

ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO EFEITO FOTOVOLTAICO

Gabriel Sopran Rocha

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(gabrielsopranrocha@gmail.com)*

Odiney Silva Rodrigues

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(odiney@gmail.com)*

Eduardo Martins Toletto

*Professor Mestre do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(eduardomtoledo@gmail.com)*

Leandro Daniel Porfiro

*Professor Doutor, Bacharelado em Física, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(fisicoleandro@yahoo.com.br)*

RESUMO

O crescimento constante do consumo de energia elétrica na sociedade faz com que ocorra a busca por novas fontes de sua produção, e associadas a preocupação com a preservação do meio ambiente faz com que a fontes de energia sustentável ganhem cada vez mais espaço no mercado. O aproveitamento da luz solar para a geração de energia elétrica é uma delas, esse processo ocorre através dos sistemas fotovoltaicos. O Brasil é um país muito propício para o aproveitamento da luz solar, pois recebe altas taxas de incidência solar durante todo ano, mas apenas uma pequena parte de sua matriz energética é formada por sistemas fotovoltaicos. Mas o país apresenta um cenário otimista de crescimento desse tipo de tecnologia: o desenvolvimento de módulos solares, que vem apresentando melhor rendimento, os incentivos governamentais, e a diminuição dos custos desses sistemas trouxeram uma boa projeção de crescimento. Muitos ainda não sabem o quão rentável um sistema fotovoltaico pode ser, por isso acabam optando pela não instalação do mesmo, mas o sistema é muito viável. Através deste estudo mostramos a viabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, utilizando como local de estudo uma edificação localizada na cidade de Goiânia, o resultado foi muito satisfatório, pois com nossa análise constatamos que o sistema se custearia em cerca de quatro anos, e fica ativo por cerca de vinte e cinco anos com custos de manutenção muitos baixos, trazendo um retorno financeiro de cerca de seis vezes o valor investido no sistema

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar. Sistemas Fotovoltaicos. Fontes Renováveis. Radiação Solar. Potência de Sistemas Fotovoltaicos.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação da sociedade com o meio ambiente tem crescido com o passar dos anos, o combate a agentes poluentes se tornou um grande desafio, um deles é a queima de combustíveis fósseis para a geração de energia, dentre outros. Isso fez com que a preocupação com a pesquisa e desenvolvimento de fontes de energia alternativa ganhasse destaque na sociedade, sendo uma delas a geração de energia fotovoltaica.

A radiação solar é uma fonte energética totalmente limpa, a energia que o sol irradia sobre a terra chega a ser maior que a demanda dos habitantes do planeta (VILLALVA, 2012). Essa energia pode ser convertida em eletricidade através dos painéis solares, que quando expostos à luz solar provocam a movimentação dos elétrons gerando eletricidade.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) no ano de 2019 a energia solar no Brasil deve ter um aumento de sua capacidade em cerca de 44%, grande parte desse crescimento se deve à chamada Geração Distribuída (GD), que é um sistema no qual o consumidor se torna um micro gerador de energia. Este modelo de geração de energia tem sido mais acessível financeiramente e têm atraído diversos setores da sociedade inclusive faculdades. A grande vantagem é que este tipo de sistema se autossustenta e ainda contribui com a geração de energia para o município onde estiver instalado.

Portanto o trabalho busca discutir a viabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, tal como seu retorno financeiro.

2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

No ano de 1839 o efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez por Alexandre Edmund Becquerel. Ele percebeu que uma pequena diferença de potencial era gerada quando placas metálicas, de platina ou prata, estavam mergulhadas em um eletrólito, eram expostas a luz. No início a energia solar era vista como algo futurista, como possuía um alto custo inicial, seu uso era restrito para cientistas e suas pesquisas, não acreditando que a mesma seria utilizada de maneira geral (SOLAR, 2018).

2.1 CELULA FOTOVOLTAICA

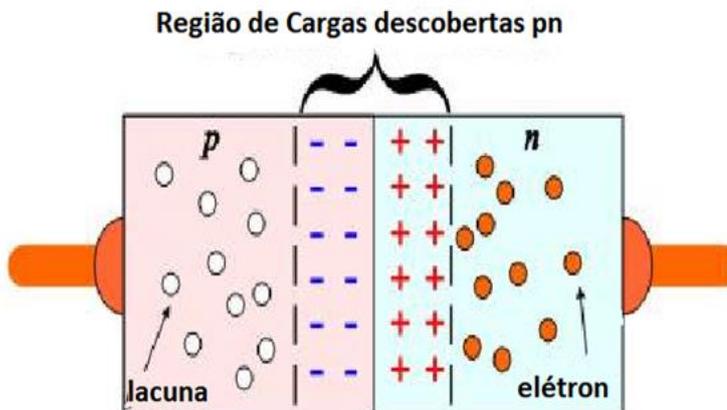
A primeira célula fotovoltaica moderna começou em 1953, quando o químico Calvin Fuller utilizou uma baixa concentração de gálio para criar uma barra de silício dopada, o que fez com que ela se tornasse um condutor, que é chamado de silício “tipo p”, pois suas cargas móveis são positivas. Gerald Person, orientado por Fuller, mergulhou a barra criada em um banho quente de lítio, isso fez com que a barra possuísse em sua superfície uma zona com excesso de elétrons, que é chamado silício “tipo n”. Quando o silício desses dois tipos entra em contato ocorre o surgimento de um campo elétrico permanente na região, esse contato se denomina “junção p-n”. Pearson verificou que uma corrente elétrica era formada quando a amostra era exposta a luz (RODRIGUES, 2015).

As células fotovoltaicas através do efeito fotovoltaico são as responsáveis por transformar em energia elétrica a energia emanada pela radiação solar, as células são produzidas com material semicondutor, sendo a grande maioria feita com silício, este que passa por um processo de dopagem para obter dois tipos de materiais, um deles é eletricamente positivo, o silício tipo P, geralmente dopada com Boro (B), e um material com cargas negativas, o silício tipo N, geralmente dopada com Fósforo (P) (NASCIMENTO, 2004).

A junção dos materiais tipo P-N, criam um campo elétrico, quando a luz solar incide sobre a célula fotovoltaica, o silício se torna um condutor, pois os fótons são absorvidos

pelos elétrons e ganham energia de cinética e são acelerados devido ao campo elétrico formado na junção P-N, os elétrons são orientados a ir da camada “P” para a “N”; conforme Figura 1. Com o auxílio de condutores elétricos as duas camadas são ligadas, e assim é gerada uma corrente elétrica, que aumenta conforme a intensidade da luz solar sobre a célula e se mantém enquanto houver incidência do sol (NASCIMENTO, 2004).

Figura 1 – Região pn de um semiconductor de silício



2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas Fotovoltaicos podem ser classificados em dois modos: o isolado, que não estão integrados à rede e os conectados, que estão integrados à rede.

2.1.1 Sistema fotovoltaico isolado

Os sistemas fotovoltaicos isolados (SFI) ou *off-grid* (desconectados da rede), como também são conhecidos, é o sistema no qual, como o próprio nome já diz, funciona isolado da rede elétrica, utilizando baterias para armazenar a energia elétrica produzida (NEOSOLAR, 2018).

O funcionamento desse tipo de sistema ocorre da seguinte forma, o painel solar gera a energia elétrica, que passa por um controlador de carga antes de chegar à bateria, a carga passa da bateria para um inversor, após esse processo os equipamentos eletroeletrônicos poderão ser alimentados pelo sistema.

2.1.2 Sistema fotovoltaico conectado à rede

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR), são aqueles que como o nome já diz tem seu trabalho juntamente com a rede elétrica, ou seja, a energia produzida é enviada ao inversor e posteriormente enviada a rede elétrica. Enquanto seu sistema está produzindo mais energia do que consome, o que seria o caso em períodos diurnos, seu sistema estará fornecendo energia a rede elétrica, em função disso a energia excedente produzida pelo sistema será um crédito que será consumido nos momentos que não houver produção pelo sistema, ou que esta produção seja menos que o consumo (RUTHER, 2004).

Para esse tipo de sistema deve ser utilizado um medidor bidirecional que é capaz de ler a energia consumida e injetada no sistema, a instalação desse equipamento é feita pela própria distribuidora de energia.

Ou seja, o consumidor também se torna um micro produtor de energia.

2.2.3 Comparação entre os tipos de sistemas fotovoltaicos

A tabela 1 irá mostrar as principais diferenças entre os sistemas fotovoltaicos conectados à rede e os sistemas fotovoltaicos isolados.

Quadro 1 - Comparação Sistemas Fotovoltaicos	
Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede	
Vantagens	Desvantagens
Custo reduzido	Não é completamente independente
Dispensa a utilização de baterias e sistema de cargas	
Mais eficiência	
Projeto mais equilibrado	
Sistema de compensação de créditos	Pagamento do custo de disponibilidade (o mínimo pelo uso da rede)
Possibilidade de utilizar os créditos em outra unidade consumidora do mesmo proprietário	
Tem os riscos técnicos reduzidos por contar com a rede da Distribuidora	
Sistema Fotovoltaico Isolado	
Vantagens	Desvantagens
Pode ser utilizado em regiões remotas	Custo mais elevado
Possui sistema de armazenamento de energia	Menos eficiente
Não há custo de disponibilidade	Depende de baterias e sistemas de carga

Fonte: Portal Solar, 2019.

2.3 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Alguns exemplos desses componentes são os módulos fotovoltaicos, a estrutura que irá receber os painéis, a fiação, os inversores, baterias para sistemas que não são ligados à rede.

2.3.1 Módulos fotovoltaicos

O componente mais importante de um sistema fotovoltaico é o painel fotovoltaico. Esse é o componente responsável por gerar energia elétrica através da radiação solar. Os painéis fotovoltaicos ou módulos fotovoltaicos, como também são conhecidos, são formados por várias células que sozinhas tem uma baixa capacidade de gerar energia (VILLALVA, 2015). O fator que irá determinar a tensão em corrente contínua (CC) de operação do sistema é o número de painéis que estarão conectados entre si (RÜTHER, 2014).

Para a montagem de um painel solar, se utiliza uma fina faixa condutora, que liga uma célula fotovoltaica na outra, as tiras são feitas de modo a formar um circuito elétrico. Então um vidro temperado e tratado com substâncias antirreflexos e antiaderentes cobrem a série de células formadas. Na parte inferior do módulo fotovoltaico são colocados dois condutores, que se originam da caixa de junção e servem para ligar um módulo em outro, formando assim uma série (PORTAL SOLAR, 2017).

2.3.2 Inversores

O inversor é um componente que é responsável por converter a corrente CC, que é produzida pelos painéis fotovoltaicos, para CA, que é a fornecida pela rede elétrica e

consequentemente possibilitar o funcionamento dos eletrodomésticos que trabalham nessa tensão (VILLALVA, 2012).

Os inversores podem ser *off-grid* (desconectado da rede), que são aqueles usados em sistemas fotovoltaicos autônomos, ou *grid-tie* (conectado à rede) que são os mais utilizados no mundo que são usados em conjunto com a rede elétrica, caso haja uma queda na rede elétrica esse tipo de inversor vem a cair (PORTAL SOLAR, 2017).

2.3.3 Controladores de carga

A função das baterias vai além de apenas armazenar a carga para o consumo quando não existe a produção de energia fotovoltaica, ela também é necessária para estabilizar a tensão que será enviada ao inversor e aos equipamentos que serão alimentados pelo sistema, mantendo constante, isso ocorre porque a tensão produzida pelos módulos fotovoltaicos não é constante. Logo os controladores de carga são utilizados de forma obrigatória nos sistemas fotovoltaicos que utilizam baterias, pois contribuem para a preservação da vida útil da bateria, pois ele é responsável por desconectar a bateria dos painéis fotovoltaicos quando ela atinge sua capacidade máxima, evitando sobrecargas que eventualmente podem até culminar em explosões, ele também evita que haja uma descarga excessiva da bateria fazendo com que ela se desconecte do consumo quando sua carga atingir um nível crítico (VILLALVA, 2012).

3 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O Brasil apresenta no momento um cenário ideal para implementação de novas fontes energéticas; isso devido principalmente ao tradicional modelo de geração de energia, que se utiliza basicamente de hidrelétricas e termoeletricas, não estar suprimindo a demanda crescente por eletricidade da sociedade brasileira; ocasionando em aumentos nas tarifas de energia elétrica, que servem para manter os grandes empreendimentos do atual modelo.

Para complementar a geração de eletricidade no Brasil, a energia solar fotovoltaica representa uma ótima alternativa, porque o país que recebe uma alta taxa de irradiação solar, entretanto segundo o Banco de Informações de Geração, até fevereiro de 2019, apenas cerca de 1,2% do total da matriz energética do Brasil é produzida por sistemas fotovoltaicos, o que equivale a pouco mais de 2 GW de potência instalada.

Porém o mercado de energia solar no Brasil vem se desenvolvendo muito, e estima-se um crescimento de 1,7 GW de potência instalada em poucos anos. Esses valores somados incluem empreendimentos que estão em construção e outros que ainda não tiveram início, mas serão construídos (ANEEL, 2019).

Contudo a geração de energia fotovoltaica somente ganhou força no Brasil a partir de 2012, quando foi estabelecida a Resolução Normativa Nº 482 da ANEEL, que dispõe sobre o acesso de microgeração e minigeração de energia e do sistema de compensação de energia elétrica; tal resolução despertou o interesse da sociedade, visto que, pode-se gerar a energia elétrica necessária para suprir as necessidades de uma empresa, condomínio, residência dentre outros; e o excedente de energia gerada ser redirecionada a rede elétrica da concessionária que atende a região, para que ocorra a compensação de créditos. Este sistema de compensação é conhecido mundialmente como *net-metering*; por ser o primeiro ato regulatório é considerado o marco da geração solar no Brasil.

O Potencial Brasileiro para a energia fotovoltaica é enorme; há durante todo o ano, condições climáticas que conferem um regime estável de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar. A irradiação média brasileira varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano, bem acima da média da Europa, havendo no mundo regiões com valores

acima de 3.000, como Austrália, norte e sul da África, Oriente Médio, parte da Ásia Central, parte da Índia, sudoeste dos Estados Unidos, além de México, Chile e Peru. (MME, 2017).

A irradiação horizontal global é a irradiância total do sol em uma superfície horizontal na terra, ela é a soma da irradiação direta (que incide sobre a Terra sem espalhamento pela atmosfera) e a irradiação horizontal difusa (radiação na superfície da Terra proveniente da luz espalhada no ambiente; sendo estes dois tipos de irradiação direta e difusa convertidas em energia pelos painéis fotovoltaicos (ENERGIA SOLAR, 2019).

No Brasil a Região Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação solar global, com maior média e menor variabilidade anual, os valores máximos de irradiação solar são observados na região central da Bahia com 6,5 kWh/m²/dia, incluindo parcialmente o noroeste de Minas Gerais (MME, 2017).

4 ESTUDO DE CASO

O Sistema Solar Fotovoltaico pode alimentar não apenas apartamentos e compartimentos comerciais, mas também as áreas comuns de um edifício. O recurso faz toda diferença em questões financeiras em relação aos envolvidos, pois seus custos são devidamente divididos e a economia de energia impacta a conta mensal de cada um individualmente (NOVOMUNDOADM, 2018).

Neste capítulo será apresentado a implementação de um sistema fotovoltaico em um edifício localizado na cidade de Goiânia, analisando sua localização, consumo de energia através da conta da unidade consumidora, e observando suas características para observar questões como sombreamento.

4.1 ANÁLISE DO EMPREENDIMENTO

Para garantir a identidade do empreendimento, neste trabalho ele será chamado de EFH. Este edifício está localizado na Avenida T-4, e ocupa uma área de dois lotes, no Setor Bueno, Goiânia-GO; o edifício é composto por uma torre de 29 pavimentos, sendo subsolo, térreo, mezanino e 26 pavimentos Tipo, com área de terreno de 2.180,00 m² e área total construída de 17.044,39 m², contando com 156 unidades residenciais.

Goiânia localizada na região central do Brasil, com clima predominante tropical com estação seca, estando numa região de alta altitude, 760 metros, com temperatura amena durante todo o ano, variando em média de 18,1 °C a 32,3 °C sendo a média anual de 24,1 °C (CIDADE-BRASIL, 2018). A cidade possui uma população estimada em 1.516.113 pessoas (IBGE, 2019); e está a 174 km da capital nacional Brasília (CIDADE-BRASIL, 2018).

Figura 2 – Localização Geográfica



Fonte: Google Maps, 2019.

Foi utilizado o Google Maps para buscar informações geográficas do local do empreendimento (Figura 2); nota-se que como o empreendimento é novo, sua construção foi iniciada em agosto de 2014 e finalizado em julho de 2018, na imagem apresentada o mesmo está na fase de fundação da construção.

A seguir é demonstrada imagem aérea da cobertura do condomínio (Figura 3), que é a área de interesse deste estudo de caso.

Figura 3 – Cobertura do Edifício



Fonte: Época Construtora, 2019.

4.2 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A demanda de energia elétrica, juntamente com o recurso solar disponível no local, que irão determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para suprir o consumo do estabelecimento desejado, serão utilizados os dados da unidade consumidora para obter o histórico de consumo, disponibilizados pela ENEL.

Através das informações obtidas pela ENEL faremos uma média para obter a quantidade de energia elétrica que o sistema fotovoltaico deverá gerar, seria ideal utilizar uma média do consumo durante um ano completo, porém em nosso caso o empreendimento ainda não era habitado, por isso serão utilizados como referências os meses de maio a setembro.

Analisando o consumo entre os meses de maio a setembro obtivemos um consumo médio mensal de 7432 kWh, porém existe um custo de disponibilidade da rede elétrica que mesmo que o sistema produza energia suficiente para suprir toda demanda do estabelecimento esse valor mínimo será cobrado, esse custo é baseado no tipo de rede disponível do estabelecimento, conforme indicado na tabela 1.

Tabela 1 - Comparação Sistemas Fotovoltaicos

Tipo de Ligação	Custo de Disponibilidade
Monofásico	30 kWh/mês
Bifásico	50 kWh/mês
Trifásico	100 kWh/mês

Fonte: ANEEL, 2016.

Com base nos dados obtidos na unidade consumidora podemos ver que o tipo de ligação de rede elétrica é trifásico, então para encontrar o valor que o sistema deve produzir devemos subtrair o custo disponibilidade pelo consumo médio mensal:

$$GTM = CM - CD \quad (1)$$

$$GTM = 7432 - 100 \quad (2)$$

$$GTM = 7332 \text{ kWh} \quad (3)$$

Onde:

- GTM: Geração total mensal;
- CM: Consumo médio mensal;
- CD: Custo de disponibilidade;

Após encontramos a quantidade de energia elétrica que o sistema deve produzir mensalmente, vamos encontrar o consumo diário, para fazer isso basta dividir o valor de geração total mensal:

$$C_d = \frac{GTM}{30} \quad (4)$$

$$C_d = \frac{7332}{30} \quad (5)$$

$$C_d = 244,5 \text{ kWh/dia} \quad (6)$$

Onde:

- Cd: Consumo diária;
- GTM: Geração total mensal;

O valor do consumo diário representa a quantidade de energia que o prédio consome em um dia.

4.3 INCIDÊNCIA SOLAR LOCAL

Com as coordenadas retiradas do Google Maps foi realizada a pesquisa no sistema Global Solar Atlas, obtendo-se o valor da irradiação solar no plano horizontal, no valor de 5.518 kWh/m² por dia, este valor será utilizado nos próximos cálculos.

Como a irradiação solar sofre alterações ao longo de um dia existe uma grandeza chamada Horas de Sol Pleno (HSP), que nada mais é um intervalo de tempo em que se considera que a irradiação solar se mantém constante no valor de 1 kW/m² (SIQUEIRA, 2015). Esse valor pode ser encontrado dividindo a irradiação diária no local de estudo por 1 kW/m².

$$HSP = \frac{5.518}{1} \quad (7)$$

$$HPS = 5,518 \text{ h/dia} \quad (8)$$

Onde:

- HSP: Horas de Sol Pleno;

Após identificados a consumo diário que o sistema necessita produzir para alimentar o estabelecimento, devemos encontrar a potência pico que o sistema deve produzir. Para isso devemos fazer a divisão do consumo diário pelo HSP:

$$P_p = \frac{C_d}{HSP} \quad (9)$$

$$P_p = \frac{244,5}{5,518} \quad (10)$$

$$P_p = 44,31 \text{ kWp} \quad (11)$$

Onde:

- Pp: Potência Pico;
- Cd: Consumo Diário;
- HSP: Horas de Sol Pleno;

Portanto para alimentar o estabelecimento o sistema deve ter uma potência pico de 44,31 kWp.

4.4 ESCOLHA DO PAINEL FOTOVOLTAICO

A escolha de um bom painel fotovoltaico é muito importante e vários fatores devem ser observados ao fazer escolha, é necessário observar a ficha técnica do material para o observar suas características e funcionalidades, observando questões como eficiência, custo benefício relacionado a sua capacidade de carga e ao valor do produto, garantia dada pelo fabricante, tanto em questões de defeitos, quanto na perda de carga que o painel tem no decorrer no anos, seu coeficiente de temperatura, que nada mais é de como o painel se comporta em temperaturas elevadas. E claro sempre escolher um bom fornecedor, buscando informações com quem já adquiriu seus produtos (PORTAL SOLAR, 2019).

Para este estudo foi escolhido o módulo solar Q. Power L-G5 335W (335Wp) da empresa QCELLS.

Para encontrar a quantidade de painéis solares necessários para alimentar o prédio devemos dividir a potência pico que encontramos pela potência pico do modulo fotovoltaico:

$$N = \frac{P_p}{Wp} \quad (12)$$

$$N = \frac{44310}{335} \quad (13)$$

$$N = 132,3 \cong 133 \text{ módulos} \quad (14)$$

Onde:

- N: Número de módulos fotovoltaicos;
- Pp: Potência pico que o sistema necessita;
- Wp: Potência pico do modulo fotovoltaico;

Portanto com os cálculos realizados verificou-se que a necessidade de cerca de 133 módulos solares para alimentar o prédio, como cada módulo do modelo selecionado possui dimensões de 1960 mm x 991 mm, com isso verificamos que os módulos ocupariam uma área total de 258,33 m², o que se tornou um problema pois ao analisarmos o estabelecimento verificamos que o prédio é muito afetado por sombreamento em grande parte do dia. Até mesmo a região da cobertura é afetada por conta do reservatório, diminuindo muito a área útil para o melhor desempenho dos painéis.

Com o auxílio do Suns Earth Tools, que é um site que disponibiliza ferramentas para a área da energia solar, podemos verificar como o sol atinge a edificação durante o dia, para escolher o melhor local para o posicionamento dos painéis solares. O posicionamento do sol em relação a edificação pode ser observado na Figura 4.

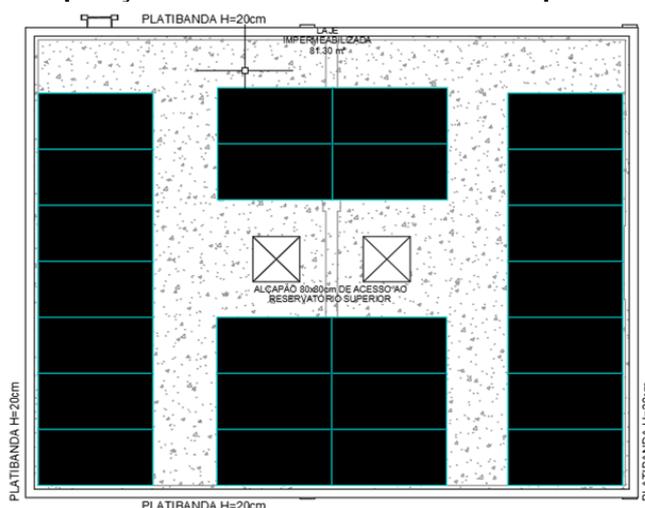
Figura 4 – Cobertura do Edifício



Fonte: Suns Earth Tools, 2019.

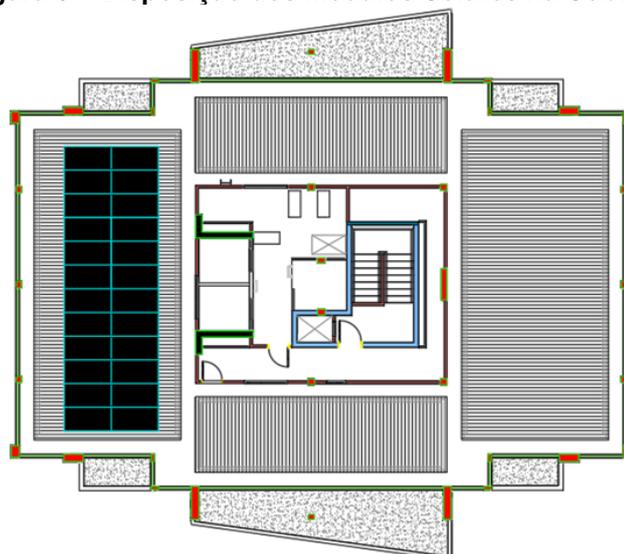
Com isso verificou-se a área propícia a instalação seria de cerca de 160 m², optou-se então pela utilização de 48 módulos solares, que iriam ocupar uma área de 93,23 m², que ficariam dispostos conforme as Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Disposição dos Módulos Solares na Tampa do Reservatório



Fonte: Autores.

Figura 6 – Disposição dos Módulos Solares na Cobertura



Fonte: Autores.

Para o melhor aproveitamento dos raios solares os painéis fotovoltaicos devem ser posicionados de forma que eles recebam a luz solar da forma mais perpendicular possível, esse posicionamento depende da latitude do local de instalação, no caso de Goiânia o melhor posicionamento é com uma inclinação 16° voltados para o norte geográfico (PORTAL SOLAR, 2018). Com isso os módulos que serão instalados sobre a laje terão essa inclinação de 16° , enquanto os instalados sobre as telhas seguirão sua inclinação de 10%.

4.5 KIT DE ENERGIA SOLAR

Muitas vezes um fator que impede a instalação de sistemas de energia fotovoltaica são os altos valores de investimento, porém com o passar do tempo com os incentivos na área os valores estão caindo e aparecendo novas formas de adquirir seu sistema, um deles são os kits de energia solares, que nada mais são que um conjunto completo de um sistema solar que acabam saindo mais em conta, pelo fato dos fornecedores conseguirem dar maiores descontos no produto final. Esses Kits podem ser obtidos na loja virtual Atacado Solar, dentre outras lojas que também oferecem esse tipo de produto. Para este estudo utilizara-se um Kit (conforme Tabela 2) que corresponde a quantidade de módulos que desejamos implantar na edificação, tendo uma potência de 16,08 kWp.

Tabela 2 – Componentes do Kit Energia Solar

Componentes do Kit
48 x Painel Solar Fotovoltaico Q-Cells Q.Power L-G5 335W (335Wp)
1 x Inversor Trifásico Grid-tie Fronius Symo 12.0 – 220 V (12000 W) com módulo Wifi para monitoramento remoto
2 x Caixa de Proteção Fotovoltaico de Corrente Contínua Proauto Denh (3 entrada + 1 saída)
4 x Pares de Conectores tipo MC4 Multi-Contact (Macho + Fêmea)
150 metros de cabo solar 6mm ² Nexans Energyflex com proteção UV preto
150 metros de cabo solar 6mm ² Nexans Energyflex com proteção UV vermelho
Conjunto completo de estruturas de fixação para montagem dos painéis FV em telhado
Valor: R\$ 51.750,00

Fonte: Atacado Solar, 2019.

Agora será realizado um comparativo dos preços unitários dos componentes do kit de energia solar, para mostrar a compensação de adquiri-lo. Lembrando que todos os valores a seguir serão considerados preços reais encontrados em revendedores, e com os mesmos materiais, para que a comparação seja na mesma qualidade.

Existem outros custos para a implantação do sistema fotovoltaico que não estão inclusos no kit de energia solar, sendo eles: instalação, transporte, projeto elétrico e matérias elétricos complementares, para ter uma noção mais precisa destes valores, a empresa VOLTAX ENGENHARIA SUSTENTAVEL, apresentou as condições de instalação do sistema, referente ao kit, e informou que os custos adicionais dos itens acima geram uma despesa aproximada de R\$ 17.000,00. Portanto será utilizado este valor, tanto para compor o kit energia solar, quanto os preços a varejo.

Nas tabelas 3 e 4 estão dispostos o custo final tanto do kit de energia solar, quanto se fossemos comprar todos os produtos no varejo. Lembrando que os custos dos serviços que o kit de energia solar não contempla foram adicionados ao mesmo.

Tabela 3 – Valor Kit Energia Solar

Valor Final Estimado Kit Energia Solar	
Produto	Valor (R\$)
KIT ENERGIA SOLAR	51.750,00
Estrutura de fixação em lajes	5.760,00
Custos Adicionais	17.000,00
Total	74.510,00

Fonte: Autores.

Tabela 4 – Valor Produtos no Varejo

Valor Final Estimados Instalação a Varejo	
Produto	Valor(R\$)
Módulos Fotovoltaicos	43.092,00
Inversor	19.210,00
String Box	2.302,96
Cabos Solares	3.000,00
Conectores	72,04
Estrutura de fixação para telhado	2.100,00
Estrutura de fixação para laje	5.760,00
Custos Adicionais	17.000,00
Total	92.537,00

Fonte: Autores.

Como pode-se observar existe uma diferença considerável na aquisição do kit de energia solar completo, essa diferença chega a ser de um pouco mais de 19%.

4.6 PRODUÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Como já foi definido a quantidade de placas solares que serão utilizadas no sistema, e como verifica-se que será possível abater apenas parte da quantidade de energia consumida pelo estabelecimento, vamos calcular a quantidade estimada que o sistema deverá produzir, utilizando os dados já apresentados anteriormente de irradiação e com as placas a serem utilizadas.

Para chegar a um valor mais próximo da produção desejada do sistema fotovoltaico temos que considerar as possíveis perdas que podem ocorrer no sistema. Para o cálculo da produtividade de nosso sistema será considerado as perdas propostas por MIRANDA, 2014, que estão estimadas em 18%.

Para calcular a produção do sistema utilizaremos a seguinte fórmula:

$$Pm = \frac{N * Wp * HSP * (1 - P) * 30}{1000} \quad (15)$$

$$Pm = \frac{48 * 335 * 5,518 * (1 - 0,18) * 30}{1000} \quad (16)$$

$$Pm = 2185,5 \frac{kWh}{mês} \quad (17)$$

Onde:

- Pm: Potência estimada de geração;
- N: Número de Módulos Solares;
- HSP: Horas de Sol Pleno;
- P: Perdas do sistema;
- 30: Considerando 30 dias no mês;
- 1000: Fator de conversão para kW;

4.7 RETORNO FINANCEIRO

Quando um investimento desse gênero é feito, além dos benefícios ambientais que o sistema fotovoltaico traz, por gerar energia limpa, a grande questão que o consumidor deseja saber é quando esse sistema irá trazer de retorno para ele. Para calcular esse retorno serão utilizados os valores das tarifas atuais.

Outro fator que deve ser levado em consideração é a perda de produção dos módulos, que segundo a QCELLS, fabricante dos módulos escolhidos, seu produto teria uma perda crítica de 0,7% anualmente, até um total de 25 anos, onde as placas começam a ter uma perda considerável em sua capacidade geradora, consideraremos esse valor para realizar os cálculos.

Os cálculos serão realizados da seguinte forma, utilizaremos o valor de energia produzido anualmente, multiplicados pelo valor da fatura, subtraindo o valor economizado anualmente pelo valor investido, para saber em quanto tempo o investimento seria pago, e continuar até um total de 25 anos, onde seria recomendado a troca dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 5 – Retorno Financeiro Kit Energia Solar

Ano	Produção Anual (kWh)	Tarifa (kWh)	Economia Anual	Valor Total do Sistema	Fluxo de Caixa
1	26226	0,86938	R\$ 22.800,36	74.510,00	-R\$ 51.709,64
2	26042,418	0,86938	R\$ 22.640,76		-R\$ 29.068,88
3	25860,12107	0,86938	R\$ 22.482,27		-R\$ 6.586,61
4	25679,10023	0,86938	R\$ 22.324,90		R\$ 15.738,29
5	25499,34652	0,86938	R\$ 22.168,62		R\$ 37.906,91
6	25320,8511	0,86938	R\$ 22.013,44		R\$ 59.920,35
7	25143,60514	0,86938	R\$ 21.859,35		R\$ 81.779,70
8	24967,59991	0,86938	R\$ 21.706,33		R\$ 103.486,03
9	24792,82671	0,86938	R\$ 21.554,39		R\$ 125.040,42
10	24619,27692	0,86938	R\$ 21.403,51		R\$ 146.443,92
11	24446,94198	0,86938	R\$ 21.253,68		R\$ 167.697,61
12	24275,81339	0,86938	R\$ 21.104,91		R\$ 188.802,51
13	24105,88269	0,86938	R\$ 20.957,17		R\$ 209.759,68
14	23937,14151	0,86938	R\$ 20.810,47		R\$ 230.570,16
15	23769,58152	0,86938	R\$ 20.664,80		R\$ 251.234,96
16	23603,19445	0,86938	R\$ 20.520,15		R\$ 271.755,10
17	23437,97209	0,86938	R\$ 20.376,50		R\$ 292.131,60
18	23273,90629	0,86938	R\$ 20.233,87		R\$ 312.365,47
19	23110,98894	0,86938	R\$ 20.092,23		R\$ 332.457,70
20	22949,21202	0,86938	R\$ 19.951,59		R\$ 352.409,29
21	22788,56754	0,86938	R\$ 19.811,92		R\$ 372.221,22
22	22629,04756	0,86938	R\$ 19.673,24		R\$ 391.894,46
23	22470,64423	0,86938	R\$ 19.535,53		R\$ 411.429,99
24	22313,34972	0,86938	R\$ 19.398,78		R\$ 430.828,77
25	22157,15627	0,86938	R\$ 19.262,99		R\$ 450.091,75

Fonte: Autores.

Através da Tabela 5 podemos observar o que o sistema é bastante viável, mesmo que a quantidade de energia elétrica produzida abata apenas uma parte do consumo do prédio, ele irá se custear em menos de quatro anos, e no final dos vinte e cinco anos, tempo que há a garantia da garantia linear de desempenho dos módulos, o sistema irá gerar de retorno financeiro um valor de R\$ 450.091,75.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas fotovoltaicos no Brasil ainda são pouco utilizados, porém se comparado a anos anteriores há uma boa projeção de crescimento, que se deve aos incentivos governamentais que fizeram com que esse tipo de investimento se tornasse mais atrativo, e o desenvolvimento da tecnologia fez com que os equipamentos desses sistemas tivessem preços mais acessíveis.

O intuito inicial, desse estudo era de analisar a viabilidade de um sistema fotovoltaico que fosse capaz de suprir todo consumo da área comum do prédio. Porém como mostrado no decorrer do estudo, a edificação não comportaria a quantidade suficiente de painéis solares necessários para isso, pois os locais onde os painéis poderiam ser instalados seriam muito afetados por sombreamento, uma maneira de solucionar isso seria a utilização da fachada voltada para o norte, para se instalar mais módulos solares, porém nem todos os moradores estariam satisfeitos com a modificação estética do prédio. Poderiam também ser feitas estruturas metálicas a fim de evitar as áreas atingidas por sombreamento, mas em contrapartida o custo do sistema teria um aumento considerável, que não foi considerado nesse estudo.

Contudo, acredita-se que estudos dessa natureza poderão contribuir com a discussão em torno da temática da energia fotovoltaica, bem como auxiliar aos profissionais da área sobre os conhecimentos básicos para se empreender neste setor.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Infográfico Absolar**. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa n. 482 de 17 de abril de 2012**. Estabelece 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, e dá outras providências.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota Técnica Nº 0056 - Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024**. SRD/ANEEL. 2017.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração distribuída solar fotovoltaica: Benefícios líquidos ao Brasil**. Seminário Internacional de Micro e Minigeração Distribuída. Brasília (DF). 20/06/2018.

AMAZONAS ECO SOLAR. **Energia solar: Autoconsumo remoto**. Disponível em: <<https://medium.com/@amazonasecosolar/energia-solar-autoconsumo-remoto>>.

AMBIENTE BRASIL. **Histórico das células fotovoltaicas e a evolução da utilização de energia solar**. Disponível em <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/historico_das_celulas_foto_voltaicas_e_a_evolucao_da_utilizacao_de_energia_solar.html >

ATACADO SOLAR. **Kit Gerador de Energia Solar 16,08 kWp (220V)**. Disponível em: <<https://atacadosolar.com.br/loja/kits-energia-solar/kits-conectados-a-rede-gridtie/kit-gerador-de-energia-solar-13-20-kwp-380v-produc-o-de-ate-1813-kwh-mes-332.html>>.

BLOG SOLAR. **Incentivos Governamentais**. Disponível em: <<https://blog-solar.engie.com.br/incentivos-governamentais-energia-solar>>.

BLUESOL. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede ou isolados?**, 2017. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/diferenca-sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-e-isolados/>>.

BLUESOL. **Energia Solar em Goiânia**. 2018. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-goiania/>>.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **Energia Renovável**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-energia-renovavel>>.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Panorama das Cidades** Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama>>.

CIDADE BRASIL. **Município de Goiânia**. Disponível em < <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-goiania.html>>.

COUTURE, T.; GAGNON, Y. **An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment**. Energy Policy, v. 38, n. 2. Guildford: Elsevier, 2010.

IBGE. **Panorama das cidades**. < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama>>

IPUENERGY. **Painel Solar Fotovoltaico, uma invenção, uma revolução, da era moderna? Qual sua história?** Disponível em < <http://www.ipuenergy.com/painel-solar-fotovoltaico-uma-invencao-uma-revolucao-da-era-moderna-qual-sua-historia/>>

ENERGIA SOLAR. **Irradiação Solar**. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/radiacao-solar/irradiacao-solar>>.

FERNANDES, ANTÔNIO DE ALMEIDA. **Desenvolvimento de um rastreador de baixo custo para sistemas de energia Fotovoltaicos**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Bahia. 2014.

GIMO, Daniel Berequeto. Blog Eletrobere. Disponível em: <<https://2.bp.blogspot.com/-PhQ8parlvyo/W9MkXNhbEZI/AAAAAAAAABcU/1kejqEih7CYIBF7ebqVWWzdhCaxoIWbSwCLcBGAs/s1600/bareira.jpg>>.

JUNIOR, JAIR URBANETZ. **Introdução a energia solar fotovoltaica e o SFVCR do escritório verde da UTFPR**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR; 2014.

LAMBERTS, ROBERTO. **Casa Eficiente: Consumo e geração de energia**. Editores: Roberto Lamberts... [et al.] – Florianópolis: UFSC / LabEEE; 2010.

LGL SOLAR. **Você conhece a historia da energia solar?**, 2018. Disponível em: <https://lgl solar.com.br/blog/energia-solar/voce-conhece-historia-da-energia-solar>.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Energia Solar no Brasil e no Mundo**. 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>>.

NASCIMENTO, Cássio Araújo. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Curso de Pós-Graduação em Fontes Alternativas de Energia. Lavras, 2004.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar e seus componentes**, 2018. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>.

NOVOMUNDOADM. **Como Funciona a energia solar em prédios e condomínios**, 2018 Disponível em: <<http://novomundoadm.com.br/blog/2018/05/14/como-funciona-a-energia-solar-em-predios-e-condominios>>.

PINHO; GALDINO, JOÃO TAVARES; MARCO ANTONIO. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Cepel – Cresesb, 2014.

PORTAL SOLAR. **Como Funciona o Painel Fotovoltaico-Placas Fotovoltaicas**. São Paulo - SP, 2017. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>>.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar em Goiânia**, 2015 Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar-nas-cidades/energia-solar-em-goiania--go.html>>.

PORTAL SOLAR. **A Melhor Direção do Painel Solar Fotovoltaico**. São Paulo - SP, 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solarfotovoltaico.html>.

QCELLS. **Painel Solar Q. Power L-G 335W**. Disponível em: <<https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto41114IdArquivo19040.pdf>>.

RODRIGUES, Douglas dos Anjos. **Análise de Viabilidade Econômica para instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede na região norte de Mato Grosso**. Universidade de Mato Grosso. 2015.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. Florianópolis. UFSC/LABSOLAR, 2004.

SILVA, R. M. **Energia Solar: dos incentivos aos desafios**. Texto para discussão nº 166. Brasília. Senado Federal, 2015.

SUN EARTH TOLLS. **Suns Position**, 2019. Disponível em: <https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt>.

VALLÊRA, ANTÔNIO M; BRITO, MIGUEL CENTENO. **Meio Século de História Fotovoltaica**. REVISTA GAZETA DA FÍSICA, v. 29, p. 10 - 15, 2006.

VEISSID, Nelson. **Energia solar e sua aplicação em Satélites**. SindCT, 2012.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.