilidade econômica fornecida pelo proprietário do sistema fotovoltaico, o retorno do investimento (payback) estava previsto para três anos e cinco meses (Tabela 11).

Tabela 11 – Tabela retirada do estudo de viabilidade econômica original do sistema fotovoltaico realizado pela empresa ElektSolar Innovations.

Payback	3 anos e 5 meses	
Custo Nivelado	0,157	R\$/kWh
Quanto mais barata é a Tarifa Solar em relação à Tarifa da Rede	79%	
Valor absoluto da diferença entre a Tarifa Solar e a Tarifa da Rede	0,57	R\$/kWh

Fonte: ElektSolar Innovations (2017).

Essa diferença de payback ocorreu principalmente porque o sistema fotovoltaico em seu projeto original possui 6 residências inseridas no sistema de compensação, ou seja, o valor gasto com o inversor se divide entre as residências participantes. Como o estudo de caso teve como objetivo quantificar quanto do capital investido seria necessário para alimentar apenas uma dentre as seis residências, o valor do inversor, mesmo que redimensionado, causou diferença no retorno do investimento.

7- REFERÊNCIAS

ABCDENERGIA. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 16 set. 2019. Acesso em: 05 mar. 2020.

ANEEL. **Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída**: Regulamentos da Agência possibilitaram avanço da geração distribuída. 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877>. Acesso em: 01 dez. 2019.

ANEEL. **ENERGIA SOLAR**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: 22 set. 2019.

ANEEL. **PROJETO ESTRATÉGICO: “ARRANJOS TÉCNICOS E COMERCIAIS PARA INSERÇÃO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA”**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2011-ChamadaPE13-2011.pdf>. Acesso em: 19 set. 2019.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira et al. **Expansão da energia solar fotovoltaica no brasil: impactos ambientais e políticas públicas**. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Antonella_Costa/publication/318218793_EXPA_NSAO_DA_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_NO_BRASIL_IMPACTOS_AMBIENTAIS_E_POLITICAS_PUBLICAS/links/59ccd3f4aca272dcd17d20db/EXPANSAO-DA-ENERGIA-SOLAR-FOTOVOLTAICA-NO-BRASIL-IMPACTOS-AMBIENTAIS-E-POLITICAS-PUBLICAS.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.

BLUESOL. **Entendendo as Vantagens e Desvantagens da Energia Solar: O Guia Definitivo Para Você Não Errar Na Escolha do Seu Gerador Elétrico**. 2018. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/>>. Acesso em: 20 set. 2019.

BRASIL ESCOLA. **Combustíveis Fósseis**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/combustiveis-fosseis.htm>>. Acesso em: 19 set. 2019.

BRASIL, Rádio. **Entenda atual crise energética que o Brasil enfrenta**: Falta de água combinada à baixa produção de energia geraram o corte de. 2015. Disponível

em: <<http://radios.ebc.com.br/revista-brasil/edicao/2015-01/sistema-eletrico-brasileiro-opera-no-limite>>. Acesso em: 22 set. 2019.

CLIMATE-DATA.ORG. **TEMPERATURAS E PRECIPITAÇÕES MÉDIAS // CLIMA EM SERTÃO**. 2019. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-sul/sertao-313247/>>. Acesso em: 28 out. 2019. <[com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf](https://www.climate-data.org/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf)>.

COELHO, Silas de Oliveira. **Avaliação das Emissões Atmosféricas das Principais Termelétricas Brasileiras a Gás Natural – Ano Base 2013**. 2014. 115 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014. Cap. 1. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-SILAS-FINAL.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2020.

DUSOL. **Evolução dos custos e eficiência dos painéis solares nos últimos anos**. 2019. Disponível em: <<https://www.dusolengenharia.com.br/post/evolucao-dos-custos-e-eficiencia-dos-paineis-solares-nos-ultimos-anos/>>. Acesso em: 09 nov. 2019.

EOCA. **Vantagens e desvantagens da energia solar**: Apresentamos as principais vantagens e desvantagens no uso e utilização da energia solar térmica e fotovoltaica.. 2017. Disponível em: <https://eoca.org.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/?gclid=CjwKCAiA_MPuBRB5EiwAHTTVMVcaZKhCRf6MQoyg5AI0-A3l_GVwRtK5Y3H1wVcXzKpV4udxqVANBxoCVjgQAvD_BwE>. Acesso em: 17 nov. 2019.

FOGAÇA, Jennifer. **Energia Limpa**. 2019. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/energia-limpa.htm>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

FOTOVOLTAICOS. Portal Energia. 2014. Disponível em: <<https://www.portalenergia.com.br/francisco-de-assis/elevacao-da-temperatura-nos-ultimos-anos-deve-impactar-clima-de-2019-com-a-ocorrencia-de-chuvas-irregulares>>. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/elevacao-da-temperatura-nos-ultimos-anos-deve-impactar-clima-de-2019-como-a-ocorrencia-de-chuvas-irregulares>>. Acesso em: 22 mar. 2019.

IPEA. **História - Petróleo**: Petróleo: da crise aos carros flex. 2010. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2321:catid=28&Itemid=23>. Acesso em: 09 nov. 2019.

MANSUR, Alexandre; GERMANO, Felipe. **As principais emissões de poluentes agora vêm das usinas termelétricas**: a fumaça das chaminés deverá ultrapassar o desmatamento da Amazônia como nossa maior fonte poluidora. A fumaça das chaminés deverá ultrapassar o desmatamento da Amazônia como nossa maior fonte poluidora. 2014. Elaborado por Revista Época e atualizado em 03 de abril de 2014. Disponível em: <https://epoca.globo.com/tempo/noticia/2014/04/principais-bemissoes-de-poluentesb-agora-vem-das-usinas-termeletricas.html>. Acesso em: 01 maio 2020.

MARI JÚNIOR, Alvaro et al. **VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA HIDRÁULICA**. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/8941/6554>>. Acesso em: 9 out. 2013.

MELO, C. **Atuais Perspectivas para energia solar no Brasil**. 2013. Disponível em: <http://www.pinheironeto.com.br/Pages/PageNotFoundError.aspx?requestUrl=http://www.pinheironeto.com.br/publicacao/4061>. Acesso em: 15 mar. 2020.

MME. **Energia Solar no Brasil e Mundo**. 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+++Energia+Solar++Brasil+e+Mundo++ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

NIÁGARA SILVA. Ipea. **Análise da Estrutura da Demanda de Energia Elétrica Residencial segundo os Quantis de Consumo**. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/radar/temas/infraestrutura/240-radar-n-22-analise-da-estrutura-da-demanda-de-energia-eletrica-residencial-segundo-os-quantis-de-consumo>>. Acesso em: 06 set. 2019.

OLIVATI, Clarissa A. **CÉLULAS SOLARES: MATERIAIS PARA ENERGIA RENOVÁVEL**. 2016. Disponível em: <<http://www2.fct.unesp.br/docentes/dfqb/angel/EVOLU%C7%C3O%20DOS%20CONCEITOS/Celulas%20Solares%20Clarissa.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2019.

OLIVEIRA, F.C.C.; SUAREZ, P.A.Z. e SANTOS, W.L.P. BIODIESEL: Possibilidades e desafios. Química Nova na Escola, n. 8, maio, p. 3-8, 2008.

OLIVEIRA, Rodrigo Correa de; SCHILLING, Carla Helena. **VIABILIDADE ECONÔMICA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID**. 2018. Disponível em: <https://biblioteca.feevale.br/Vinculo2/000016/000016a4.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2020.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 15 mar. 2020

PINHO, João Tavares; MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. Portal Energia. 2014. Disponível em: <<https://www.portalenergia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

PORTAL SOLAR. **Usina Solar**. 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

RESENDE, Carlos. **O que é o inversor e qual a sua função em um sistema fotovoltaico?** 2017. Disponível em: <<https://shareenergy.com.br/o-que-e-o-inversor-e-como-ele-funciona/>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL. **Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal**. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000300009>. Acesso em: 28 out. 2019.

ROCHA, Alexandro Vladno da et al. **Análise da radiação global em Natal-RN entre abril de 2011 a março de 2012 e sua influência na produção de energia elétrica**. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/1420/2513>>. Acesso em: 01 abr. 2011.

SILVA, Rutelly Marques da. **ENERGIA SOLAR NO BRASIL: dos incentivos aos desafios**. 2015. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/507212/TD166-Rutelly_M_Silva.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17 nov. 2019.

TERRA. **O Brasil é um dos países com maior potencial para geração de energia solar**. 2019. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/dino/o-brasil-e-um-dos-paises-com-maior-potencial-para-geracao-de-energia-solar,00492254cfa7f57b30d87781f534d54471bx1xde.html>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

UNICAMP. **Custos sociais e ambientais de usinas hidrelétricas são subestimados, aponta estudo:** Trabalho mostra que desmatamento, perda da biodiversidade e prejuízos econômicos causados às comunidades não têm sido levados em conta. 2018. Disponível em: <<https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2018/11/07/custos-sociais-e-ambientais-de-usinas-hidreletricas-sao-subestimados-aponta>>. Acesso em: 07 nov. 2018.

VALLÊRA, António M.; BRITO, Miguel Centeno. **MEIO SÉCULO DE HISTÓRIA FOTOVOLTAICA.** 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES.** Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=M4diDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP3&dq=energia+solar+fotovoltaica&ots=z3h3db3a_Q&sig=hUO11qxl8kB19vtdS5ez_euqepl#v=onepage&q=energia%20solar%20fotovoltaica&f=false>. Acesso em: 01 jan. 2016.

WASOLAR. **Tempo de retorno do investimento em energia solar.** 2018. Disponível em: <<http://www.wasolar.com.br/tempo-de-retorno-do-investimento-em-energia-solar>>. Acesso em: 18 nov. 2019.