

UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FERNANDA DOS SANTOS MONTEIRO
HENRIQUE CARVALHO ZINI

GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE CÉLULAS
FOTOVOLTAICAS: ESTUDO DE VIABILIDADE DE
IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE MICROGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA

ANÁPOLIS / GO

2019

FERNANDA DOS SANTOS MONTEIRO

HENRIQUE CARVALHO ZINI

**GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE CÉLULAS
FOTOVOLTAICAS: ESTUDO DE VIABILIDADE DE
IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE MICROGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: EDUARDO MARTINS TOLEDO

ANÁPOLIS / GO

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

MONTEIRO, FERNANDA DOS SANTOS/ ZINI, HENRIQUE CARVALHO

Geração de energia a partir de células fotovoltaicas: estudo de viabilidade de implantação de uma usina de microgeração fotovoltaica.

57P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-------------------------|--------------------------------|
| 1. Energia Fotovoltaica | 2. Sustentabilidade |
| 3. Energia Renovável | 4. Viabilidade Econômica |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (9 ^o) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MONTEIRO, Fernanda dos Santos / ZINI, Henrique Carvalho. Geração de energia a partir de células fotovoltaicas: estudo de viabilidade de implantação de uma usina de microgeração fotovoltaica. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 58p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Fernanda dos Santos Monteiro

Henrique Carvalho Zini

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
Geração de energia a partir de células fotovoltaicas: estudo de viabilidade de implantação de uma usina de microgeração fotovoltaica.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Fernanda dos Santos Monteiro

E-mail: fernandadsmonteiro@hotmail.com

Henrique Carvalho Zini

E-mail: henrique-zini@hotmail.com

FERNANDA DOS SANTOS MONTEIRO

HENRIQUE CARVALHO ZINI

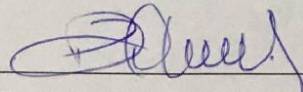
**GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE CÉLULAS
FOTOVOLTAICAS: ESTUDO DE VIABILIDADE DE
IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE MICROGERAÇÃO
FOTOVOLTAICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

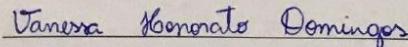
APROVADO POR:



**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**



**PAULO ALEXANDRE, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**VANESSA HONORATO, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

ANÁPOLIS/GO, 02 DE DEZEMBRO de 2019



UNIEVANGÉLICA - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
TCC - TRABALHO FINAL DE CURSO EM ENGENHARIA CIVIL

DECLARAÇÃO DE REALIZAÇÃO DE CORREÇÕES TCC II

DADOS DO ALUNO
Aluno(s): Fernanda dos Santos Monteiro, Henrique Carvalho Zini
Título: Geração de energia a partir de células fotovoltaicas: Estudo de viabilidade de implantação de uma usina de microgeração fotovoltaica
Orientador: Eduardo Martins Toledo

Eu, Eduardo Martins,
professor(a) do Curso de Engenharia Civil da UniEvangélica, declaro que os alunos
Fernanda dos Santos Monteiro, Henrique C. Zini, do 10º
Período do curso de Engenharia Civil da UniEvangélica, realizou todas as correções
propostas pelo orientador e examinadores, cumprindo, assim, todas as suas devidas
obrigações após a defesa da monografia. De acordo com o descrito anteriormente
abaixo assino.

@lida
Nome do orientador

RESUMO

A energia é um recurso fundamental para a existência de vida na Terra e há uma preocupação global em relação a sua geração, se dá a necessidade de rever como se origina este recurso. Levando em consideração que a maior parte da energia produzida é através de recursos não renováveis, é primeiramente fundamental, a conscientização mundial da importância de novas atitudes quanto a produção de energia. Em consequência, a busca por alternativas sustentáveis que possibilitem o atendimento das necessidades das populações no presente sem comprometer o suprimento das necessidades futuras. Deste modo, apresentam-se como soluções eficazes, a implantação de sistemas de geração de energia a partir da luz solar aproveitando este recurso natural afim de atender toda demanda de forma sustentável. Em atenção ao cenário atual apresentado e com base em algumas referências bibliográficas, foi escolhido para estudo de caso deste trabalho um empreendimento comercial, em virtude desta se portar como instrumento de difusão de modelo e referência social, capaz então de instruir quanto à necessidade de adotar práticas sustentáveis. Foi realizado um projeto junto a uma empresa do setor energético no segundo semestre de 2019, por meio de padrões normatizados, da implantação de uma microgeração fotovoltaica, para a Associação Comercial e Indústria de Anápolis-ACIA, localizado no município de Anápolis-GO. O projeto proposto teve investimento inicial de R\$119.140,25, ao qual será compensado após 3 anos, quando terá economia equivalente de R\$133.887,95. Por fim, o empreendimento abordado, contribuirá de forma incalculável para o meio ambiente e se tornará modelo para outras entidades da região.

Palavras-chave: Energia. Energia solar. Práticas sustentáveis. Sistema fotovoltaico. Produção. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Energy is a fundamental resource for the existence of life on Earth and there is a global concern regarding its generation, if there is a need to review how this resource originates. Given that most of the energy produced is from nonrenewable resources, it is first and foremost a worldwide awareness of the importance of new attitudes towards energy production. As a result, the search for sustainable alternatives that make it possible to meet the needs of the present population without compromising the supply of future needs. Thus, we present as effective solutions, the implementation of solar power generation systems taking advantage of this natural resource in order to meet all the demand in a sustainable way. Considering the current scenario presented and based on some bibliographic references, a commercial enterprise was chosen for the case study of this work, because it behaves as an instrument of diffusion of model and social reference, able to instruct as to the need to adopt sustainable practices. A project was carried out with a company in the energy sector in the second half of 2019, by means of standardized standards, of the implementation of a photovoltaic microgeneration for the Anápolis-ACIA Commercial and Industry Association, located in the municipality of Anápolis-GO. The proposed project had an initial investment of R \$ 119,140.25, which will be compensated after 3 years, when it will have equivalent savings of R \$ 133,887.95. Finally, the approached project will contribute invaluable to the environment and will become a model for others. entities of the region.

Keywords: Energy. Solar energy. Sustainable practices. Photovoltaic system. Production. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética Brasileira.....	15
Figura 2 - Participação de energias renováveis na matriz energética.....	18
Figura 3 - Participação de energias renováveis na matriz energética.....	19
Figura 4 – Participação da energia solar entre outras energias renováveis.	20
Figura 5 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica.	22
Figura 6 – Lingote de silício monocristalino.....	24
Figura 7 - Wafer de silício monocristalino.....	24
Figura 8 – Células fotovoltaicas de silício policristalino.	25
Figura 9 – Módulos fotovoltaicos de filmes finos.....	26
Figura 10 - Partes de um módulo fotovoltaico com células de Silício Cristalino.	28
Figura 11 - Painel com módulos fotovoltaicos de filmes finos.	29
Figura 12 - Módulos fotovoltaicos respectivamente em série, paralelo e em série e paralelo.	30
Figura 13 - Diagrama representativo do sistema <i>on-grid</i>	31
Figura 14 – Diagrama representativo do sistema <i>off-grid</i>	32
Figura 15 – Painel Solar (placa solar) – Blog Blue Sol.....	33
Figure 16 – Sistema de compensação de energia elétrica (Corona Solar).....	34
Figura 17 - Participação de cada fonte de energia na geração distribuída em 2017.....	37
Figure 18: Localização Associação Comercial e Industria de Anápolis - ACIA.....	40
Figure 19: Irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas.....	41
Figura 20: Informações da associação.....	47
Figura 21: Dados gerados.....	48
Figura 22: Orçamento analítico e resumido do projeto da associação.	49
Figura 23: Telhado da associação.....	50
Figura 24: Eficiência do inversor.....	51
Figura 25: Painél solar e inversor.	51
Figura 26: Cotação do Sistema Dimensionado.	52
Figura 27: Payback.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Eficiência e avaliação de custo de cada tipo de célula fotovoltaica	27
Quadro 2: Irradiação solar diária média	41
Quadro 3: Equipamentos do sistema	49

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Dados conta de energia.....	42
Tabela 2 Custo de disponibilidade	43
Tabela 3: Resumo do Sistema Dimensionado.	51
Tabela 4: Fluxo de caixa.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACIA	Associação de Comércio e Indústria de Anápolis
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si:H	silício amorfo hidrogenado
BEN	Balanço Energético Nacional
Bell Labs	Bell <i>Laboratories</i>
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
Cd	Custo de disponibilidade
CdTe	Telureto de cádmio
CIGS	Disseleneto de cobre índio e gálio
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
ENEL	Empresa italiana que atua na geração e distribuição de energia elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
Ec	Energia de compensação
Em	Consumo médio de eletricidade
GWh	Gigawatt-hora
ICMS	Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços
Is	Irradiação solar
i	Corrente elétrica
kWh	Quilowatt-hora
MWp/ano	Mega Watts por ano
N	número de placas
Pmp	Pico máximo de potência
PIS	Programas de integração social
Pplaca	Potência de uma placa fotovoltaica
STC	<i>Standart Test Conditions</i>
TIR	Taxa interna de retorno
V	Potencial elétrico
VPL	Valor presente líquido
Wp	Potência elétrica de pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	METODOLOGIA	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL EM 2018.....	17
2.1.1	Matriz energética brasileira	17
2.2	ENERGIA, ESPAÇO GEOGRÁFICO E DESENVOLVIMENTO	19
2.3	HISTÓRIA E CONCEITO.....	21
2.3.1	Efeito fotovoltaico.....	21
2.3.2	Células fotovoltaicas.....	220
2.3.2.1	Silício monocristalino	23
2.3.2.2	Silício policristalino	24
2.3.2.3	Filmes finos	25
2.3.2.4	Silício amorfo.....	26
2.3.2.5	CdTe e CIGS	26
2.4	MÓDULOS FOTOVOLTAICO	27
2.4.1	Características elétricas dos módulos fotovoltaicos	29
2.4.2	Associação de módulos fotovoltaicos	29
2.5	GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE CÉLULA SOLARES FOTOVOLTAICA	29
2.5.1	Sistemas conectados (<i>ON-GRID</i>).....	31
2.5.2	Sistema isolado (<i>OFF-GRID</i>)	32
2.5.3	Componentes de um sistema fotovoltaico	33
2.5.4	Painéis solares.....	33
2.5.5	Inversor de corrente.....	34
2.5.6	Relógio bidirecional.....	34
2.6	PANORAMA DE INICIATIVAS GOVERNAMENTAIS E PRIVADAS.....	35

2.6.1	Desenvolvimento brasileiro	35
2.6.2	Programa de desenvolvimento de geração de distribuída (ProGD)	36
2.6.3	Micro e mini geração distribuída no brasil.....	36
2.6.4	Linhas de crédito para financiamento de equipamentos de energia solar banco privado	37
2.6.4.1	CDC Energia fotovoltaica	37
2.6.4.2	Consórcio energia fotovoltaica.....	37
2.7	INDICADORES PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO.....	38
2.7.1	<i>Payback</i> descontado.....	38
2.7.2	Valor presente líquido (VPL)	38
2.7.3	Taxa interna de retorno (TIR)	38
3	ESTUDO DE CASO	39
4	PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO	39
5	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	39
5.1	ANÁLISE PRELIMINAR	39
5.2	ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	42
5.3	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR SOLAR	46
5.3.1	Orçamento e detalhamento para o microgerador solar	48
5.4	RESUMO DO SISTEMA	51
6	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA	52
6.1	TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO	52
7	CONDIÇÕES AMBIENTAIS E SUSTENTÁVEIS DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO	54
8	CONCLUSÃO.....	54

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é primordial nos dias atuais, dessa forma, é preciso produzi-la em grande escala para atender toda demanda. Nesse sentido, a necessidade de fontes renováveis, para geração de energia tem se tornado uma tendência mundial, em virtude da obtenção e utilização desse modelo para diminuir os impactos ambientais e garantir a sobrevivência dos seres humanos no planeta terra ANEEL (2012).

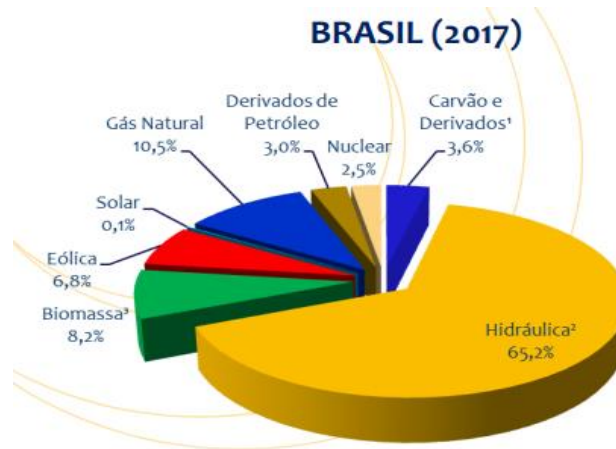
Atualmente as fontes de energia não renováveis são predominantes em diversos setores, vale destacar as principais tais como: os combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral, gás natural e xisto betuminoso) e os combustíveis nucleares.

Entretanto, com a necessidade de atender a demanda da matriz energética brasileira e de maneira sustentável, a maior parte das fontes de energia como: hidráulica, biomassa, eólica, e energia dos oceanos, são obtidas através de formas indiretas de energia solar e consequente denominadas como fontes de energia renováveis. É importante ressaltar, que a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Além da possibilidade de ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

Entretanto a preocupação em gerar energia a partir de sistemas que minimizam impactos ambientais é otimista em âmbito mundial. Por consequência, as fontes de energias renováveis vêm ganhando cada vez mais espaço, como mostra a Figura 1, em decorrência a preocupação ambiental, conscientização humana, aspectos da viabilidade econômica, expansiva demanda energética, competitividade da geração convencional do setor energético e políticas governamentais.

Nesse cenário, destaca-se o Brasil como um dos países mais promissores na geração de energia renováveis, devido seu extenso território e condições climáticas favoráveis. Conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018), empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, a participação de energias renováveis no Brasil foi de 42,9% no período de 2017, mas apesar da porcentagem otimista, ainda há muito a crescer no setor energético.

Figura 1 - Matriz energética Brasileira.



Fonte: Empresa De Pesquisa Energética em 2018.

Como indicado anteriormente, de acordo com ANEEL (2002), seguindo uma tendência de geração de energia através de fontes renováveis, é importante ressaltar os grandes esforços ao qual têm sido direcionados o aproveitamento da energia solar no Brasil, particularmente por meio de sistemas fotovoltaicos de geração de eletricidade, visando ao atendimento de comunidades isoladas da rede de energia elétrica e ao desenvolvimento regional.

A energia solar fotovoltaica trata-se de uma fonte de energia com imenso potencial e que pode ser bastante explorada pelas empresas brasileiras. Além de apresentar benefícios que atendam a necessidade da população de maneira sustentável e econômica a longo prazo. A implantação desses sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica contribui diretamente para o aumento da disponibilidade de eletricidade no Brasil, auxiliando a economizar água nos reservatórios das hidrelétricas nos períodos de estiagem. Além disso, a instalação dos sistemas fotovoltaicos reduz a necessidade de se construir usinas baseadas em fontes poluentes, colaborando com o meio ambiente e todos seres vivos.

1.1 JUSTIFICATIVA

A instalação de usinas fotovoltaicas apresenta-se como uma tecnologia que possui grande potencial de implantação no território brasileiro. Especialmente, para garantir a continuidade do suprimento energético, através de uma matriz energética ao qual representa compromisso com desenvolvimento e a sustentabilidade ambiental, pensando na qualidade de vida e demanda de matérias primas para as próximas gerações.

Conforme indicado nos levantamentos da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018), a matriz elétrica brasileira depende de modo relevante da geração de energia elétrica através das usinas hidrelétricas, tendo em vista que essa modalidade de geração foi responsável por 65,2% de toda energia elétrica produzida no Brasil no ano de 2017. Porém, a produção de energia elétrica via recursos hídricos gera grandes impactos ambientais e sociais para regiões. Nesse contexto as instalações de usinas fotovoltaicas se tornam modelo com uma opção sustentável para substituir as usinas hidrelétricas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo avaliar o sistema de geração de energia solar, com ênfase no estudo de viabilidade de implementação em usina de microgeração fotovoltaica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar fundamentação do sistema de captação de energia;
- Apresentar vantagens da instalação da usina fotovoltaica;
- Definir layout de funcionamento;
- Definir demanda de geração de energia;
- Calcular variáveis econômicas de um determinado período;
- Compreender em quais requisitos o projeto é viável economicamente;
- Apresentar modelo para sociedade, a fim de incentivar criação de novas usinas na região.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho será constituída em duas partes, a primeira parte refere-se ao levantamento bibliográfico, e a segunda parte, ao estudo de caso. No estudo de caso será avaliada a viabilidade econômico-financeira (*payback*) e sustentável da geração de energia elétrica a partir implementação de uma usina de microgeração fotovoltaica em uma associação.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho abordado constitui-se em três capítulos:

Capítulo 1: É apresentada a fundamentação geral acerca do tema abordado nesse estudo de caso, demonstrando cenário geral do setor energético no Brasil em relação a instalação de usina fotovoltaica.

Capítulo 2: Consiste no modelo de apresentação de vantagens sustentáveis do sistema adotado. Além de parâmetros e variáveis da viabilidade econômico-financeira no período estabelecidos de comparação a dados retroativos e posteriores.

Capítulo 3: Apresenta levantamentos de dados do estudo de caso em período retroativo e a projeção de dados após o projeto de instalação da usina de microgeração fotovoltaica no empreendimento adotado.

Capítulo 4: Dispondo de tais informações, citadas anteriormente, foi realizado um payback de retorno financeiro do investimento, possibilitando a averiguação da economia obtida pelo sistema proposto, e por fim, apresentando a viabilidade ou não do projeto, em conclusão.

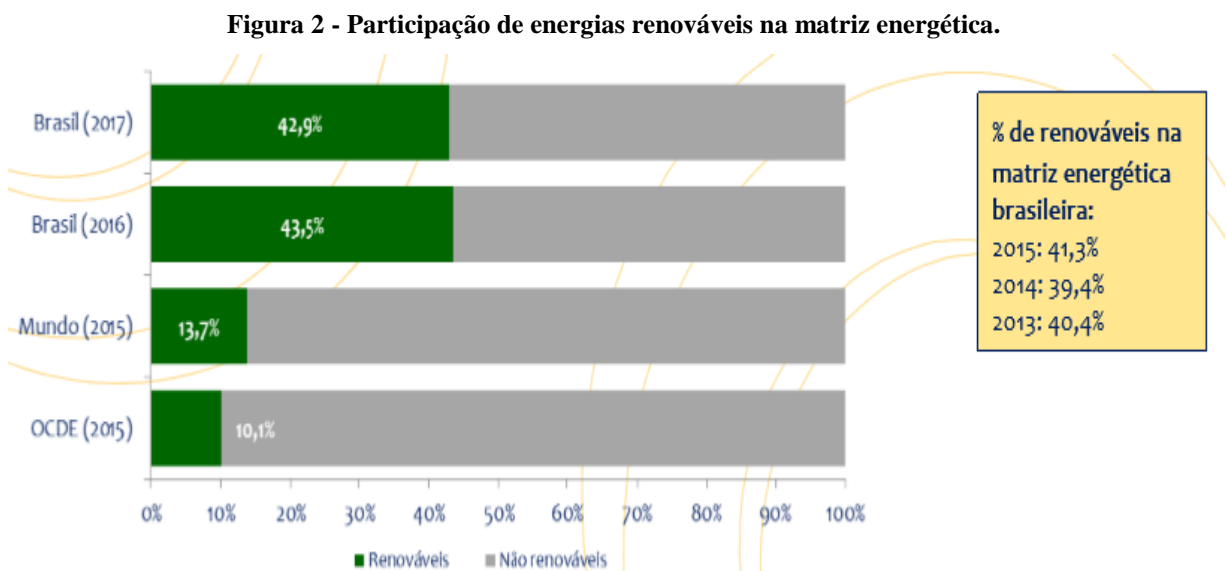
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL EM 2018

2.1.1 Matriz energética brasileira

Em cumprimento ao estabelecido em sua lei de criação, a Empresa de Pesquisa Energética elabora e publica anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN), mantendo tradição iniciada pelo Ministério de Minas e Energia. O BEN tem por finalidade apresentar a contabilização relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EP,2018).

De acordo com a Figura 2, em 2017, a participação de energias renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo. O avanço do gás natural foi compensado principalmente pela eólica, lixívia e biodiesel (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EP,2018).



Fonte: Empresa De Pesquisa Energética em 2018.

De acordo com a Figura 3, as fontes de energia não renováveis ainda são predominantes, cerca de 57,1%, decorrente 36,4% do petróleo de derivados, 13,0% do gás natural, 5,7% carvão mineral, 1,4% urânio e 0,6% outras fontes não renováveis. Conforme exposto na figura 3, o

crescimento de exploração de fontes de energia renováveis, representando 42,9% no setor energético brasileiro, destacando-se 17,0% da biomassa da cana-de-açúcar, 12,0% hidráulica, 8,0% da lenha e carvão vegetal e os outros 5,9% decorrente a lixívia e outras energias renováveis.

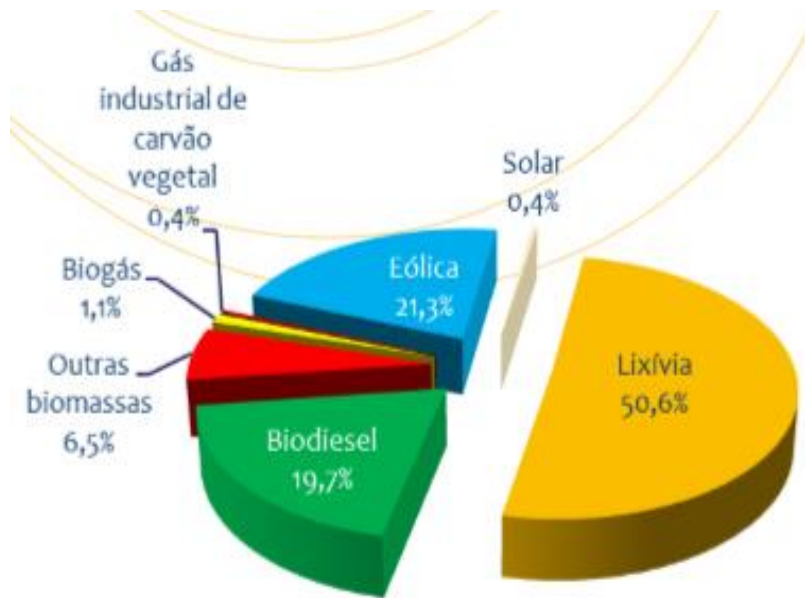
Figura 3 - Participação de energias renováveis na matriz energética.



Fonte: Empresa De Pesquisa Energética em 2018.

Na estimativa de 2018, com base na Figura 3, conforme levantamento de dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018), a energia solar não aparece como fonte, porém está no quadrante de 5,9% (lixívia e outras renováveis). A energia solar, portanto, ocupa 0,4%, conforme Figura 4, entre outras energias renováveis, um percentual pequeno comparado as outras fontes de energia renováveis, no entanto ainda muito o que explorá-la.

Figura 4 – Participação da energia solar entre outras energias renováveis.



Fonte: Empresa De Pesquisa Energética (2018).

2.2 ENERGIA, ESPAÇO GEOGRÁFICO E DESENVOLVIMENTO

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Dessa forma, a exaustão, escassez ou inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensadas pelo surgimento de outros. Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões ANEEL (2002).

De acordo com Villalva (2012) o sol representa uma essencial fonte de energia para nosso planeta terra. Anualmente a superfície terrestre recebe uma quantidade expressiva de energia solar, sendo elas nos aspectos de luz e calor, quantidade satisfatória para atender inúmeras vezes as necessidades humanas mundiais ao decorrer do mesmo período. Porém uma parte pouco expressiva dessa energia é aproveitada, além disso é importante ressaltar que a maioria, com poucas exceções, toda a energia usada pelo ser humano tem origem do Sol.

O sol é uma fonte de energia que traz benefícios a terra através de luz e calor. O sistema de energia fotovoltaica se beneficia desta luz para transformá-la em eletricidade através de células fotovoltaicas. Este sistema é composto por painéis fotovoltaicos e de equipamentos para

conversão desta energia de corrente contínua para alternada, quando o uso é domiciliar (SANTOS; SOUZA; DALFIOR, 2015).

De acordo grande parte dos recursos energéticos do país se localiza em regiões pouco desenvolvidas, distantes dos grandes centros consumidores e com fortes restrições ambientais. Promover o desenvolvimento econômico dessas regiões, preservar a sua diversidade biológica e garantir o suprimento energético de regiões mais desenvolvidas são alguns dos desafios da sociedade brasileira. Torna-se, portanto, fundamental o conhecimento sistematizado da disponibilidade de recursos energéticos, das tecnologias e sistemas de aproveitamento e das necessidades energéticas setoriais e regionais do país ANEEL (2002).

2.3 HISTÓRIA E CONCEITO

2.3.1 Efeito fotovoltaico

Segundo Vallêra e Brito (2006) o efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num electrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz.

Nos estudos realizados por Segundo Vallêra e Brito (2006) sobre o nascimento da primeira célula solar moderna

[...] a história da primeira célula solar começou em Março de 1953 quando Calvin Fuller, um químico dos Bell Laboratories (Bell Labs), em Murray Hill, New Jersey, nos Estados Unidos da América, desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades eléctricas (um processo chamado “dopagem”). Fuller produziu uma barra de silício dopado com uma pequena concentração de gálio, que o torna condutor, sendo as cargas móveis positivas (e por isso é chamado silício do “tipo p”). Seguindo as instruções de Fuller, o físico Gerald Pearson, seu colega nos Bell Labs, mergulhou esta barra de silício dopado num banho quente de lítio, criando assim na superfície da barra uma zona com excesso de electrões livres, portadores com carga negativa (e por isso chamado silício do “tipo n”). Na região onde o silício “tipo n” fica em contacto com o silício “tipo p”, a “junção p-n”, surge um campo eléctrico permanente. Ao caracterizar electricamente esta amostra, Pearson verificou que produzia uma corrente eléctrica quando a amostra era exposta à luz. Pearson tinha acabado de fazer a primeira célula solar de silício.

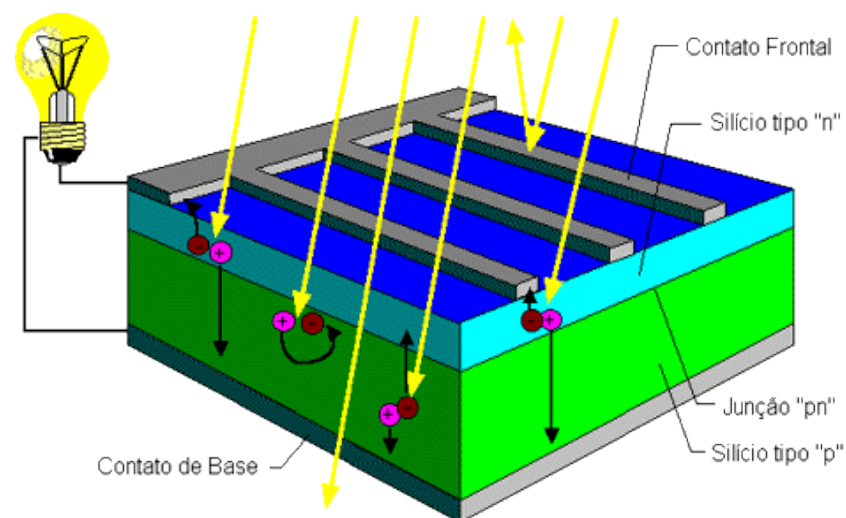
Primeiramente, o desenvolvimento da tecnologia citada anteriormente, foi motivada por empresas do ramo de telecomunicações e de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas.

Em 1973 de acordo Cresesb (2006), a crise do petróleo renovou e ampliou o interesse em aplicações para energia solar fotovoltaica, mas para isso era necessário tornar economicamente viável essa forma de conversão de energia, sendo necessário reduzir os custos de produção das células fotovoltaicas. Em 1978, a produção da indústria fotovoltaica no mundo já ultrapassava a marca de 1 MWp/ano. Os Estados Unidos foram líderes mundiais na produção dessa tecnologia durante maior parte da década de 1990.

2.3.2 Células fotovoltaicas

O efeito fotovoltaico é o fenômeno físico que permite a conversão direta da luz em eletricidade. Esse fenômeno ocorre quando a luz, ou a radiação eletromagnética do Sol, incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas. A estrutura dessa célula conforme a Figura 5, é composta por duas camadas de material semicondutor P e N, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior (VILLALVA, GAZOLI, 2012).

Figura 5 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Cresesb (2014).

A grade e a base metálica inferior são os terminais elétricos que fazem a coleta da corrente elétrica gerada pela ação da luz. A base inferior é uma película de alumínio ou de prata, já parte superior da célula, que recebe a luz, precisa ser translúcida, dessa maneira os contatos

elétricos são construídos na forma de uma fina grade metálica impressa na célula (VILLALVA, GAZOLI, 2012).

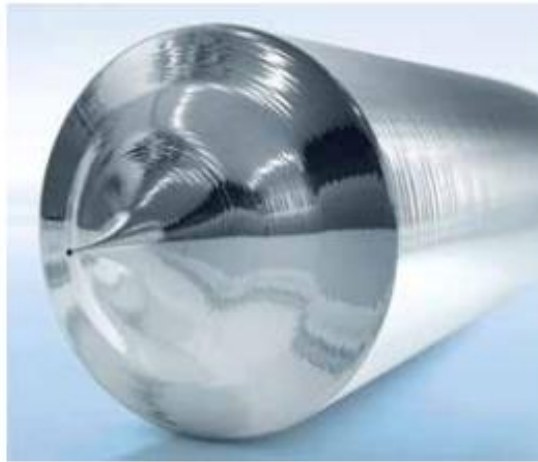
Segundo estudos realizados por Cresesb (2006), de acordo com Figura 5, essa passagem de elétrons entre as camadas cria uma corrente elétrica que pode ser coletada através de terminais elétricos metálicos implantados na base (contato de base) e na parte que fica em contato com a luz (grade metálica ou contato frontal).

Ruther (2000) e Cresesb (2006) destaca que as células fotovoltaicas podem ser fabricadas com diferentes tipos de materiais semicondutores, cada um com uma determinada eficiência de conversão da luz solar em energia elétrica. Porém as células mais comuns disponíveis comercialmente são constituídas a base de silício cristalino (monocristalino ou policristalino). As demais tecnologias comercializadas são empregadas com filmes finos de telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS), silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), silício microcristalino.

2.3.2.1 Silício monocristalino

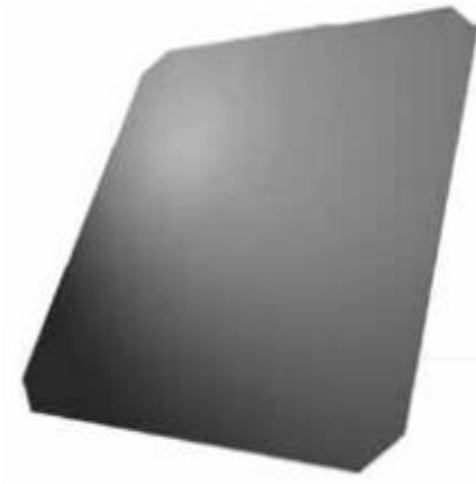
As células monocristalinas são extraídas através da serragem de lingotes de silício monocristalino. Estes são originados do silício purificado, e retirados do mineral quartzo, ao qual possui aparência brilhante, uniforme e acabamento a partir de um material com estrutura cristalina. O lingote é cortado e mantém formas de bolachas de silício, posteriormente incluídos a processos de dopagem, e por fim origina-se camadas P e provocando as propriedades fotovoltaicas. As formas de bolachas de silício, em seguida recebe os eletrodos e o tratamento antirreflexivo, formando à célula fotovoltaica, ao qual apresenta cor azul ou preta (GAZOLI; VILLALVA; GUERRA, 2012).

Figura 6 – Lingote de silício monocristalino.



Fonte: Bosch Solar Energy, AG (2012).

Figura 7 - Wafer de silício monocristalino.



Fonte: Bosch Solar Energy. AG (2012).

2.3.2.2 Silício policristalino

Segundo Gazoli, Villalva e Guerra (2012) a fase de constituição do silício policristalino baseia-se na utilização de temperaturas inferiores em comparação ao processo empregado na formação do silício monocristalino. A formação do lingote de silício policristalino, é produzido por um conjunto de vários cristais, com espessuras e sentidos espaciais diferentes. De acordo

com a Figura 8, as bolachas de policristalinos, apresentam aparência diferente e configuração distinta do silício monocristalino. E por fim os módulos fotovoltaicos policristalinos têm eficiências superficialmente menor em comparação aos seus adversários monocristalinos.

Figura 8 – Células fotovoltaicas de silício policristalino.



Fonte: Bosch Solar Energy AG (2012).

2.3.2.3 Filmes finos

Segundo Gazoli, Villalva e Guerra (2012) as células fotovoltaicas filmes finos são retirados a partir da pulverização finas camadas de silício com apoio de uma base confeccionada de material rígido ou flexível. Em relação ao preço de mercado dos filmes finos é relativamente menor em consequência da sua fabricação não ter fragmentos de serragem de lingotes, portanto contribuindo para minimizar desperdício de material e menor consumo de energia, em consequência da utilização de menores temperaturas. Além disso esse material destaca-se por seu processo de fabricação ser menos complexo, otimizando automatização dos processos e colaborando a produção em alta escala. A produção dos dispositivos de filmes finos não normatiza tamanho, mas a única restrição é a área da base para a fabricação do módulo, pois são constituídos de uma única célula.

De acordo com Gazoli, Villalva e Guerra (2012) é importante ressaltar que os dispositivos de filmes finos, de acordo com Figura 9, possuem baixa eficiência energética e dependem de maior área para realizar sua instalação e conseqüentemente produzir a mesma energia que produzem as tecnologias cristalinas, portanto os custos de instalação são superiores. Porém umas das vantagens é o seu baixo coeficiente de redução de potência devido o aumento da temperatura, facilitando a instalação destes em locais com temperaturas muito elevadas. Em

contrapartida, sua desvantagem é decorrente a rápida degradação dos filmes finos, tornando uma característica negativa para tecnologia adotada.

Figura 9 – Módulos fotovoltaicos de filmes finos.



Fonte: Bosch Solar Energy AG (2012).

2.3.2.4 Silício amorfo

Segundo Oliveira (2002 apud GONÇALVES, 2014), as células de Silício Amorfo possuem átomos posicionados de maneira desordenada, obtendo ângulos distintos entre eles. Portanto sua eficiência de conversão é muito baixa, aproximadamente em torno de 5% a 8%, mas suas células sofrem uma degradação nessa eficiência no primeiro ano de operação na ordem de 15% a 20%. A fabricação ocorre com temperaturas até 300°C, permitindo que a base possa ser de vidro, aço inox e plástico. Posteriormente, uma camada de óxido transparente e condutor é depositada nessa base, para, acima dela, ser depositada uma camada P de Silício Amorfo suficientemente fina para absorver a luz. Em seguida insere outra camada de Silício Amorfo do tipo N e, na parte traseira da célula, uma camada metálica condutora é inserida.

2.3.2.5 CdTe e CIGS

As células fotovoltaicas de telureto de cádmio (CdTe) e CIGS (cobre-índiogalio-selênio) são consideradas as mais eficazes no conjunto da família dos filmes finos. Todavia ainda não foi possível alcançar uma produção expressiva em grande escala em comparação com as demais, em virtude à toxicidade do cádmio (Cd) e à escassez do telúrio (Te), serem consagrados um material raro. Entretanto as células CIGS não se utiliza materiais tóxicos,

apesar disso deve-se levar em conta que seu custo é superior e sua implantação no mercado é pequena (GAZOLI; VILLALVA; GUERRA, 2012).

Em relação as tecnologias de células fotovoltaicas algumas tecnologias possuem menor custo, porém apresentam menor eficiência, conforme Quadro 1 pode-se expor o desempenho em relação as tecnologias de células fotovoltaicas disponibilizadas no mercado, dando ênfase as células e os módulos de silício mono e policristalino, com exceção das células híbridas, de acordo com modelo proposto são as que apresentam as maiores eficácias de conversão de conversão de energia.

Quadro 1: Eficiência e avaliação de custo de cada tipo de célula fotovoltaica.

Tipo de Célula	Eficiência de Conversão	Custos
Silício Monocristalino	12%	Relativamente elevados
Silício Policristalino	15%	Elevados
Silício Amorfo	8% a 10%	Bastante baixos
Sulfeto de Cobre – Sulfeto de Cádmio	7% a 9%	Elevados
Arseniato de Gálio	21%	Bastante elevados
Cádmio - Selênio	6% a 7%	Desconhecidos

Fonte: GAZOLI; VILLALVA; GUERRA, 2012.

2.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICO

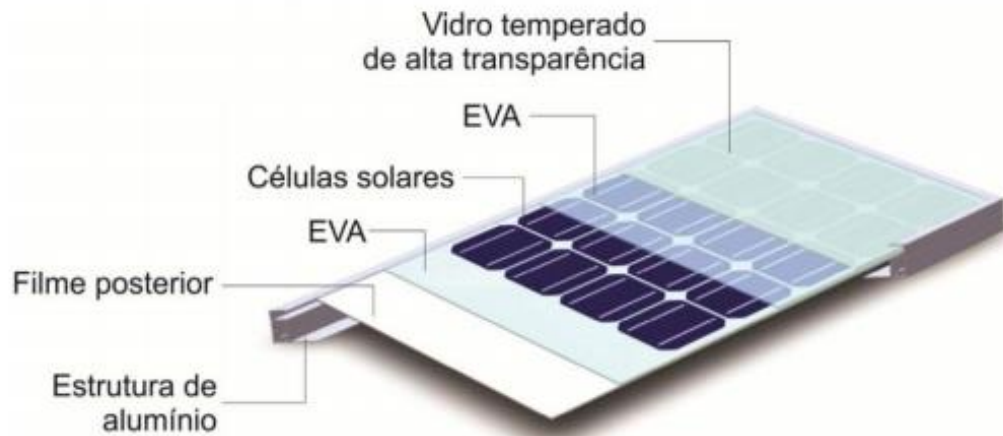
De acordo com Cresceb (2006 apud GONÇALVES,2014) uma única célula fotovoltaica normalmente não supera a potência de 3 W e uma tensão entre 0,5 a 0,8 V (para células de silício). Assim, é necessário agrupá-las formando um módulo fotovoltaico, conforme Figura 10, ao qual produz uma tensão total equivalente à soma das tensões individuais de cada célula.

Segundo Carneiro (2010), para produzir energia, os sistemas fotovoltaicos, devem ser empregados por muitos módulos, sendo conectados em serie ou paralelos. Conjuntos com mais de dez módulos em série são comuns em sistemas conectados à rede elétrica, que operam com tensões mais elevadas. O que é comum de se ver para aumentar a potência do sistema, é acrescentar em um módulo em série, também módulo em paralelo.

Nos estudos realizados por Villalva e Gazoli (2012) sobre o comportamento de um módulo fotovoltaico

[...] um módulo fotovoltaico não se comporta como uma fonte elétrica convencional. O módulo fotovoltaico não apresenta uma tensão de saída constante nos seus terminais. A tensão elétrica depende da sua corrente e vice-versa. O ponto de operação do módulo fotovoltaico, ou seja, o valor da tensão e da corrente nos seus terminais depende do que está conectado aos seus terminais. Se conectarmos um aparelho que demanda muita corrente, a tensão de saída do módulo tenderá a cair. Por outro lado, se conectarmos uma carga que demanda pouca corrente, a tensão do módulo será mais elevada, tendendo à tensão de circuito aberto.

Figura 10 - Partes de um módulo fotovoltaico com células de Silício Cristalino.



Fonte: Cresesb (2014).

Segundo de acordo com Cresceb (2014 apud GONÇALVES,2014, p.31) quando vários módulos fotovoltaicos são agrupados, conectados em série e/ou em paralelo, forma-se o painel fotovoltaico. Portanto a conexão em série se dá através da ligação entre o terminal positivo de um módulo ao terminal negativo de outro módulo, somando-se suas tensões. Em relação a conexão em paralelo, ocorre unindo-se os terminais positivos de todos os módulos entre si, assim como todos os seus terminais negativos, resultando na soma das correntes elétricas de cada módulo, sem alterar a tensão. Entretanto, quando a conexão é feita em série e em paralelo, somam-se a tensão e a corrente fornecida pelo conjunto.

De acordo com GONÇALVES (2014) quando os painéis são constituídos por módulos fotovoltaicos de filmes finos, seu aspecto é uniforme, de acordo com Figura 11, pois são formados por uma única célula com dimensões de acordo com o próprio módulo. Sendo que

esse modelo de painel possui corrente de saída muito pequena, exigindo um número muito grande de conjuntos em paralelo para se obter a energia desejada.

Figura 11 - Painel com módulos fotovoltaicos de filmes finos.



Fonte: Archiexpo (2014).

Vale ressaltar que além da temperatura e da radiação solar, outros fatores impactam no desempenho de geração máxima de energia elétrica do painel fotovoltaico, tais como: orientação do módulo, espaçamento entre módulos e sombreamento (GONÇALVES, 2014).

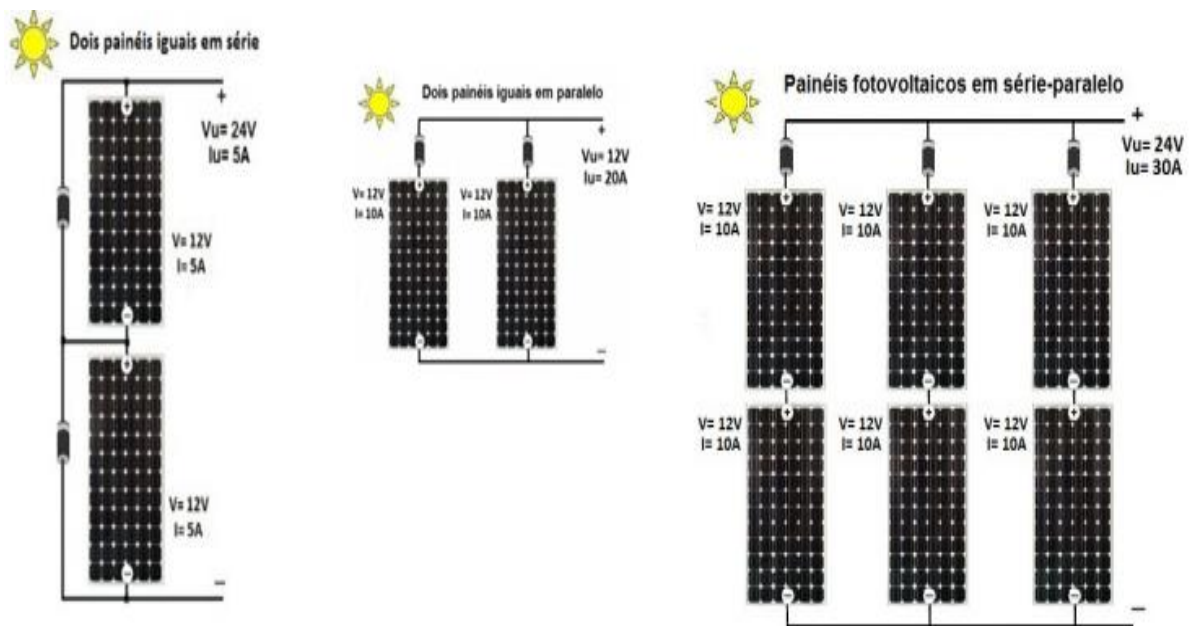
2.4.1 Características elétricas dos módulos fotovoltaicos

De acordo com Villalva e Gazoli (2012 apud GONÇALVES, 2014, p.41), um módulo normalmente é identificado pela sua potência elétrica de pico (Wp), a qual é obtida através de condições padrão de testes STC. Deve-se levar em consideração as medidas de corrente elétrica e tensão elétrica de acordo com o que está conectado em seus terminais, o ideal é que o módulo trabalhe num determinado ponto onde sua tensão e respectiva corrente extraia a sua potência máxima. Trata-se de onde o módulo produzirá a maior energia possível, também na condição STC, e é chamado de Potência de Pico ou Máxima Potência (Pm ou Pmp).

2.4.2 Associação de módulos fotovoltaicos

Conforme Carneiro (2009) os módulos fotovoltaicos podem ser arranjados de forma que produzam a quantidade de energia elétrica desejada, ou seja, quando se necessita de tensões elevadas, arranjam-se os módulos em série e, quando se necessita de tensões mais baixas, arranjam-se em paralelo. Por fim, quando há necessidade de aumentar a potência do sistema fotovoltaico, de acordo com Figura 12, utilizam-se módulos em série e em paralelo.

Figura 12 - Módulos fotovoltaicos respectivamente em série, paralelo e em série e paralelo.



Fonte: Mppt solar (2014).

2.5 GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE CÉLULA SOLARES FOTOVOLTAICA

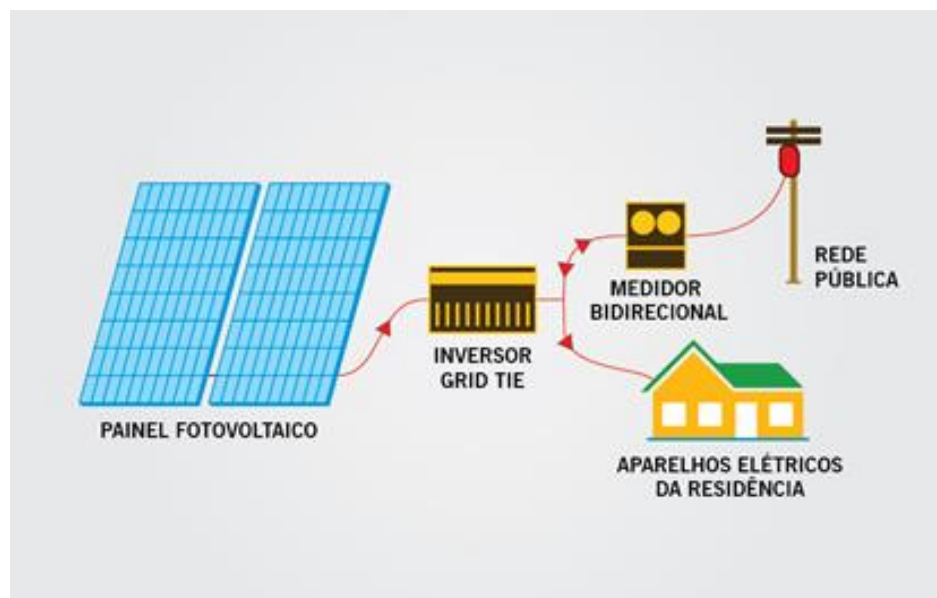
A energia solar fotovoltaica, é basicamente, a energia captada através da conversão da luz solar em eletricidade pelas células fotovoltaicas contidas em módulos fotovoltaicos. Ela é produzida pela reação nuclear que acontece no interior do Sol, onde átomos de hidrogênio se combinam, formando átomos de hélio e liberando energia. Para essa conversão, temos três configurações possíveis, que são elas: sistemas conectados (on-grid) – conectados pela rede pública de energia. Sistemas isolados (off-grid) – desconectados da rede pública. E por fim, o sistema híbrido, que é a junção das características dos dois primeiros (ALVES, 2016).

2.5.1 Sistemas conectados (*ON-GRID*)

De acordo com a resolução normativa da ANEEL nº 482 (2012) o sistema conectado, tem como sua característica principal, gerar energia pelos módulos solares, e enviar para a rede de distribuição.

Para Solar Brasil (2016), em consequência, a energia gerada deve ser maior do que a consumida, para trabalhar na forma de crédito, quando o consumo for maior. Ou seja, o cliente só paga para concessionária quando o consumo é superior.

Figura 13 - Diagrama representativo do sistema *on-grid*.



Fonte: Empresa Redsol (2017).

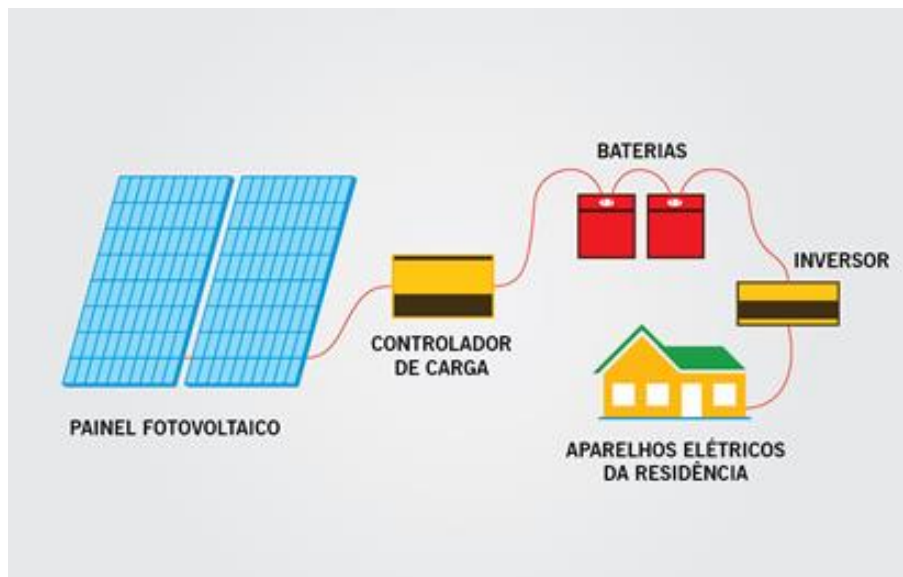
É possível notar que os componentes desse sistema são:

- Painéis fotovoltaicos;
- Inversor de frequência - Transforma a corrente contínua do painel em corrente alternada de 127 V/220 V;
- Medidor bidirecional – Mede o excedente da energia que é gerada e jogada para a rede;
- Quadro de Luz - distribui energia para casa.

2.5.2 Sistema isolado (*OFF-GRID*)

De acordo com dados levantados por Neosolar (2015) caso dos sistemas isolados, ou autônomos, tem seus custos finais mais elevados que os sistemas *on-grid*, e são caracterizados por não se conectarem à rede elétrica, ou seja, o sistema se auto sustenta através da utilização de baterias. Ou seja, em casos de dias que a produção supere o consumo, o excesso é enviado ao banco de baterias para que a noite, quando o consumo supera a produção, a energia armazenada possa ser utilizada. Por ser um sistema onde as baterias são a única fonte alternativa de energia para momentos que não tem luz solar, é preciso saber dimensionar com precisão a quantidade de painéis solares, para não ficar em escassez.

Figura 14 – Diagrama representativo do sistema *off-grid*.



Fonte: Empresa Redsol (2017).

É possível notar que os componentes desse sistema são:

- Banco de baterias;
- Controlador de carga;
- Inversores;
- Painéis fotovoltaico.

2.5.3 Componentes de um sistema fotovoltaico

A função do sistema fotovoltaico, conforme foi visto nas seções anteriores, é gerar energia elétrica, através da incidência da luz do sol. Isto ocorre, pois, o sistema contém células fotossensíveis que, ao receber a luz solar, seus elétrons se movimentam, gerando corrente elétrica.

2.5.4 Painéis solares

Os painéis solares ou módulos são formados por um conjunto de células fotovoltaicas, conforme mencionado anteriormente afim de gerar energia. A maioria é constituído de silício cristalino, tendo sua eficiência determinada pela pureza do material, também há módulos fotovoltaicos feitos de índio, gálio, telureto de cádmio e outros. Sua vida útil pode chegar a 30 anos dependendo da matéria-prima (VILLALVA, GAZOLI, 2012).

Para dimensionar o painel, deve-se levar em conta, a tensão que será necessária para atender o local, tendo em vista o material que foi utilizado, conforme Figura 15.

Figura 15 – Painel Solar (placa solar) – Blog Blue Sol.



Fonte: Blog Blue Sol (2011).

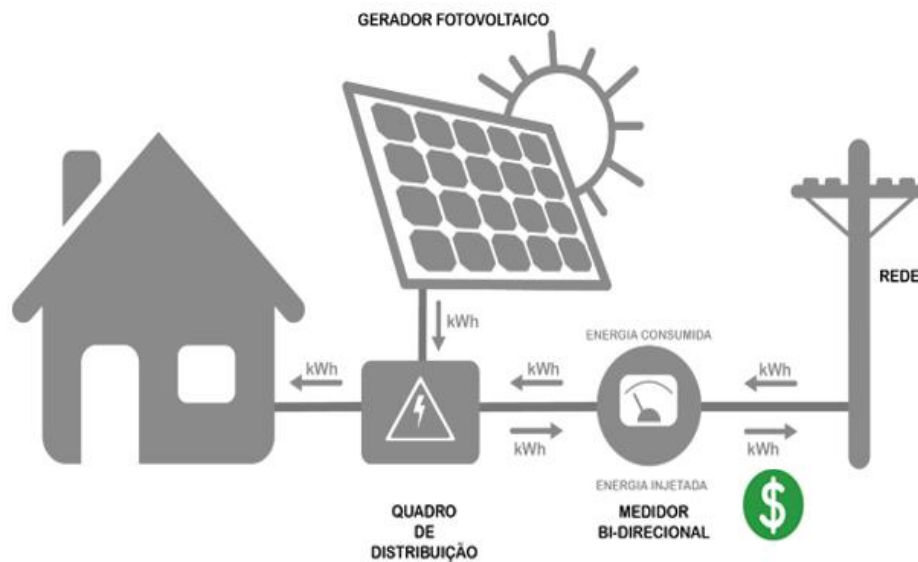
2.5.5 Inversor de corrente

De acordo como citado anteriormente, o sistema *on-grid*, trabalha de forma que a energia gerada pelo sistema fotovoltaico, é direcionada a rede pública, gerando assim um crédito de energia, que é debitado da fatura da concessionária. Porém, a energia gerada pelo sistema, está em Corrente Contínua (CC), e a eletricidade pública em Corrente Alternada (CA). A grande função do inversor é justamente adaptar as duas formas para poder assim integrá-la ao sistema público (ALVES, 2016).

2.5.6 Relógio bidirecional

De com a Figura 16, o relógio bidirecional tem a função de registrar a energia recebida da distribuidora e a energia solar gerada e por fim seja injetada na rede elétrica, para assim, garantir a compensação de créditos na conta de luz.

Figure 16 – Sistema de compensação de energia elétrica (Corona Solar).



Fonte: Corona Solar (2017).

2.6 PANORAMA DE INICIATIVAS GOVERNAMENTAIS E PRIVADAS

2.6.1 Desenvolvimento brasileiro

Segundo o levantamento do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, ligado ao Ministério da Economia, o país está cumprindo a meta da ONU de se investir mais em fontes limpas e renováveis até 2030. A energia solar no Brasil avançou mais de dez vezes em dois anos, número de instalações de painéis solares deu um salto de pouco mais de sete mil (7.400) para 49 mil unidades em todo o Brasil. Um aumento de mais de 560%.

De acordo com a entrevista concedida ao Jornal Nacional por Globo (2019), o especialista do Ipea Moraes afirmar sobre a matriz energética

[...] em termos de matriz energética brasileira, a participação das fontes renováveis, todas as fontes renováveis, é de 43%. E, comparando com o mundo, é de apenas 18%. Então, o Brasil tranquilamente está cumprindo essa meta de usar bastante energia renovável na sua matriz energética.

Conforme informações do Ministério de Minas e Energia e da Agência Nacional de Energia Elétrica, o mercado de energia alternativo sofreu importantes mudanças nos últimos dez anos mediante por uma redução de 75% no preço da energia gerada por sistemas de energia solar fotovoltaica, diante de um expressivo aumento de 499% no custo da tarifa de energia elétrica.

Em razão desta realidade muitas empresas estão buscando fontes mais econômicas de financiar o custo de energia da linha de produção, e a energia solar passar a ser uma opção importante economicamente e sustentável.

Diante desses fatos abordados anteriormente é possível notar a relevância dos sistemas fotovoltaicos autônomos na geração de energia para as de propriedades rurais, comunidades isoladas, bombeamento de água e sistemas de telecomunicações. Em evidência dessas necessidades, inúmeras residências brasileiras foram proporcionadas com a instalação de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos autônomos pelo programa Luz Para Todos, criado pelo Governo Federal em 2003.

2.6.2 Programa de desenvolvimento de geração de distribuída (ProGD)

O programa de desenvolvimento de geração distribuída, que teve o lançamento em 2016, tem como seu objetivo principal, a ampliação de geração de energia elétrica através de fontes renováveis em residência, indústria, comércio, universidade e edifício. Estima-se que até em 2030, sejam investidos R\$100 bilhões em fontes como energia solar (ALVES, 2016).

Os principais pontos do programa são:

- Autoconsumo remoto: o crédito gerado, poderá ser utilizado em algum outro imóvel que esteja no mesmo nome;
- Reduzir 43% das emissões de gases de efeito estufa, até 2030;
- Isenção de ICMS e PIS/ COFINS: o consumidor só será tributado, apenas com o saldo da energia que ele receber da distribuidora e não conseguir compensar;
- Redução de impostos de importação de 14% para 2%, no que diz respeito a equipamentos de geração solar fotovoltaica;
- Criação de linha de crédito e financiamento.

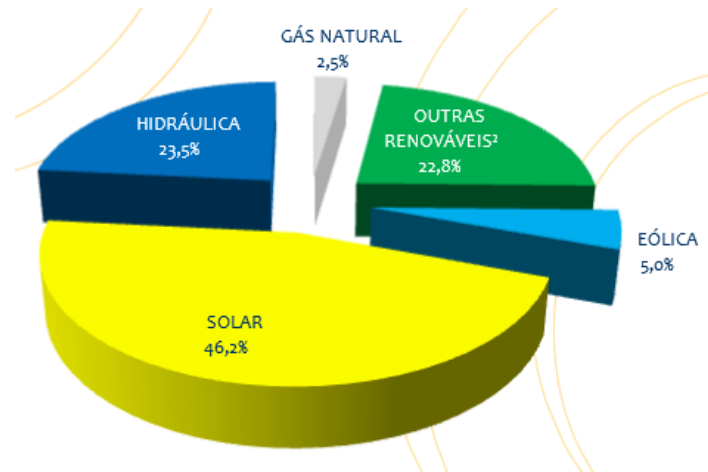
2.6.3 Micro e mini geração distribuída no Brasil

Em relação a energia solar, em 2012, com a finalidade de permitir ao consumidor gerar energia elétrica a partir da energia solar em seu próprio estabelecimento, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criou a resolução normativa nº 482, de 17/07/2012. Esta resolução estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Segundo Dassi, Zanin e Bagatini (2015) este sistema propõe que o mini e microgeradores de energia possa injetar o excedente de energia produzido na rede da concessionária, adquirindo créditos para uso em contas futuras no prazo máximo de 36 meses, dessa maneira o modelo de sistema proposto possibilita que a população possa repassar o excedente da sua produção e ganhar créditos para usá-los futuramente. Em 2017 a Micro e Mini Geração Distribuída, atingiu 359,1 GWh com uma potência instalada de 246,1 MW.

Destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 165,9 GWh e 174,5 MW de geração e potência instalada respectivamente (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EP, 2018).

Figura 17 - Participação de cada fonte de energia na geração distribuída em 2017.



Fonte: Empresa De Pesquisa Energética (2018).

2.6.4 Linhas de crédito para financiamento de equipamentos de energia solar banco privado

De acordo com estudos realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (2018), a empresa estima um crescimento exponencial do setor de energia solar, com aumento de 57 mil instalações de painéis em 2018 para 276 mil até 2021. Decorrente desses números, a cada ano, as instituições financeiras visam expandir seus negócios direcionados para disponibilização de linhas de crédito para pessoa física e jurídica com taxas de juros e administração atrativas para o mercado.

2.6.4.1 CDC Energia fotovoltaica

De acordo com site do Banco Bradesco (2019), a instituição financeira disponibilizou uma linha de financiamento para compra e instalação dos equipamentos geradores de energia solar, o CDC Energia Fotovoltaica. O prazo de pagamento é até 60 vezes, com carência de 90 dias para pagamento da primeira parcela e as taxas começam em torno de 0,99 ao mês para correntistas, e aprovação de crédito sujeito a análise para aquisição.

2.6.4.2 Consórcio energia fotovoltaica

Segundo dados expostos no site do Banco Bradesco (2019), a instituição financeira oferece condições diferenciadas para aquisição de equipamentos de energia solar, através cartas

de crédito a partir de R\$300 mil reais, taxa de administração de 0,31% ao mês e o prazo de pagamento em até 72 meses, sendo aprovação de crédito sujeita a análise para aquisição.

2.7 INDICADORES PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

Com base em Alves (2016) na implementação de um projeto a uma empresa, ou a qualquer pessoa que seja, devemos sempre analisar a viabilidade econômico-financeira dela. Para isso, foram separados alguns métodos no qual podem ser utilizados. Dentre eles são o Payback descontado, o valor presente líquido e pôr fim a taxa interna de retorno.

2.7.1 *Payback* descontado

Basicamente, o *Payback* é o tempo necessário para se recuperar um investimento inicial, avaliando o fluxo de caixa descontados, ou seja, considerando o valor do dinheiro no tempo. Nos estudos realizados por Abreu Filho (2003) sobre modelo descrito

[...] o critério consiste em somar os valores dos benefícios obtidos pela operação do projeto. O período *payback* é o tempo necessário para que esses benefícios totalizem o valor do investimento feito.

2.7.2 Valor presente líquido (VPL)

Segundo ROSS (2000), o valor presente líquido consiste em notar a diferença entre o valor presente dos fluxos futuros de caixa, considerando os juros e o investimento inicial. O passo mais relevante para esse critério, é notar, se o projeto, remunera o capital investido. Trata-se do método de análise de investimento em projetos mais utilizados por profissionais.

2.7.3 Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno é a taxa que precisa para igualar o valor das entradas ao investimento inicial. Ou seja, faz com que o VPL seja zero, que representa o ponto de reversão da decisão de investir. A TIR representará a rentabilidade do projeto expressa em termos de taxa de juros, ou seja, a taxa de remuneração do capital investido (ALVES, 2016).

3 ESTUDO DE CASO

A pesquisa abordada caracteriza-se como exploratória por meio do estudo de caso, com abordagem descritiva e qualitativa na qual verifica-se a viabilidade econômico financeira na implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede de distribuição (*on-grid*), conforme a Resolução 482/2012 da Aneel. A instalação será na Associação Comercial e Industria de Anápolis - ACIA, localizada na R. Manoel D'abadia, 335 – Setor Central no município de Anápolis-GO.

De acordo com a Associação Comercial e Industria de Anápolis-ACIA (2016), a associação teve início no ano de 1935, com objetivo de impulsionar o crescimento econômico, contribuindo para a instalação de novas empresas e despertando nos homens de negócio da cidade a necessidade de se instituir uma entidade capaz de congrega-los e que servisse de instrumento para defesa dos interesses em comum da categoria.

Os dados relacionados nesse estudo de caso foram coletados diretamente na empresa autorizada Blue Window Energia, ao qual trata-se de uma organização integradora de soluções fotovoltaicas, estabelecida na Rua Travessa Marcílio Dias N°40, município de Anápolis-GO, por meio de entrevistas não-estruturadas no período de agosto de 2019 a outubro de 2019.

4 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO

Em sequência, a pesquisa inicia-se com o estudo da estrutura da edificação em que se pretende instalar o sistema de geração de energia elétrica, através de energia solar. As condições ambientais são fatores que foram levados em consideração, haja vista sua interferência direta na eficiência do sistema.

Após, foram realizadas análises técnicas dos sistemas propostos pela empresa fornecedora, incluindo os painéis solares, inversores de frequência, entre outros itens necessários ao processo de construção de uma central de minigeração distribuída de energia elétrica.

Em seguida, foram realizados os cálculos da geração de energia com base nas informações coletadas na empresa autorizada Blue Window Energia, que são:

- Localização no qual a instalação se encontra;
- Radiação solar no local (horas de sol equivalente/dia), de acordo com a localização da edificação;

- Número total de painéis solares de acordo com a necessidade de geração de energia;
- Potência e tensão elétrica dos painéis solares;
- Rendimento dos painéis solares.

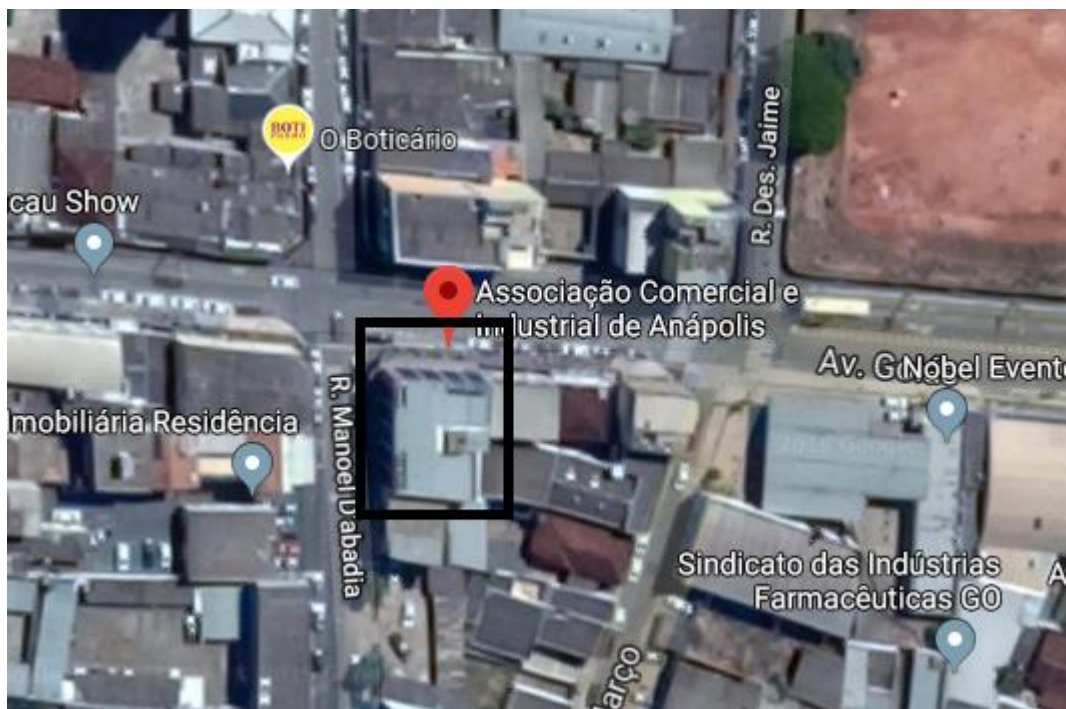
5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

5.1 ANÁLISE PRELIMINAR

Foi realizado o cálculo do investimento necessário para instalação do sistema proposto, com base em orçamento de equipamentos fornecido pela empresa autorizada, ao qual foi responsável pela instalação e comissionamento da central de microgeração de energia elétrica.

A Figura 18 representa a localização do empreendimento no Google Maps.

Figure 18: Localização Associação Comercial e Industria de Anápolis - ACIA.



Fonte: Google Maps.

De acordo com a análise da Figura 18 e visita ao local podemos atribuir os seguintes dados:

- I. Sombreamento: Não há construções verticais ou obstáculos ambientais projetando sombra.
- II. Latitude: 16,301° S e Longitude: 48,949° O.
- III. Orientação do telhado: estrutura metálica, com inclinação voltada a Leste, favorecendo o horário de maior incidência solar, ao meio-dia.

Através da coordenada geográfica encontrada do local na Figura 18, é possível encontrar sua irradiação solar, através do Quadro 2, abaixo, da CRESESB (2006), ao qual trata-se de uma ferramenta para auxílio em projetos fotovoltaicos.

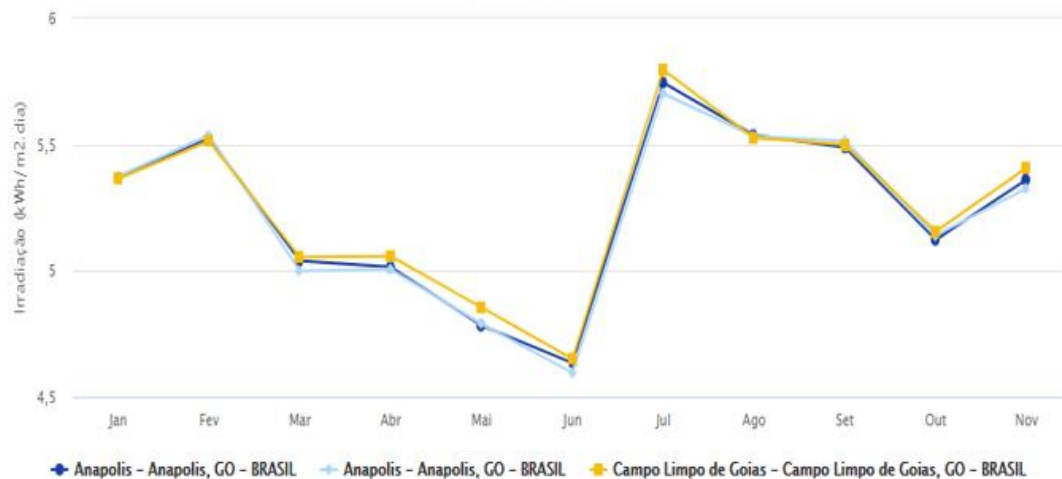
Quadro 2: Irradiação solar diária média

Município	Irradiação solar diária média [kW/m ² .dia]																
	Lati	Long	Distância [km]	Ja	Fe	Ma	Ab	Ma	Ju	Ju	Ag	Se	Ou	No	De	Médi a	Delt a
Anápolis	16,301° S	48,94 9°O	3,1	5,3 7	5,5 2	5,0 4	5,0 1	4,7 8	4,6 4	4,9 0	5,7 5	5,5 4	5,4 9	5,1 2	5,3 6	5,21	1,11
Anápolis	16,401° S	48,94 9°O	8,1	5,3 8	5,5 4	5,0 0	5,0 1	4,7 9	4,6 0	4,8 8	5,7 0	5,5 3	5,5 2	5,1 4	5,3 3	5,20	1,11
Campo Limpo de Goiás	16,301° S	48,04 9°O	10,6	5,3 7	5,5 1	5,0 6	5,0 6	4,8 6	4,6 5	4,9 0	5,8 0	5,5 3	5,5 0	5,1 6	5,4 1	5,23	1,14

Fonte: Adaptado de CRESESB (2018).

De acordo com a Quadro 2, tendo em vista que a irradiação solar do empreendimento abordado representa uma média de 5,21 kW/m² ao mês, o Figura 19, demonstra o desempenho da irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas.

Figure 19: Irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas.



Fonte: CRESESB (2018).

5.2 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A Associação Comercial e Industria de Anápolis - ACIA é composta por nove salas comerciais ao qual cada sala possui individualmente seu consumo de energia mensal, de acordo com a descrição a seguir, evidenciando o consumo do mês de agosto de 2019.

De acordo com a Tabela 1 abaixo, após análise das faturas de energia foram extraídos os seguintes dados:

Tabela 1: Dados conta de energia.

Unidade consumidora	Média anual de consumo de energia kWh	Valor da Tarifa do kWh	Valor médio (R\$)	Rateio (%)
20404827	310,9170	0,848700	R\$270,50	6
20030435	1172,17	0,848700	R\$1.019,79	16
20030423	722,08	0,848700	R\$628,21	2
20030393	62,92	0,848700	R\$54,74	1
20030381	18,08	0,848700	R\$15,73	5
20030411	259,6667	0,848700	R\$225,91	2
20030370	58,50	0,848700	R\$50,90	8
20030400	344,5833	0,848700	R\$299,78	27
20033242	1444,17	0,848700	R\$1.256,43	33
TOTAL	4393,09	0,848700	R\$3.821,99	100

Fonte: ENEL (2019).

De acordo com os dados apresentados nas faturas de energia na Tabela 1, a divisão proporcional de custos, ou seja, rateio, é expresso em porcentagem ao qual refere-se à geração distribuída, que é direcionada e homologada para cada unidade distribuidora conforme sua geração mensal produzida de acordo com a Enel.

A ACIA e demais clientes da ENEL apesar de gerarem sua própria energia, este é obrigado a pagar à concessionária um valor referente à disponibilidade do serviço prestado e à disposição do sistema elétrico, ao qual este parâmetro é chamado de Custo de Disponibilidade, e por fim é cobrado de acordo com Tipo de Ligação da Unidade Consumidora.

Nesse sentido a Tabela 2 a seguir, representa os três tipos de ligação previsto de acordo com a ANEEL.

Tabela 2 Custo de disponibilidade

TIPO DE LIGAÇÃO	CUSTO DE DISPONIBILIDADE
Monofásico	30 kWh/mês
Bifásico	50 kWh/mês
Trifásico	100 kWh/mês

Fonte: ANEEL.

Consequentemente, é necessário dimensionar o sistema, a fim de gerar o montante médio de todas as unidades consumidoras em kW, ao qual é subtraído pelo custo de disponibilidade.

$$E_c = E_m - C_d \quad (1)$$

Onde:

- E_c = Energia de compensação, sendo o valor que o sistema deverá gerar mensal (kWh/mês).
- E_m = Consumo médio de eletricidade (kWh/mês), somatório das nove unidades consumidoras.
- C_d = Custo de disponibilidade.

Portanto em ênfase no empreendimento abordado, possui tipo de ligação monofásico, ao qual corresponde 30 kWh/mês (cada unidade consumidora), ou seja, multiplicando por nove unidades totaliza 270 kWh/mês e o consumo médio anual do somatório de todas unidades consumidoras é 4393,09 kWh, portanto o cálculo será equivalente:

$$E_c = 4393,09 - 270 = 4123,09 \text{ kWh/mês} \quad (2)$$

A Geração Ideal é de aproximadamente 4123,09 kWh. Isso significa que, no final dos 30 dias do mês (em média) o Sistema Fotovoltaico deverá gerar em torno de 4123,09 kWh.

No entanto para o dimensionamento, é aconselhável trabalhar com o valor de geração diária. Aplica-se então a equação abaixo, para determinar o valor da “Energia de Compensação em Média Diária”:

$$E_{cdiário} = \frac{Ec}{30} \quad (3)$$

Onde:

- $E_{cdiário}$: Energia de Compensação em Média Diária – em kWh/dia;
- 30: Constante relativa à quantidade de dias do mês, em média.

Portanto aplicando-se esta equação, com base nos dados obtidos anteriormente, obtêm-se:

$$E_{cdiário} = \frac{Ec}{30} = \frac{4123,09}{30} = 137,44 \text{ kWh/dia} \quad (4)$$

Nesse sentido, conforme expresso na equação 4, o sistema ideal deve ser dimensionado para gerar no mínimo 137,44 kWh/dia, devido às perdas ocorridas nos cabeamentos e no inversor.

No entanto, a fim de cálculo de projeto otimiza-se o sistema em relação a Energia de Compensação em Média Diária, por questões de eficiência dos módulos e do inversor. A tensão e a corrente produzida pelo painel fotovoltaico podem variar conforme a irradiação solar, sombras e as demais constantes que causam perdas no Sistema. Por isso, usualmente, adiciona-se 20% da geração diária, conforme apresentado a seguir:

$$E_{cdiário} + 20\% = 164,93 \frac{kWh}{dia} \quad (5)$$

Em sequência, outro fator relevante ao qual é utilizado no projeto, é o cálculo para descobrir a potência pico do sistema fotovoltaico instalado na associação, para obter-se, é necessário dividir a Energia de Compensação em Média Diária pela irradiação solar média em

Anápolis-GO, conforme dado obtido anteriormente pelo Quadro 2, de acordo CRESESB (2018).

$$Wp = \frac{E_{\text{diário}}}{I_S} \quad (6)$$

Onde:

- W_p = É a potência pico do sistema;
- I_S = Irradiação solar em kW/m².dia.

Sendo assim aplicando-se esta equação nos com base nos dados obtidos anteriormente, obtêm-se:

$$Wp = \frac{E_{\text{diário}}}{I_S} = \frac{164,93}{5,21} = 31,66 \text{ kWp} \quad (7)$$

Conseqüentemente para descobrir o número de placas fotovoltaicas que foram instaladas no projeto da associação, utiliza-se a potência pico do sistema dividido pela potência de cada placa solar, no caso a placa utilizada no sistema fotovoltaico possui potência de 340 W, ou seja, equivalente a 0,34 kW.

$$N = \frac{Wp}{P_{\text{placa}}} \quad (8)$$

Onde:

- N = número de placas;
- P_{placa} = potência de uma placa fotovoltaica.

Por fim, aplicando-se esta equação com base nos dados obtidos anteriormente, obtêm-se:

$$N = \frac{Wp}{P_{\text{placa}}} = \frac{31,66}{0,34} = 93,12 \approx 94 \text{ placas} \quad (9)$$

Portanto para dimensionar a potência do inversor que será utilizado no sistema, leva-se em consideração a quantidade de placas multiplicado pela sua potência em kW.

$$\text{Potência Inversor} = N \times P_{\text{placa}} \quad (10)$$

Onde:

- *Potência necessária do inversor para o sistema.*

Nesse sentido cálculo estabelecido será:

$$\text{Potência Inversor} = N \times P_{\text{placa}} = 94 \times 0,34 = 31,96 \text{ kWp} \times 1000 = 31960 \text{ Wp} \quad (11)$$

No entanto, de acordo com Portal Solar (2017), estima-se que a utilização de um inversor sempre seja de potência inferior ao do sistema, para ter uma maior eficiência, superdimensionando o mesmo com até 1/3. Nesse sentido, quando os painéis são superdimensionados, o inversor gastará menor tempo operando com menor eficiência em luz solar fraca, dessa maneira a eficiência média mais alta otimiza a compensar a perda de energia elétrica quando a saída de energia dos painéis exceda a capacidade nominal do inversor.

Portanto, com o superdimensionamento da potência do inversor resultará 30000 Wp.

5.3 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR SOLAR

Para dimensionar um gerador solar é necessária análise rigorosa de várias variáveis de cálculo, ao qual foram feitos os cálculos anteriormente. Portanto, o objetivo de evitar erros grosseiros e tornar economicamente viável e seguro a implantação do projeto na associação, a empresa autorizada Blue Window Energia, realiza tal procedimento com base em programas e simuladores restrito a empresa, para o fornecimento de dados e orçamentos, tornando o cálculo rápido, eficaz, preciso, facilitando e automatizado parte dos cálculos, monitorado a ponto por profissionais qualificados da área de engenharia elétrica e civil, garantindo a confiança da associação para implantação do projeto fotovoltaico.

No programa utilizado, inicialmente realiza-se um pré cadastro, incluindo algumas variáveis do local que está em questão, conforme Figura 20, com algumas informações da associação demonstradas anteriormente, tais como:

Figura 20: Informações da associação.

CADASTRO		?	X
DATA:	15/08/2019	COMPLEMENTO:	
REFERENCIA:	TCC		23 de 38
CLIENTE:	ASSOCIAÇÃO DE COMÉRCIO E INDÚSTRIA DE ANÁPOLIS		Novo
PROSPECT:			Excluir
Nº DAPROPOSTA:	1		Restaurar
TELHADO:	FIBROCIMENTO		Localizar ante
CIDADE:	ANAPOLIS		Localizar próx
EMAIL:			Crítérios
TEL/CEL:			Fechar
MEDIA kWh:	4123,09		
IR solar:	5,21		
Valor do kWp:			
CLASSE CLIENTE:	B1		
TARIFA FORA DE PICO:	0,8487		
TARIFA PICO:	0,8487		
POTENCIA DA PLACA:	340		
MONO/BI/TRI:	TRI		
QUANT. UC:	9		
UC:	1		
CPF/CNPJ:			
CEP:			
RUA/AVENIDA:	Rua Manoel D'Abadia		
NUMERO:			
BAIRRO:			
QUADRA:			
LOTE:			

Fonte: Blue Window Energia (2019).

Posteriormente, a partir do cadastro preenchido, com as variáveis em questão, que são a média de consumo mensal, a irradiação solar e a potência da placa, conforme Figura 20, obtém-se todo detalhamento de informações necessário para o sistema proposto de acordo com Figura 21.

Figura 21: Dados gerados.**CLIENTE: ASSOCIAÇÃO DE COMERCIO E INDÚSTRIA DE ANAPOLIS****Proposta Nº: BW2019-0001**

20/10/2019

ESCOPO DE FORNECIMENTO

Esta proposta prevê o fornecimento de equipamentos fotovoltaicos para geração de energia elétrica. Sistema com capacidade instalada igual a **31,96kWp**.

RESUMO DO SISTEMA			
Média Solar	5,21 KW/m ² .dia	Tempo	1 Mês
Gstc	1000 W/m ²	Potência do módulo	340 W
Porcentual de Geração	100,02%	Pfv	32,98 kWp
Consumo Médio Anual	4123,09 KWh/mês	Performace Ratio	80%
Energia Gerada	4123,82 Kwh/mês	Area de irradiação	235,27 m ²

Fonte: Blue Window Energia (2019).

Com o uso do simulador fornecido pela empresa autorizada Blue Window, pode ser extraído os seguintes dados:

- Potência mínima necessária de 31,96 kWp;
- Área ocupada pelo sistema no telhado de 235,27m²;
- Energia que será gerada de 4123,82 Kwh/mês.

5.3.1 Orçamento e detalhamento para o microgerador solar

O sistema de implantação do projeto de microgerador solar na associação, é composto de várias etapas e sua fixação assim como o orçamento final do projeto dependerá em parte do tipo de telhado ao qual será instalado.

É importante ressaltar, como já foi mencionado, o telhado onde será a instalação é em telhas galvanizadas, portanto com base nessa informação, a Figura a seguir, especificará cada item a ser utilizado no gerador de energia fotovoltaico de 31,96 kWp, sendo composto por:

Figura 22: Orçamento analítico e resumido do projeto da associação.

INSUMO	QNTDADE	\$UN/INSUMO	\$TOTAL/INSUMO
DPS CA 1000VDC 20-40 ka	8	R\$178,00	R\$1.424,00
DISJUNTOR TRIPOLAR CA 63 - WEG	1	R\$43,45	R\$43,45
INVERSOR SUN2000L-33KTL-A	1	R\$38.250,00	R\$38.250,00
MÓDULO ASTRONERGY 340W	94	R\$740,69	R\$69.624,86
CHAVE SECCIONADORA CC 1500V	8	R\$229,00	R\$1.832,00
FUSIVEL SOLAR 10X38 1000Vdc 15A	16	R\$15,90	R\$254,40
PORTA FUSIVEL SRD-30 1000VDC	16	R\$15,90	R\$254,40
CABO ALUMINIO DUPLEX 6MM COM 200M	2	R\$436,05	R\$872,10
PERFIL BARRA TRILHO C/ 2 UNI	180	R\$189,00	R\$34.020,00
GRAMPO TERMINAL C/30 UNI	6	R\$150,00	R\$900,00
GRAMPO INTERMEDIARIO C/10 UNI	36	R\$80,00	R\$2.880,00
CONECTOR FEMEA NC4	20	R\$45,00	R\$900,00
CONECTOR MACHO NC5	20	R\$65,00	R\$1.300,00
TOTAL			R\$152.555,21

Fonte: Adaptado da Blue Window Energia (2019).

O Quadro 3 abordará os principais itens para instalação do sistema:

Quadro 3: Equipamentos do sistema

DPS CA 1000VDC 20-40 ka – Clamper Solar	
DISJUNTOR TRIPOLAR CA 63 - WEG	
INVERSOR STRING, SIW500H - ST030	
MÓDULO ASTRONERGY 340W	
CHAVE SECCIONADORA CC 1500V	
PORTA FUSIVEL E FUSIVEL SOLAR10X38 1000Vdc 15A	
CABO ALUMINIO DUPLEX 6MM COM 200M	

PERFIL BARRA TRILHO	
GRAMPO TERMINAL C/30 UNI	
CONECTOR FEMEA MC4	
CONECTOR MACHO MC4	

Fonte: Adaptado da Panda Energia Solar (2019).

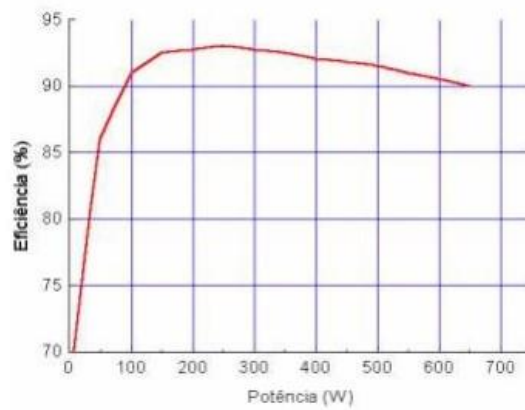
Figura 23: Telhado da associação.



Fonte: Blue Window Energia (2019).

Os painéis solares utilizados na instalação desse projeto, é de Silício Policristalino, contendo dimensão de 1,96 x 0,99 x 0,04 m, da marca WEG, potência de 340 W, e sua garantia de fábrica é de 12 anos, colocando em consideração que os módulos apresentam uma perda de rendimento de 0,7 % ao ano, tendo os equipamentos vida útil de 25 anos, nesse período produzido 80% de potência.

O inversor a ser utilizado será o Inversor String SIW500H - ST030, com potência ativa de 30000 Wp, eficiência máxima de 93,6% e garantia de fábrica de 7 anos.

Figura 24: Eficiência do inversor

Fonte: RÜTHER, 2004.

Figura 25: Painel solar e inversor.

Fonte: Adaptado de Solar Centrium Energy.

5.4 RESUMO DO SISTEMA

Posteriormente todas análises e cálculos, o sistema dimensionado será:

Tabela 3: Resumo do Sistema Dimensionado.

Potência pico do sistema	31,96 kWp
Área ocupada pelas placas	235,27 m ²
Radiação solar do local	5,21 kWh/m ² /dia
Geração mensal do sistema	4123,82 kWh/mês

Economia anual	R\$41.998,63
Total do Investimento com mão de obra	R\$119.140,25
Retorno do Investimento	3 anos

Fonte: Próprio autor.

6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA

Portanto, conforme detalhamento analítico do sistema e com autorização da empresa Blue Window Energia, a Figura 26 a seguir, representará os valores pagos para cada tipo de serviço referente ao projeto de geração de energia fotovoltaica de 31,96 kWp:

Figura 26: Cotação do Sistema Dimensionado.

Equipamento	R\$	79.228,27
Imposto	R\$	9.531,22
Consultoria Técnica e Financeira	R\$	5.957,01
Mão de Obra (instalação e serviços adversos)	R\$	11.914,03
Materiais complementares	R\$	12.509,73
TOTAL:	R\$	119.140,25

Fonte: Adaptado de Blue Window Energia (2019).

6.1 TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Para o cálculo do tempo de retorno do investimento, leva-se em conta a tarifa vigente de R\$ 0,85/kWh no ano de 2019, e uma inflação energética projetada de 6% ao ano no Brasil. Para calcular a economia mensal, de acordo com a Tabela 4, leva-se em consideração o consumo de energia média, subtraída pelo custo de disponibilidade, devido ser uma despesa obrigatória. Sendo assim, para obter o valor anual, multiplicamos a compensação mensal pelos 12 meses decorrentes, resultando em uma economia de R\$ 42.005,52 no primeiro ano. No ano seguinte, ou seja 2020, o valor de economia anual será de R\$44.578,85 e por fim no ano de 2021, será equivalente a R\$47.253,58.

Portanto o sistema implantado irá gerar um retorno de investimento após o terceiro ano, ou seja R\$133.887,95, respectivamente quando o valor da economia produzida será superior ao valor do projeto instalado.

Tabela 4: Fluxo de caixa.

ANO	TARIFA kWh (R\$)	CONSUMO MÉDIO MÊS (kWh)	TARIFA MENSAL (R\$)	CUSTO DE DISPONIBILIDADE	COMPENSAÇÃO ENERGÉTICA MENSAL	COMPENSAÇÃO ENERGÉTICA ANUAL
2014	R\$0,62	4393,09	R\$2.740,49	R\$168,43	R\$2.572,06	R\$30.864,71
2015	R\$0,66	4393,09	R\$2.915,42	R\$179,18	R\$2.736,23	R\$32.834,80
2016	R\$0,71	4393,09	R\$3.101,51	R\$190,62	R\$2.910,89	R\$34.930,64
2017	R\$0,75	4393,09	R\$3.299,47	R\$202,79	R\$3.096,69	R\$37.160,26
2018	R\$0,80	4393,09	R\$3.510,08	R\$215,73	R\$3.294,35	R\$39.532,19
2019	R\$0,85	4393,09	R\$3.734,13	R\$229,50	R\$3.504,63	R\$42.055,52
2020	R\$0,90	4393,09	R\$3.958,17	R\$243,27	R\$3.714,90	R\$44.578,85
2021	R\$0,96	4393,09	R\$4.195,66	R\$257,87	R\$3.937,80	R\$47.253,58
2022	R\$1,01	4393,09	R\$4.447,40	R\$273,34	R\$4.174,07	R\$50.088,79
2023	R\$1,07	4393,09	R\$4.714,25	R\$289,74	R\$4.424,51	R\$53.094,12
2024	R\$1,14	4393,09	R\$4.997,10	R\$307,12	R\$4.689,98	R\$56.279,77
2025	R\$1,21	4393,09	R\$5.296,93	R\$325,55	R\$4.971,38	R\$59.656,56
2026	R\$1,28	4393,09	R\$5.614,75	R\$345,08	R\$5.269,66	R\$63.235,95
2027	R\$1,35	4393,09	R\$5.951,63	R\$365,79	R\$5.585,84	R\$67.030,11
2028	R\$1,44	4393,09	R\$6.308,73	R\$387,74	R\$5.920,99	R\$71.051,91

□ \sum 2019 a 2021 = **R\$133.887,95**

Fonte: Próprio autor.

Em vista da representação apresentada na Figura 27, abordada em sequência, a implantação do projeto obteve uma receita bruta de despesa equivalente a R\$119.140,25, sendo compensado no prazo de 3 anos, conforme a evolução demonstrada na linha horizontal da Figura a seguir, resultando um superávit em 8 anos, um valor aproximadamente de R\$700.000,00 reais.

Figura 27: Payback.



Fonte: Adaptado de Blue Window Energia (2019).

7 CONDIÇÕES AMBIENTAIS E SUSTENTÁVEIS DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO

A energia solar é produzida, conforme já visto em todo o trabalho, diretamente, dos raios solares a partir da utilização de placas de silício mono ou policristalino, que favorecem a presença de elétrons. Isto implica dizer que, para o meio ambiente fragilizado pela constante emissão de gases poluentes, não haverá nenhum impacto praticamente, nem mesmo devastações ou desapropriações para a instalação do sistema de geração da energia, como ocorre em outros recursos de geração de energia que não são sustentáveis. À medida que a qualidade do ambiente em que o ser humano habita entra em regressão, a sua própria qualidade de vida também entra.

Após a instalação do sistema fotovoltaico, a associação contribuirá com o meio ambiente, ou seja, evitando indiretamente todo ano, desde então, o desmatamento de árvores nativas e reduzindo também a emissão de CO₂, por estar gerando sua própria energia.

Segundo simulador da empresa autorizada Blue Window Energia e com fundamento da SolarVolt (2019), a quantidade de árvores e CO₂ reduzidos em um sistema de 31,96 kWp, será de:

Árvores:	222	unidades
CO₂:	27,71	Toneladas

8 CONCLUSÃO

O estudo de caso proposto objetivou analisar a viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica como alternativa sustentável para redução de custos e de diversificação energética em uma Associação Comercial e Indústria de Anápolis-ACIA do município de Anápolis-GO. Além disso, enfatizar que a utilização de energia proveniente do sol apresenta processo de obtenção de energia mais acessível no território brasileiro do que a geração de energia a partir de outras fontes.

Nesse sentido, a implantação de usinas e microgeradores a partir da energia solar têm se tornado modelo tendência no território brasileiro, a fim de contar com incentivos

governamentais e privados para programas e linhas de crédito com taxas atrativas com objetivo de incrementar o crescimento da energia solar na matriz energética brasileira.

A elaboração deste trabalho foi de importância valiosa para obtenção de resultados concretos, de acordo com modelo comercialmente implantando, a partir de uma parceria com empresa especializada do ramo de energia solar, servindo como base de conhecimento para nossos usuários, e assim despertando-os interesse para aquisição de projetos como este abordado no estudo de caso, além de promover projetos sustentáveis no município proposto.

Os resultados obtidos a partir do *playback* descontado de fluxo de caixa, abordado na Tabela 2, revelaram que o projeto da implantação de energia solar fotovoltaica como alternativa para redução de custos e de diversificação energética é viável para o período analisado, considerando os dados propostos e tempo de retorno de investimento em três anos.

Conclui-se que, além de reduzir custos e de apresentar viabilidade econômico-financeira para a implantação do projeto referente a associação analisada, a energia solar, uma das mais importantes dentre as fontes de energias renováveis, gerará benefícios inestimáveis também ao meio ambiente em longo prazo, minimizando impactos ambientais e sociais na sociedade, além de minimizar indiretamente a emissão de CO₂ na atmosfera.

Por fim, modelos como estes adotados, contribuirá diretamente no mercado, como incentivo de minimizar os custos de equipamentos, perante a lei de oferta e demanda, além de incentivar pesquisas para o ramo aprimorando cada dia mais a implantação de geradores e usinas solares fotovoltaicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU FILHO, José Carlos Franco de; SOUZA, Cristóvão Pereira de; GONÇALVES, Danilo Amerio; CURY, Marcus Vinícius Quintella. **Finanças Corporativas**. Rio de Janeiro: FGV, 2003.

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica**. – Brasília: ANEEL, 2002.

ALVARENGA, Carlos Alberto. **Energia Solar**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2001.

ALVES, Guilherme Henrique. **Projeto e análise da viabilidade econômica da instalação de painéis fotovoltaicos no setor industrial**. 2016. 106f. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica, da Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2016.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 abr. 2012.

BLUESOL. **Energia Solar: Como Funciona? – O Efeito Fotovoltaico**, disponível em <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-o-efeito-fotovoltaico/>>, publicado em 23 de dezembro de 2011, último acesso em 15 de Maio de 2019.

BRADESCO, Banco. **CDC Energia Fotovoltaica: A luz do sol gerando energia e economia para sua empresa**. Disponível em: <<https://banco.bradesco/html/pessoajuridica/solucoes-integradas/emprestimo-e-financiamento/cdc-energia-fotovoltaica.shtm>>. Acesso em: 01 abr. 2019.

BRAGA, R. P.; **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações** 2008. Monografia apresentada ao Curso de Engenheiro Eletricista da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CARNEIRO, Joaquim. **Módulos fotovoltaicos - característicos e associações**. Universidade do Minho. Escola de Ciências - Departamento de Física. Campus de Azurém, Portugal, 2010.

CAMPOS, Henrique Marin van Der Broocke. **Geração distribuída de energia solar fotovoltaica na matriz elétrica de Curitiba e região: um estudo de caso**. 2016. 162 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

CORONA SOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica**, disponível em <<http://www.coronasolar.com.br/>>, publicado em 2017, último acesso em 22 de maio de 2019.

CRESESB; **Energia Solar: princípios e aplicações**. Rio de Janeiro, 2006.

DASSI, Jonatan Antonio; ZANIN, Antonio; BAGATINI, Fabiano Marcos. **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de**

Ensino Superior do Sul do Brasil. 2015. 16 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Instituição de Ensino Superior de Santa Catarina, Foz do Iguaçu, 2015.

EP, Empresa de Pesquisa Energética -. **Balanco Energético Nacional 2018:** Relatório Síntese ano base 2017. 2018. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <file:///C:/Users/ferna/Desktop/TCC/ARTIGOS/Relatório%20Síntese%202018-ab%202017vff.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2019.

GONÇALVES, Daniel de Almeida Silva. **Energia solar fotovoltaica para alimentação de uma estação elevatória de água.** 2014. 157 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Umc - Universidade de Mogi das Cruzes, São Paulo, 2014.

KRINAT SOLAR. **A importância das ligações série e paralelo entre os módulos,** disponível em <<https://krinatsolar.com.br/ligacoes-serie-e-paralelo-entre-os-modulos/>>, publicado em 04 de outubro de 2017, último acesso em 24 de maio de 2019.

NACIONAL, Jornal; IPEA. **Em 2 anos, painéis de energia solar no Brasil crescem de 7 mil para 49 mil:** São 80 milhões de brasileiros abastecidos pelo vento. Estudo do Ipea afirma que o país está cumprindo a meta da ONU de investir mais em fontes limpas e renováveis até 2033. Disponível em: <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2019/05/06/em-2-anos-paineis-de-energia-solar-no-brasil-crescem-de-7-mil-para-49-mil.ghtml>>. Acesso em: 06 maio 2019.

NEOSOLAR. **Sistema isolados - off-grid,** disponível em <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-isolados-off-grid>>, publicado em 2015, último acesso em 24 de maio de 2019.

NOGUEIRA, Paula Comarella. **Estudo de viabilidade econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia do rio de janeiro: um estudo de caso.** 2016. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

OLIVEIRA, S. H. F. **Geração Distribuída de Eletricidade: inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo.** São Paulo, 2002.

PINHO, Joao Tavares et al. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014. 530 p.

ROSS, Stephen A.; WESTERFIELD, Randolph W.; JORDAN, Brandford D. **Princípios de administração financeira**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

RUTHER, R. **Instalações solares fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e Interligadas à rede elétrica pública**. Florianópolis, 2000.

SOLAR BRASIL. **Sistema de Geração distribuída – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*on grid / grid tie*)**, disponível em < <http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/158-sistema-de-geracao-distribuida-sistemas-fotovoltaicos-conectado-a-rede-on-grid-grid-tie>>, publicado em 2016, último acesso em 26 de maio de 2019.

SANTOS, Fabrício Almeida; SOUZA, Carlos Alberto de; DALFIOR, Vanda Aparecida Oliveira. **ENERGIA SOLAR: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG**. 2015. 14 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Fumec, Ipatinga, 2015.

VALLÊRA, Antonio M.; BRITO, Miguel Centeno. **Meio século de história fotovoltaica**. Gazeta de Física, Lisboa, 2006.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede**. Editora Érica, 2012. ANEEL.

