



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO -CECAU**



KETHERYN ROCHA FERNANDES

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA DE MÁRMORE E GRANITO**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Ouro Preto, 2018

KETHERYN ROCHA FERNANDES

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA DE MÁRMORE E GRANITO**

**Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia de Controle e Automação da
Universidade Federal de Ouro Preto como
parte dos requisitos para a obtenção do Grau
de Engenheiro de controle e Automação**

Orientador: Profa Dra Karla Boaventura Pimenta Palmieri

Ouro Preto, 2018

Escola de Minas – UFOP

Julho/2018

F363e

Fernandes, Ketheryn Rocha.

Estudo de viabilidade da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma empresa de mármore e granito [manuscrito] / Ketheryn Rocha Fernandes. - 2018.

41f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Profa. MSc. Karla Boaventura Pimenta Palmieri.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Energia solar. 2. Energia - Fontes alternativas. 3. Geração de energia fotovoltaica. I. Palmieri, Karla Boaventura Pimenta. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 681.5

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

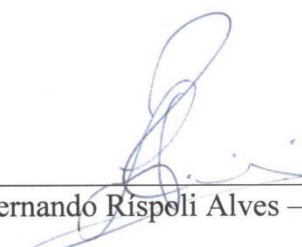
Monografia defendida e aprovada, em 12 de julho de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



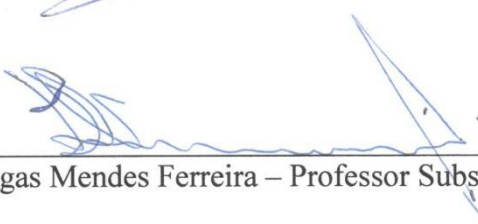
Prof.ª. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri - Orientadora



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Professor Convidado



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves – Professor Convidado



M.Sc. Diógenes Viegas Mendes Ferreira – Professor Substituto Convidado

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a oportunidade de estar aqui e me dado forças nos momentos difíceis.

A esta universidade e seu corpo docente que me proporcionaram um ótimo ensino.

A minha orientadora Karla Boaventura Pimenta Palmieri, que me incentivou e auxiliou, não somente nesse trabalho, mas em conselhos que levarei para a vida.

Aos meus pais, por sonharem junto comigo e me darem suporte durante todo esse tempo, me incentivando e me fazendo acreditar ser possível.

Ao meu noivo, que me apoiou em todo tempo, e tornou seu também esse sonho.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa jornada, meu muito obrigada.

RESUMO

O presente estudo tem por finalidade avaliar a viabilidade econômica da implantação de um sistema solar fotovoltaico para compensação da energia utilizada por uma empresa de polimento de chapas de mármore e granito, localizada na cidade de Atílio Vivácqua – ES. Essa possui um consumo mensal médio de 11,9 kWh. Tendo em vista o potencial gerador brasileiro e a maior acessibilidade a sistemas desse tipo nos últimos tempos, essa opção mostra-se cada vez mais uma solução atrativa e viável, tanto para consumidores comerciais quanto residenciais. Por meio de cálculos e dimensionamentos, foi possível chegar a uma estimativa de componentes e, portanto, chegou-se a um valor aproximado de R\$: 407.505,00. Levando em conta que a empresa só pagaria valores fixos de contratos com a concessionária, estima-se que o payback se daria em aproximadamente 4 anos.

Palavras chave: energia, sistema, solar, fotovoltaico.

ABSTRACT

The present study has the objective of evaluating the viability of the implantation of a photovoltaic solar system for the energy compensation by a company of polishing of marble and granite plates, located in the city of Atílio Vivácqua – ES. This one has an average monthly consumption of 11.9 kWh. Considering the potential Brazilian generator and the greater accessibility to systems of this type in recent times, this is increasingly an attractive and feasible solution for both commercial and residential consumers. By means of calculations and sizing, it was possible to estimate the components and, therefore, it reached an approximate value of R \$: 407,505.00. Considering that the company would only pay fixed amounts of contracts with the concessionaire, it is estimated that the payback would occur in approximately 4 years.

Keywords: Solar energy, system, photovoltaic, solar.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 Objetivos | 7 |
| 2 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA..... | 8 |
| 2.1 Módulo fotovoltaico de silício monocristalino..... | 9 |
| 2.2 Módulo fotovoltaico de silício policristalino..... | 9 |
| 2.3 Módulo fotovoltaico amorfo..... | 9 |
| 3 CENÁRIO MUNDIAL | 11 |
| 3.1 Cenário Brasileiro | 13 |
| 3.2 Potencial de geração brasileiro | 16 |
| 4 SISTEMA FOTOVOLTAICO | 17 |
| 4.1 Tipos de conexão | 17 |
| 4.1.1 Sistemas isolados ou autônomos (<i>Off-Grid</i>)..... | 17 |
| 4.1.2 Sistemas Híbridos | 17 |
| 4.1.3 Sistemas conectados à rede (<i>On-Grid</i>)..... | 18 |
| 4.2 Componentes de um sistema de energia solar fotovoltaica..... | 19 |
| 4.2.1 Módulo Fotovoltaico | 19 |
| 4.2.2 Associação em paralelo | 20 |
| 4.2.3 Associação em Série..... | 20 |
| 4.2.4 Características dos módulos fotovoltaicos | 21 |
| 4.2.5 Fatores que influenciam as características dos Módulos Fotovoltaicos..... | 21 |
| 4.2.6 Inversores..... | 22 |
| 4.2.7 Baterias | 22 |
| 4.2.8 Controladores de carga | 23 |
| 5 PROJETO DE SISTEMA <i>ON-GRID</i> (CONECTADO À REDE)..... | 25 |
| 5.1 Módulos..... | 27 |
| 5.2 Inversores | 28 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 5.3 Proteção | 29 |
| 5.4 Conexões e cabos | 31 |
| 5.5 Estrutura | 32 |
| 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS | 33 |
| 6.1 Quantidades e Valores..... | 33 |
| 6.2 <i>Payback</i> | 34 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 36 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 38 |

1 INTRODUÇÃO

O sol é a maior e principal fonte de energia do nosso planeta e todas as demais fontes renováveis como eólica, hidrelétrica e biomassa derivam dele de alguma forma. Essa estrela fornece à atmosfera aproximadamente $1,5 \times 10^{16}$ kWh de energia anualmente, o que equivale a mais de 10.000 vezes o consumo do planeta no mesmo espaço de tempo (CRESESB, 2006). O vento só produz eletricidade pois gira as pás das torres eólicas, porém a energia cinética responsável por esse movimento só é produzida devido a distribuição da luz solar na atmosfera que gera diferenças de pressão e temperatura. As hidrelétricas fundamentam-se na energia potencial das águas, visto que essa se precipita devido a sua evaporação, causada pelos raios solares. Os combustíveis como etanol, biodiesel e metanol, que também são considerados renováveis, dependem diretamente do sol, já que são insumos provenientes de plantas e essas dependem da fotossíntese para se desenvolverem (LAMARCA, 2012).

Devido ao alto crescimento populacional tem-se discutido muito nos últimos tempos sobre outras fontes viáveis e renováveis de energia, devido principalmente à natureza finita dos combustíveis fósseis, principal matriz energética mundial, e a poluição gerada por sua queima. E a produção de eletricidade é responsável por cerca de mais de 65% da emissão de gases geradores do efeito estufa, logo é peça chave para resolver esse problema (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*, WEO 2011).

Portanto, a necessidade de geração de uma energia limpa, sustentável e com o mínimo impacto no meio ambiente tornou-se de suma importância. E uma das alternativas encontradas foi a utilização da radiação solar. Esse processo dá-se a partir da utilização de células fotovoltaicas, que empregam o silício em sua composição e este elemento é encontrado em abundância no planeta. Porém, mesmo com o crescimento acelerado do mercado de energia solar fotovoltaica, ainda constitui-se em um investimento inicial bastante elevado, principalmente para empresas. A estimativa é que torne-se cada vez mais acessível e em alguns anos seja uma das principais fontes de energia elétrica do mundo.

1.1 Objetivos

O foco deste trabalho é o estudo da maneira como a energia solar transforma-se em eletricidade e sua ascensão nos últimos anos, bem como o estudo de caso da viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma empresa de mármore e granito de médio porte, localizada na cidade de Atílio Vivacqua, no ES.

2 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica pode ser definida como uma energia gerada por meio da direta conversão da radiação solar em eletricidade. Esse fato é realizado através de um dispositivo denominado célula fotovoltaica, que atua utilizando o efeito fotovoltaico ou fotoelétrico (IMHOFF, 2007). Esse efeito foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel e consiste em uma diferença de potencial nos extremos de uma determinada estrutura composta de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. Como a principal unidade no processo de conversão é a célula fotovoltaica, o conjunto da mesma compreende o que se chama de painéis ou módulos fotovoltaicos, como é representado na Figura 1.

Figura 1 – Painéis Fotovoltaicos



Fonte: FOLHA..., 2018.

Materiais semicondutores são os responsáveis pelo efeito fotovoltaico, visto que detém bandas de energia onde elétrons estão presentes, bandas essas chamadas de valência e também outras bandas vazias, chamadas de condução. Já as células fotovoltaicas funcionam de maneira que fótons incidentes, ao colidir com os átomos do material semicondutor, deslocam elétrons. Ao se captar esses elétrons antes de voltarem aos seus orbitais atômicos, esses poderão ser convertidos em corrente elétrica (elétrons livres) (COMETTA, 1978).

O material semicondutor mais utilizado para o fim citado é o silício, pois além de ser encontrado em abundância no planeta, também possui propriedades tais que facilitam a ocorrência do efeito fotovoltaico. A camada de valência de seus átomos possui quatro elétrons, que fazem ligação com os elétrons do átomo vizinho, formando assim uma rede cristalina. São adicionados então a essa rede elementos com cinco e três elétrons de ligação. Os elementos de cinco elétrons possuem um que está fracamente ligado ao seu átomo original, ou seja, com pouca energia térmica, este se desprenderá. Porém, os elementos de três elétrons na camada de valência precisam de mais um para se estabilizarem e realizarem ligações com os átomos de

silício, portanto, com pouca energia térmica, um elétron poderá ocupar essa posição livre. Com todo esse movimento de elétrons é então gerada uma diferença de potencial, uma vez que um lado se torna negativo devido ao acúmulo de elétrons e o outro positivo devido à falta (CRESESB, 2006).

Tendo em vista que o silício é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas, o mesmo tem sido explorado sob diversas formas, sendo monocristalino, policristalino e amorfo.

2.1 Módulo fotovoltaico de silício monocristalino

A maior parte dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino é produzida através de um único cristal, mergulhados em silício fundido. Durante esse processo, o cristal recebe boro em quantidades reduzidas formando um semicondutor dopado do tipo p. Após seu corte, são então introduzidas impurezas do tipo n, que foram previamente expostas a vapor de fósforo em altas temperaturas, o que garante sua confiabilidade (CEMIG, 2012).

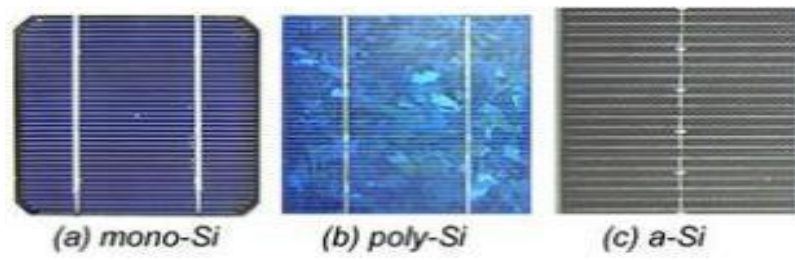
2.2 Módulo fotovoltaico de silício policristalino

O módulo fotovoltaico policristalino diferencia-se do monocristalino devido a sua constituição, que ao invés de ser formado um único cristal, é formado por um conjunto de cristais fundidos e solidificados, o que resulta em um bloco composto por grãos, concentrando um maior número de defeitos. Em razão disso sua eficiência é menor e também o seu custo, comparado a células monocristalinas (CEMIG, 2012).

2.3 Módulo fotovoltaico amorfo

A célula de silício amorfo diferencia-se por ser extremamente desordenado na estrutura de seus átomos. Isso faz com que sua eficiência seja bastante reduzida, bem como sua vida útil, se comparada às células monocristalinas e policristalinas, representadas na Figura 2 (CEMIG, 2012)

Figura 2. Diferenças das células de silício monocristalino, policristalino e amorfo, respectivamente.

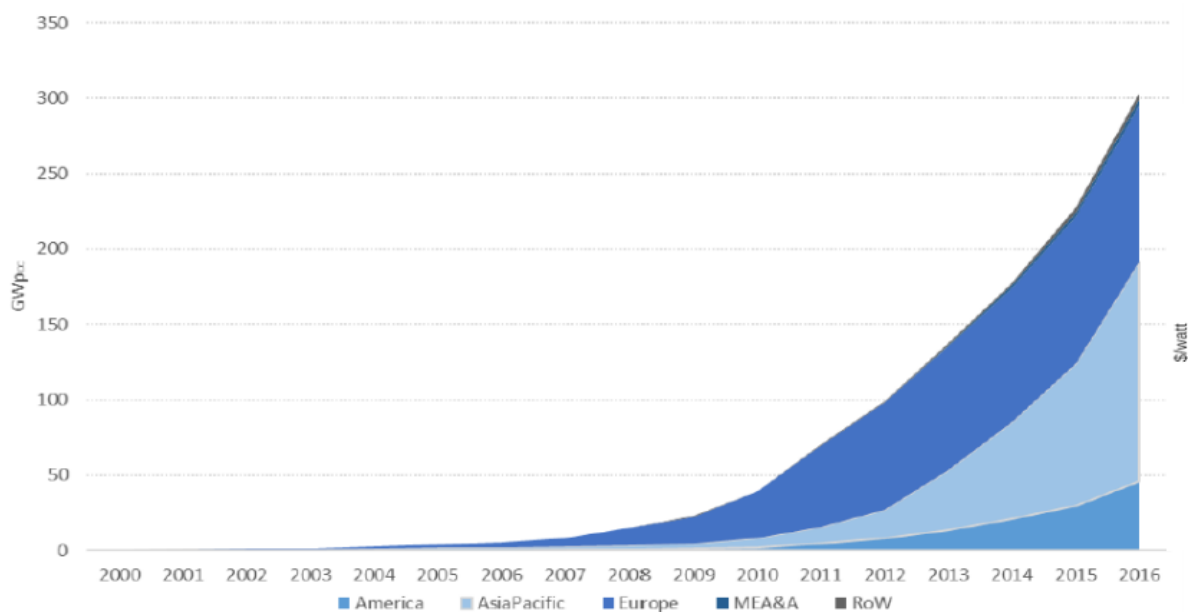


Fonte: CEPTEL, 2013.

3 CENÁRIO MUNDIAL

Com o advento das inúmeras discussões a respeito de fontes renováveis e autossuficientes de energia nos últimos tempos houve grandes investimentos ao redor do mundo em diversas áreas, entre elas da energia solar fotovoltaica. É possível então perceber que essa vem crescendo exponencialmente com o passar dos anos e tende a ser, de acordo com estudiosos, uma das maiores fontes energéticas do futuro (Figura 3).

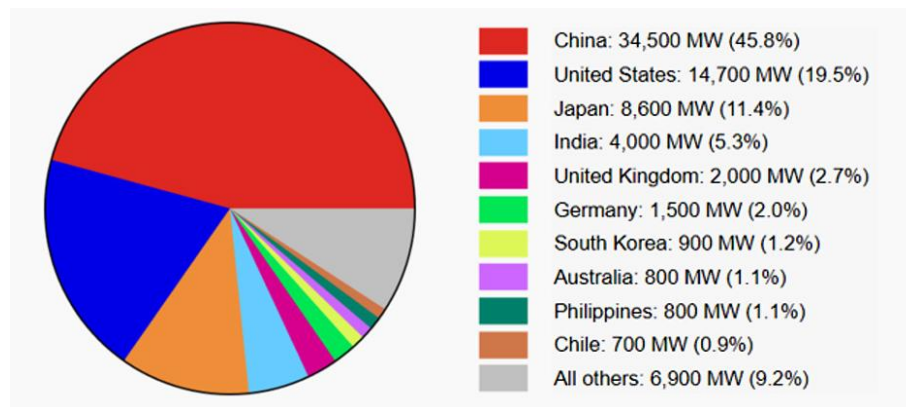
Figura 3: Evolução da capacidade instalada no mundo



Fonte: EVOLUÇÃO..., 2018.

Em 2009 já havia no mundo cerca de 23GW de potência instalada em sistemas de energia solar fotovoltaica, o que equivale a aproximadamente 15 termoelétricas a carvão de médio porte. Já no final de 2016 essa potência chegou a 305 GW. O mercado dessa energia tem-se mostrado em equilíbrio em relação às instalações de grande porte (grandes usinas solares) e a geração distribuída (sistemas instalados nos telhados de residências e pequenas indústrias). Os mercados de energia fotovoltaica que mais crescem hoje são China, Estados Unidos e Japão, como pode-se analisar na Figura 4.

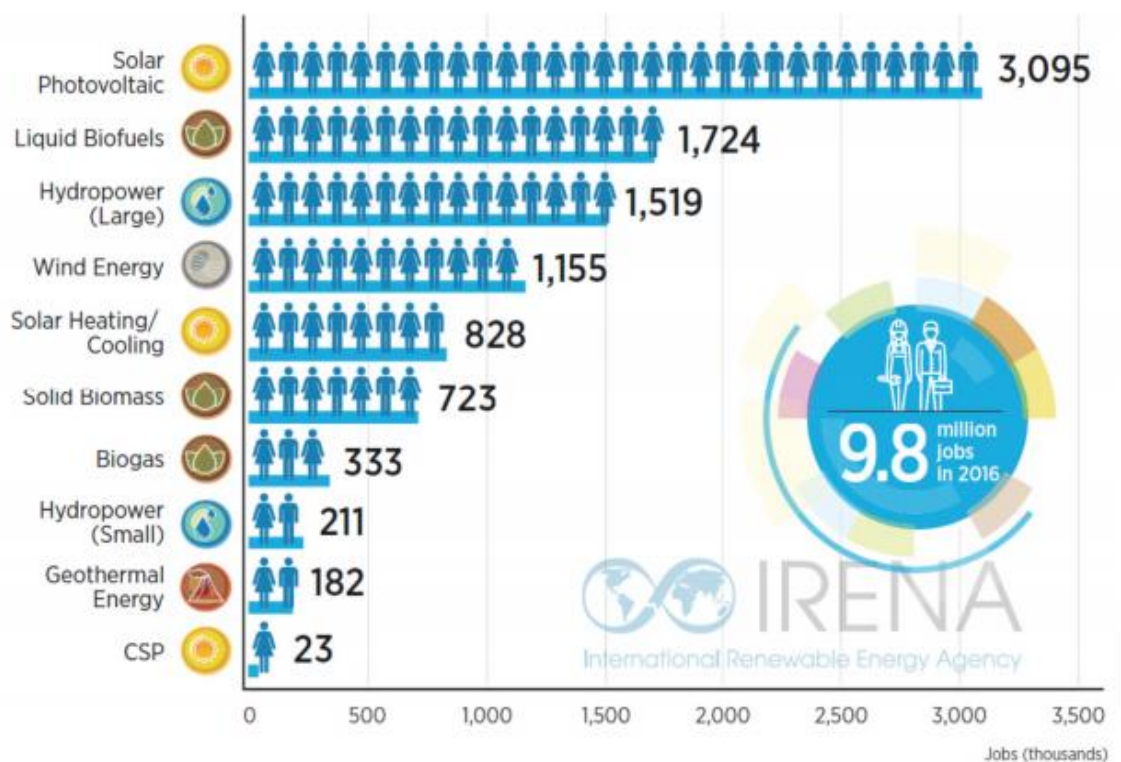
Figura 4: Países que mais instalaram energia solar fotovoltaica em 2016



Fonte: PAÍSES..., 2016.

Além dos benefícios ambientais trazidos pelo advento do setor fotovoltaico, este detém o marco de maior gerador de empregos renováveis do mundo. Gerando de 25 a 30 postos de trabalho para cada MW instalado por ano, nas áreas de instalação, fabricação, vendas e distribuição e desenvolvimento de projetos (Figura 5).

Figura 5: Empregos gerados no mundo por energias renováveis



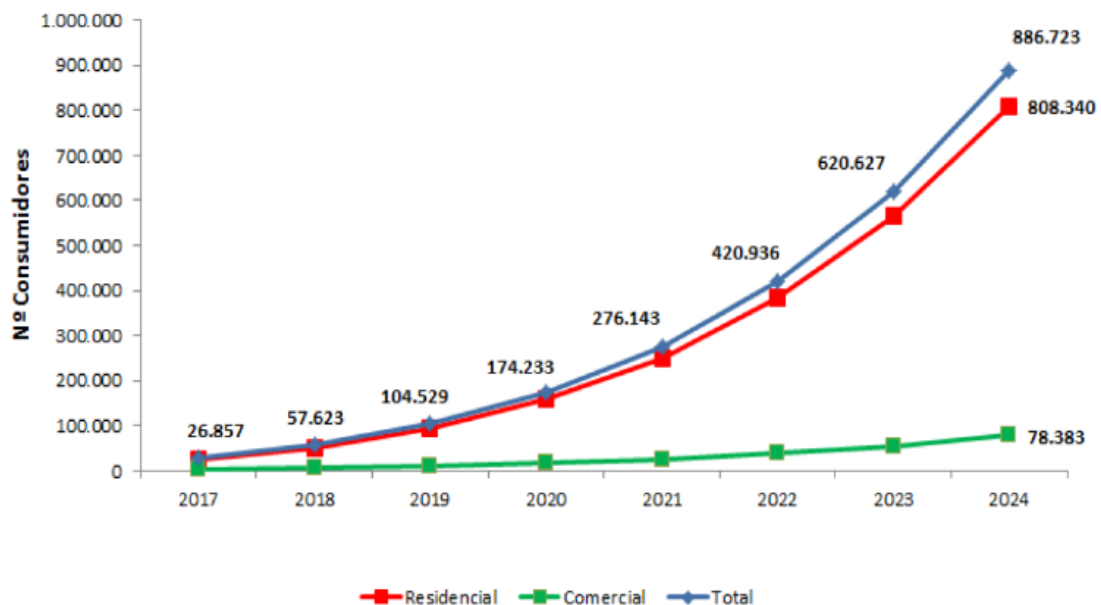
Fonte: IRENA, 2017.

3.1 Cenário Brasileiro

No início de 2018 o Brasil possuía 20.897 sistemas fotovoltaicos instalados. O crescimento desse número dá-se principalmente devido à maior adesão do consumidor residencial, que consegue economizar até 95% na conta de energia elétrica através do sistema fotovoltaico. O consumidor que instala seu próprio sistema tem a opção de conectá-lo na rede elétrica da concessionária local e passar a fazer a troca da energia consumida diariamente pela produzida. Esse cenário intensificou-se principalmente devido aos crescentes custos das tarifas de energia e simultaneamente a queda de custos referentes à energia solar que, em cunho residencial, paga-se entre 4 e 6 anos. Outra vantagem observada pelos consumidores, tanto residenciais quanto comerciais, é a valorização instantânea do imóvel, que pode chegar a um valor até maior que o de instalação (COLAFERRO, 2018).

Previsões apontam que no ano de 2020 o país terá em torno de 174 mil sistemas solares fotovoltaicos instalados e em 2024 esse número chegará a 886 mil (COLAFERRO, 2018). De maneira similar ao que já acontece atualmente, a maior parte dos sistemas será instalada em unidades residenciais, aproximadamente 91% do total nacional, restando apenas 9% para as unidades comerciais. Seguindo essa estimativa a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL preparou um gráfico de projeções (Figura 6), que estima a quantidade de sistemas instalados nas áreas residencial, comercial e outros (rural, iluminação pública e serviços públicos).

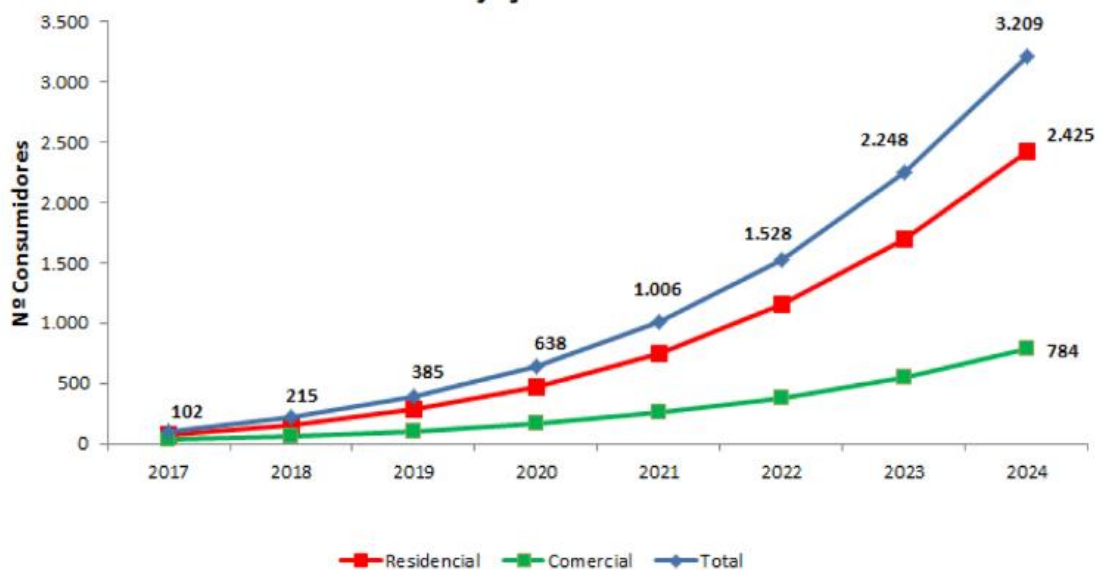
Figura 6: Projeções para microgeradores



Fonte: ANEEL, 2017.

Analisando esse cenário em perspectiva de potência em MW distribuída o cenário torna-se diferente. Os três grupos passam a equilibrar-se quanto à utilização do potencial produzido. Os sistemas comerciais passam então a utilizar cerca de 24% da potência instalada e consomem aproximadamente 784 MW de um total de 3,2 GW (Figura 7).

Figura 7: Projeções para microgeradores em MW



Fonte: ANEEL, 2017.

Como já foi dito, a maior parte dos proprietários de sistemas solares fotovoltaicos são consumidores residenciais, o que hoje corresponde a 84% de todos os sistemas instalados no Brasil (Tabela 1).

Tabela 1: Tamanho médio dos sistemas fotovoltaicos residenciais no Brasil

| Residenciais | Quantidade | Porcentagem | kW Instalado | Potência Média |
|-----------------|--------------|----------------|------------------|-----------------|
| Até 1,5 kW | 1.197 | 3,72% | 1.295 kW | 1,08 kW |
| > 1,5 kW a 3 kW | 3.148 | 22,65% | 7.884 kW | 2,50 kW |
| > 3 kW a 6 kW | 2.980 | 39,02% | 13.581 kW | 4,55 kW |
| > 6 kW a 15 kW | 879 | 23,50% | 8.177 kW | 9,30 kW |
| > 15 kW | 150 | 11,11% | 3.866 kW | 25,77 kW |
| TOTAL | 8.354 | 100,00% | 34.804 kW | 43,20 kW |

Fonte: COLAFERRO, 2018.

Já os sistemas comerciais ficam incumbidos pelos outros 16% restantes, subdividindo-se em diversas aplicações, como industrial e rural, distribuindo-se por inúmeros consumidores e seguimentos diferentes (Tabela 2).

Tabela 2: Tamanho médio dos sistemas fotovoltaicos comerciais no Brasil

| Comerciais | Quantidade | Porcentagem | kW Instalado | Potência Média |
|-----------------|------------|-------------|--------------|----------------|
| Até 6 kW | 638 | 7,84 | 2.317 kW | 3,63 kW |
| > 6 kW a 15 kW | 416 | 15,09% | 4.463 kW | 10,73 kW |
| > 15 kW a 30 kW | 279 | 21,04% | 6.222 kW | 22,3 kW |
| > 30 kW a 45 kW | 101 | 12,72% | 3.761 kW | 37,32 kW |
| > 45 kW a 60 kW | 82 | 14,84% | 4.387 kW | 53,50 kW |
| > 60 kW a 75 kW | 24 | 5,81% | 1.716 kW | 71,53 kW |
| > 75 kW | 32 | 22,67% | 6.703 kW | 209,47 kW |
| TOTAL | 1.572 | 100,00% | 29.572 kW | 408,48 kW |

Fonte: COLAFERRO, 2018.

Bem como no cenário mundial há aqueles que mais investem no setor fotovoltaico, isso também ocorre em âmbito nacional. De acordo com a ANEEL Os estados que mais investem nesse setor são Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul respectivamente, como pode ser analisado na Figura 8.

Figura 8: Estados que mais investem em energia solar fotovoltaica

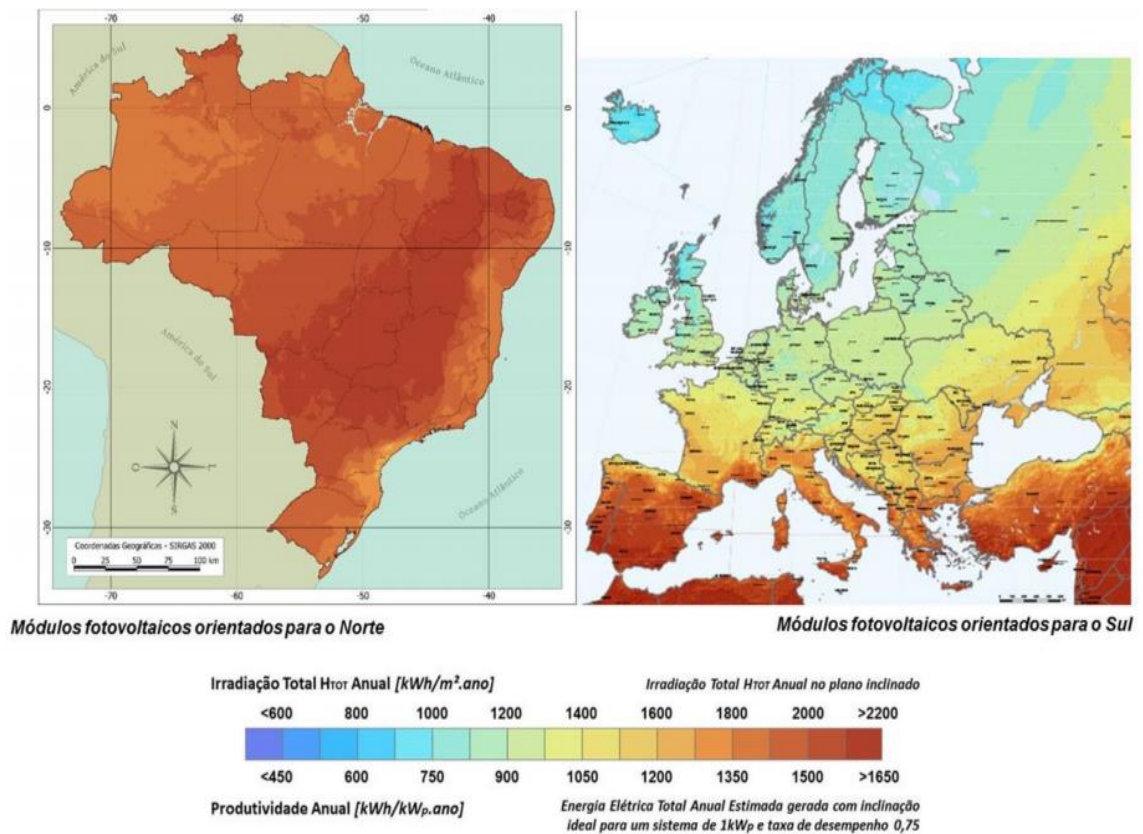


Fonte: COLAFERRO, 2018.

3.2 Potencial de geração brasileiro

O Brasil possui uma grande capacidade energética no setor fotovoltaico, isso porque segundo NOTA TÉCNICA EPE – Análise de Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira (2012), a média anual de irradiação solar brasileira varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano, sendo substancialmente superior às médias europeias, que indicam medições entre 900 e 1.250 kWh/m²/ano na Alemanha, entre 900 e 1.650 kWh/m²/ano na França e entre 1.200 e 1.850 kWh/m²/ano na Espanha (Figura 9). Em relação à potência instalada, o Brasil possui atualmente 152,3 GW de capacidade de produção, e este potencial já exclui unidades de conservação, reservas indígenas, Mata Atlântica, Pantanal, Amazônia e as demais áreas de preservação (EPE, 2016).

Figura 9: Irradiação média global no Brasil e na Europa



Fonte: INPE, 2017.

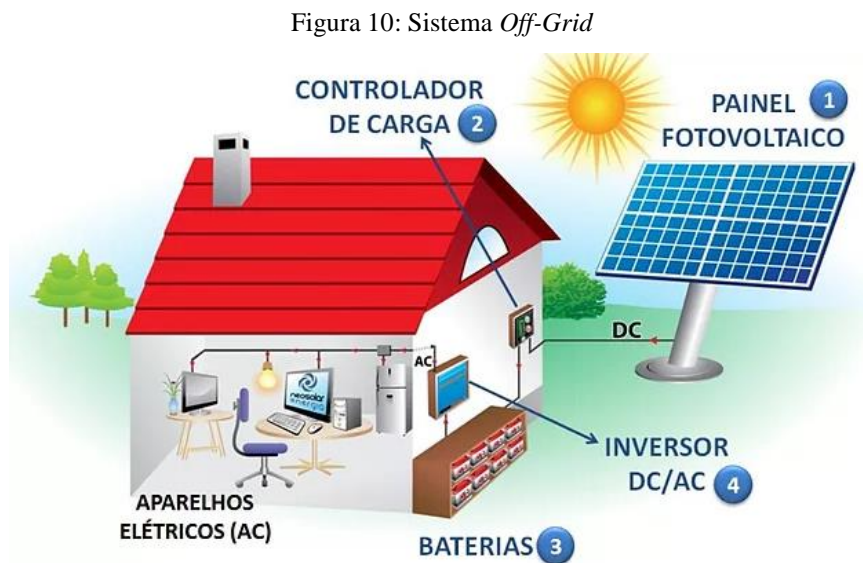
4 SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.1 Tipos de conexão

Existem três tipologias básicas em que se classificam os tipos de conexão dos sistemas fotovoltaicos. Escolhe-se entre eles de acordo com os recursos disponíveis e as necessidades do consumidor.

4.1.1 Sistemas isolados ou autônomos (*Off-Grid*)

Esse sistema não possui conexão com a rede de distribuição da concessionária. Isso se dá por diversos motivos, seja por preferência do consumidor, inexistência de rede de distribuição próxima ou devido a alimentação de cargas específicas. Para tanto utiliza-se baterias para armazenar a energia produzida pelo sistema, como na Figura 10.

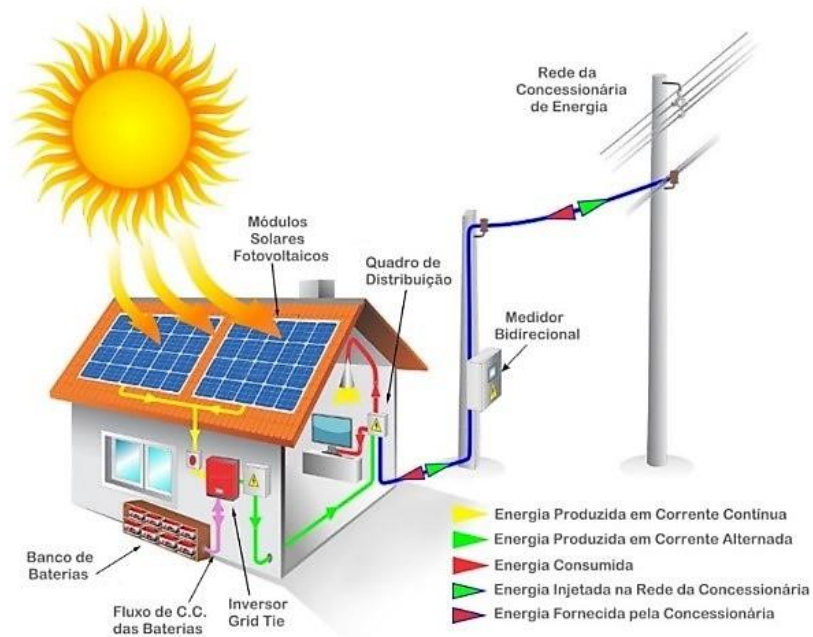


Fonte: ENERGIA..., 2018.

4.1.2 Sistemas Híbridos

São sistemas conectados à rede elétrica, mas também integram um sistema de armazenamento de energia inteligente através de baterias (Figura 11). O principal motivo para se usar esse tipo de sistema é a confiabilidade e a autonomia para cargas prioritárias, que continuam a funcionar até que o estoque se extingue ou até a conexão à rede elétrica ser reestabelecida.

Figura 11: Sistema híbrido

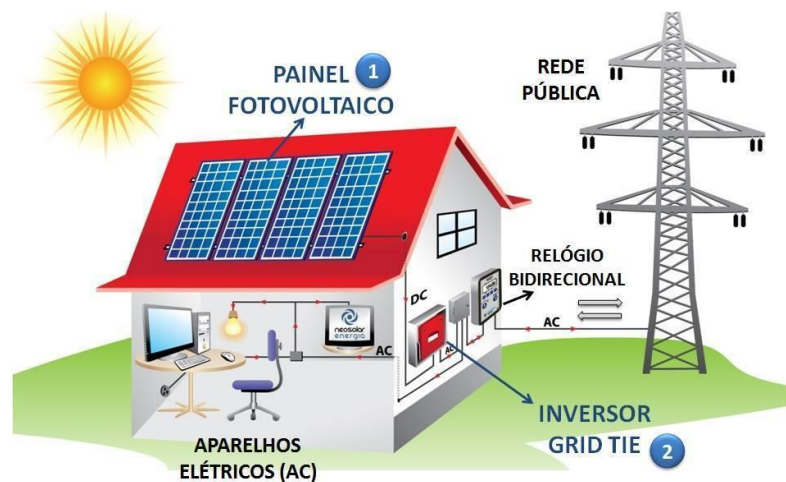


Fonte: ENERGIA..., 2018.

4.1.3 Sistemas conectados à rede (*On-Grid*)

São sistemas conectados à rede de distribuição da concessionária. A principal vantagem apresentada por esse modelo é o fato de não precisar utilizar baterias, o que otimiza bastante os custos de instalação.

Figura 12: Sistema híbrido



Fonte: ENERGIA..., 2018.

Tendo em vista que o presente trabalho será focado no sistema *On-Grid*, ou seja, conectado à rede de distribuição, esse será analisado mais detalhadamente em comparação aos outros modelos.

Atualmente, os sistemas solares fotovoltaicos têm sido utilizados em sua maioria de forma integrada à rede elétrica pública. Estes podem apresentar duas configurações distintas: instaladas na própria edificação (telhado ou fachada) ou seja, próximo ao ponto de consumo, ou em uma região mais afastada, geralmente uma usina geradora, podendo essa ser de grande porte ou apenas uma área com mais espaço para instalação dos painéis.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser classificados em três categorias, segundo seu tamanho, conforme definições utilizadas pela ANEEL:

- a) Microgeração: potência instalada até 100 kW;
- b) Minigeração: potência instalada entre 100 kW e 1 MW;
- c) Usinas de eletricidade: potência acima de 1 MW;

As usinas de geração de energia possuem conjuntos de módulos, inversores centrais cuja potência ultrapassa 1MW e transformadores, responsáveis por conectar a usina às redes de transmissão.

Já os sistemas de minigeração são compostos por consumidores industriais e comerciais, objetivando suprir parte da demanda de energia elétrica. Geralmente, estes são mais simples e possuem poucos componentes, o que facilita a instalação e a fixação dos módulos nos telhados.

Os sistemas de microgeração são bastante parecidos com os de minigeração, porém possuem menor potência instalada e são utilizados geralmente em instalações residenciais.

4.2 Componentes de um sistema de energia solar fotovoltaica

Um sistema fotovoltaico possui quatro componentes básicos: módulos fotovoltaicos, controladores de carga, inversores e baterias.

4.2.1 Módulo Fotovoltaico

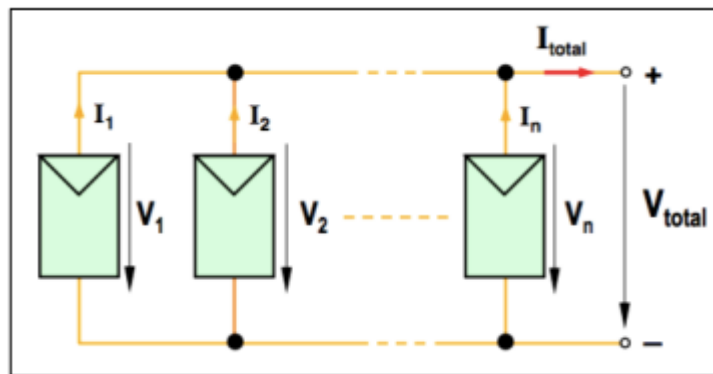
Uma célula fotovoltaica por si só apresenta baixa tensão e corrente de saída. Para aumentar esses números a um grau satisfatório para utilização é feito um ajuntamento de muitas células formando então um painel fotovoltaico. O agrupamento desses painéis faz-se indispensável, já que quanto mais se agrupa as células mais energia será gerada.

Dependendo da corrente elétrica desejada e da tensão de utilização, agrupa-se os módulos em série ou paralelo.

4.2.2 Associação em paralelo

As células desse tipo de associação apresentam terminais iguais ligados a um ponto em comum. Dessa maneira, os terminais positivos são ligados em um mesmo ponto e os negativos a outro. Nessa disposição a tensão permanecerá a mesma, porém a corrente total do sistema será a soma das correntes individuais de cada célula (Figura 13).

Figura 13: Representação esquemática da associação em paralelo de n módulos fotovoltaicos

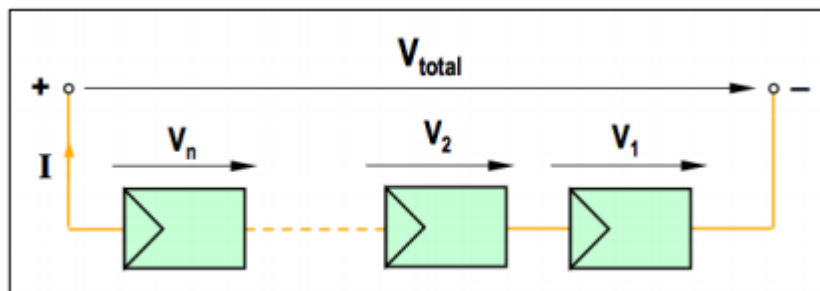


Fonte: CARNEIRO, 2010.

4.2.3 Associação em Série

Na associação em série, os terminais positivos de um módulo são ligados aos terminais negativos de outro. Dessa maneira, a corrente será igual às individuais, porém a tensão total do sistema será o resultado da soma das tensões de cada módulo (Figura 14).

Figura 14: Representação esquemática da associação em paralelo de n módulos fotovoltaicos



Fonte: CARNEIRO, 2010.

4.2.4 Características dos módulos fotovoltaicos

A potência dos módulos é geralmente expressa em watt pico (Wp). Porém, existem outras características elétricas pertinentes a eles que merecem ser ressaltadas (CRESESB, 2008):

- a) Voltagem de Circuito Aberto (V_{oc}): Consiste na tensão máxima que determinado dispositivo é capaz de entregar em dadas condições de temperatura e radiação. Corresponde à corrente nula, logo, potência nula;
- b) Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}): Consiste na corrente máxima que determinado dispositivo é capaz de entregar em dadas condições de temperatura e radiação. Corresponde à tensão nula, logo, potência nula;
- c) Potência Máxima (P_M): É a potência máxima que um dispositivo pode entregar. Baseia-se na curva $V \times I$ e corresponde ao ponto máximo da mesma;
- d) Voltagem de Máxima Potência (V_{MP}): Corresponde à exclusiva tensão para a qual a máxima potência poderá ser extraída;
- e) Corrente de Máxima Potência (I_{MP}): É a corrente que determinado dispositivo entrega para máxima potência em dadas condições de temperatura e radiação.

4.2.5 Fatores que influenciam as características dos Módulos Fotovoltaicos

Alguns fatores podem afetar a produção de energia elétrica em um sistema fotovoltaico, principalmente a temperatura das células e a intensidade luminosa.

A elevação da temperatura da célula fotovoltaica dá-se pelo aumento da insolação incidente sobre ela, dessa maneira há uma tendência de diminuição da eficiência do módulo. Isso acontece por que tensão é diminuída drasticamente ao elevar-se a temperatura e a corrente permanece praticamente inalterada.

Já a intensidade luminosa influencia no sentido de aumentar linearmente a corrente gerada pelos módulos, sendo que para se obter um resultado ótimo em relação à produção de energia é necessário que estes se movimentem junto com o sol durante o dia, mas como ainda existe um custo elevado para fazer essa movimentação os painéis são instalados em posição fixa, logo, é importante determinar a melhor inclinação para a região de instalação.

4.2.6 Inversores

Um inversor possui a função de converter corrente contínua, gerada nos painéis fotovoltaicos, em corrente alternada, que será utilizada pelas cargas, como motores e aparelhos elétricos.

Os inversores podem alimentar as cargas de maneiras distintas, por isso existem os inversores solares *On-Grid* e *Off-Grid*.

a) *Off-Grid*

O inversor solar *Off-Grid*, alimenta as cargas de maneira direta. Ele retira energia das baterias, gera um sinal elétrico referente a corrente alternada e fornece assim potência aos aparelhos elétricos. Por possuir essa capacidade ele geralmente é utilizado em sistemas isolados.

Esse tipo de inversor, geralmente é utilizado em sistemas fotovoltaicos isolados, por sua capacidade.

Esses inversores autônomos não devem ser utilizados em sistemas conectados à rede (*On-Grid*), pois não possuem a capacidade de sincronizar seu sinal com o da corrente alternada da rede. Caso essa ligação seja feita, há uma grande probabilidade de explosão.

b) *On-Grid*

O inversor solar *On-Grid*, diferentemente do *Off-Grid*, foi idealizado justamente para interagir e sincronizar seu sinal com o sinal senoidal de corrente alternada da rede de forma totalmente automática.

Por estar ligado diretamente à rede, o inversor é capaz de detectar qualquer anomalia, como elevações ou quedas de tensão e frequência.

Por causa dessas singularidades, um inversor *On-Grid* não funciona como *Off-Grid*, pois ele não é capaz de alimentar as cargas diretamente, já que é constituído para alimentar somente à rede de distribuição pública.

4.2.7 Baterias

As baterias desempenham um papel muito importante dentro de um sistema solar fotovoltaico. Essa é empregada em sistemas *Off-Grid* e híbridos, onde há uma necessidade de armazenamento da energia produzida durante o período de sol do dia. Esse recurso é empregado para que esse estoque possa ser utilizado durante a noite ou em períodos prolongados sem luminosidade.

Também é importante ressaltar que a bateria estabiliza a corrente e a tensão no momento em que alimenta as cargas elétricas, o que acaba por suprir transitórios que tem a possibilidade de

ocorrer durante a geração. De mesmo modo, ela é capaz de fornecer uma intensidade de corrente maior do que a do dispositivo fotovoltaico.

Para a utilização em sistemas fotovoltaicos, geralmente aplica-se um tipo específico de bateria, denominada estacionária.

Diferentemente da bateria automotiva, a bateria estacionária foi projetada para ciclos de descarga profundos, ou seja, para aplicações que demandem corrente moderada por um maior intervalo de tempo, de maneira oposta a uma grande quantidade de corrente em alguns segundos para dar partida no motor, como opera a bateria automotiva.

4.2.8 Controladores de carga

O controlador de carga é um dos principais componentes de um sistema solar fotovoltaico *Off-grid*, visto que é o responsável pela manutenção da vida útil do banco de baterias, protegendo-as de sobrecargas ou descarga completa, já que essas figuram como um dos itens mais caros de um projeto.

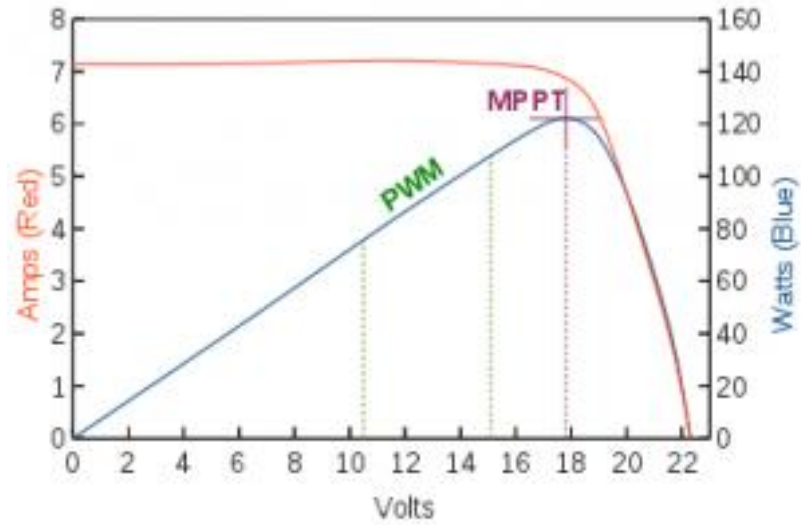
Esse equipamento é capaz de monitorar sistema e informar a respeito do estado das cargas, bem como alertar o usuário sobre possíveis modificações que aumentem a vida útil das baterias.

Os controladores de carga podem ser classificados como PWM (*pulse width modulation*) ou MPPT (*maximum power point tracking*), dependendo da forma com que operam.

Em sistemas fotovoltaicos *off-grid* quando é feito o dimensionamento do controlador de mesma tensão, a principal preocupação é observar se a corrente que fornece máxima potência ao módulo fotovoltaico não excede a corrente de máxima potência do controlador de carga.

Entretanto, os controladores PWM não alimentam o banco de baterias a partir do ponto de máxima potência dos módulos fotovoltaicos, dessa forma o rendimento do sistema é comprometido. Já os equipamentos do tipo MPPT buscam atingir o ponto de máxima potência, o que resulta em uma eficiência quase total do sistema (Figura 15).

Figura 15: Comparativo entre comportamento de um controlador PWM e MPPT



Fonte: MPPT..., 2018.

O controlador PWM normalmente possui um custo menor em relação ao MPPT, porém esse último, por atingir a máxima potência dos módulos, é capaz de, em certo momento, compensar a utilização de alguns deles devido ao fato de ser capaz de produzir mais energia elétrica.

5 PROJETO DE SISTEMA *ON-GRID* (CONECTADO À REDE)

A seguir, será feito um estudo de caso para a viabilidade da implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica em uma empresa de mármore e granito, cujo consumo aproximado por mês é de 11,885 kWh/mês.

A empresa situa-se no município de Atílio Vivácqua - ES e possui as seguintes coordenadas: latitude -20,919958; longitude -41,190301.

A partir do valor da insolação combinados com a potência total necessária e uma estimativa do rendimento dos painéis, é possível então determinar a real compensação de energia elétrica.

Para fins de cálculo de valores foi tomado como base um site especializado na área que apresenta todos os componentes necessários à implantação de um sistema solar fotovoltaico à um preço acessível (todos os valores foram obtidos em um mesmo dia para que não houvesse alterações de valores).

O primeiro item a se ter em vista é a quantidade de energia que se necessita produzir. É interessante produzir uma quantidade relativamente igual ao necessário, isso porque caso a empresa não utilize totalmente o que foi produzido terá um crédito com a concessionária se algum imprevisto ocorrer. Desse modo, será feito um projeto para a geração de 11,885kWh de energia mensal.

Posteriormente, é importante considerar o posicionamento dos módulos. Como cada cidade possui uma inclinação referente ao norte geográfico, será utilizado o valor aproximado da latitude da cidade em questão, ou seja, 21° de inclinação. Durante o ano a incidência do sol sobre o telhado varia, e existem sistemas capazes de movimentar os painéis à medida que essa incidência muda, porém ainda figura um investimento bastante elevado e passível de manutenção constante. Portanto, no presente projeto, será utilizado um sistema fixo.

Para dimensionar um sistema dessa magnitude é importante calcular a potência total diária que o sistema precisará produzir para suprir as necessidades da empresa. Para tanto utiliza-se a seguinte fórmula (Figura 16):

Figura 16: Fórmula da potência total que deve ser produzida pelos módulos fotovoltaicos

$$\text{POTÊNCIA TOTAL} = \frac{\text{ENERGIA GERAÇÃO}}{\text{PAINÉIS} \times \text{TEMPO EXPOSIÇÃO} \times \eta \text{ RENDIMENTO}}$$

- Energia de geração = energia total que precisa ser gerada em um dia;
- Tempo de exposição = quantidade de horas de sol por dia na região (dado colhido através do site CRESESB);
- Rendimento = rendimento médio do sistema mediante adversidades como perdas por temperatura, incompatibilidade elétrica, acúmulo de sujeira, entre outros).

Estima-se então o valor do rendimento do módulo fotovoltaico. Esse rendimento é estimado com base na perda por diversos fatores, como mostrado abaixo (Figura 17), e posteriormente essas perdas são somadas.

Figura 17: Rendimento médio do sistema baseado em suas perdas

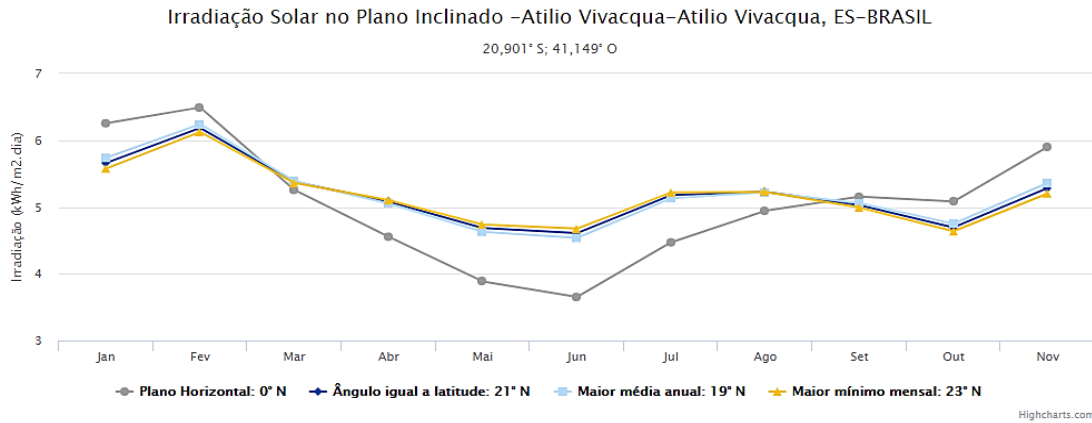
Rendimento Global = 80%

| | | |
|----------------------------|--------------|-------|
| Perdas por temperatura | 7,0% - 18,0% | 11,5% |
| Incompatibilidade Elétrica | 1,0% - 2,0% | 1,5% |
| Acúmulo de sujeira | 1,0% - 8,0% | 2,0% |
| Cabeamento CC | 0,5% - 1,0% | 1,0% |
| Cabeamento CA | 0,5% - 1,0% | 1,0% |
| Inversor | 2,5% - 5,0% | 4,0% |

Posteriormente, é necessário saber a quantidade de tempo médio de incidência solar na região alvo do estudo (Figura 18).

Figura 18: Média anual de horas de sol por dia na cidade de Atílio Vivácqua – ES

| # | Ângulo | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia] | | | | | | | | | | | | Média | Delta |
|---|-------------------------|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | | |
| ✓ | Plano Horizontal | 0° N | 6,26 | 6,49 | 5,26 | 4,56 | 3,89 | 3,65 | 3,72 | 4,47 | 4,94 | 5,16 | 5,08 | 5,90 | 4,95 | 2,84 |
| ✓ | Ângulo igual a latitude | 21° N | 5,66 | 6,19 | 5,38 | 5,08 | 4,69 | 4,61 | 4,59 | 5,18 | 5,23 | 5,03 | 4,69 | 5,28 | 5,13 | 1,59 |
| ✓ | Maior média anual | 19° N | 5,74 | 6,24 | 5,39 | 5,05 | 4,63 | 4,54 | 4,53 | 5,13 | 5,22 | 5,06 | 4,75 | 5,36 | 5,14 | 1,71 |
| ✓ | Maior mínimo mensal | 23° N | 5,58 | 6,12 | 5,36 | 5,10 | 4,74 | 4,68 | 4,65 | 5,22 | 5,23 | 4,99 | 4,64 | 5,20 | 5,13 | 1,49 |



Fonte: CRESESEB, 2018.

Tendo em vista esses fatores, realizou-se o cálculo e os resultados foram expostos na Figura 19.

Figura 19: Rendimento médio do sistema baseado em suas perdas

$$\text{DEMANDA} = \frac{11.885 \text{ kWh/mês}}{30 \text{ dias}} = 396,13 \text{ kW/dia}$$

$$\text{POTÊNCIA} = \frac{396,13 \text{ kW/dia}}{4,95 \text{ h/dia} \times 0,8} = 100.032,82 \text{ Wp}$$

Ou seja, para o correto dimensionamento de todo o sistema, precisamos considerar a produção diária de 100kWp.

5.1 Módulos

Atualmente existem no mercado diversos tipos de módulos fotovoltaicos, esses possuem usualmente 36, 60 ou 72 células fotovoltaicas interligadas em série. Para sistemas conectados à rede, onde a tensão costuma ser mais elevada utiliza-se módulos de 60 ou 72 células.

Através de comparações feitas através dos catálogos de alguns módulos, optou-se por módulos de silício monocristalino, com potência nominal de 300W da empresa Canadian Solar. A escolha deste deu-se devido ao seu maior rendimento em comparação aos módulos de silício

policristalino. Rendimento esse que compensa o maior investimento financeiro (Tabela 3). A ficha técnica referente ao módulo escolhido e a comparação de valores são apresentadas na Figura 20.

Tabela 3: Comparativo entre modelos de painéis fotovoltaicos

| PAINEIS FOTOVOLTAÍCOS | QUANT | VALOR UNIT. | TOTAL |
|------------------------------|-------|-------------|-------------------|
| Painel 270W (policristalino) | 371 | 501,27 | 185.971,17 |
| Painel 300W (monocristalino) | 334 | 603,57 | 201.592,38 |
| Painel 330W (policristalino) | 304 | 631,47 | 191.966,88 |
| | | | 201.592,38 |

Figura 20: Parâmetros físicos e elétricos do módulo CS6K300MS

- Potência máxima (Pmax): 300Wp
- Tolerância: 0% a +5%
- Tensão em circuito aberto (Voc): 39,7V
- Tensão de Pico (Vmpp): 32,5V
- Corrente de curto-circuito (Isc): 9,83A
- Corrente de Pico (Impp): 9,24A
- Voltagem máxima do sistema: 1000V
- Tipo de célula: Silício Monocristalino PERC
- Dimensões painel: 1650 x 992 x 40 (mm)
- Moldura: Alumínio
- Peso: 18,2 kg

Fonte: PAINEL..., 2018.

Para a compensação da energia elétrica necessária para o funcionamento da empresa, o sistema contará com 334 módulos de 300W.

5.2 Inversores

Como já foi previamente estudado, o inversor é responsável pela transformação da corrente contínua produzida pelos painéis em corrente alternada senoidal, em sincronia perfeita de frequência e tensão com a rede.

Por serem equipamentos relativamente pequenos, podem ser posicionados dentro da edificação ou próximos aos módulos, tomando sempre o cuidado de não os deixar expostos a chuvas, ventos e radiação solar. Esses podem ser instalados a gosto do projetista, que

geralmente os posiciona de maneira a utilizar a menor quantidade de cabos possível, visto que esses possuem uma grande influência financeira para instalações de grande porte.

O inversor adotado para o projeto foi o Fronius Grid-Tie Eco 25.0 de 25 kW. Em comparação com outros modelos esse se mostrou mais vantajoso por questões econômicas e por ser uma marca líder no mercado fotovoltaico (Tabela 4). Para tanto serão utilizados 4 inversores cuja ficha técnica é apresentada na Figura 21.

Tabela 4: Comparativo entre modelos de inversores Fronius

| INVERSORES | QUANT | VALOR UNIT. | TOTAL |
|------------|-------|-------------|------------------|
| 5kW | 20 | 8.990,00 | 179.800,00 |
| 15kW | 7 | 18.990,00 | 132.930,00 |
| 20kW | 5 | 20.268,89 | 101.344,45 |
| 25kW | 4 | 22.636,00 | 90.544,00 |
| | | | 90.544,00 |

Figura 21: Parâmetros físicos e elétricos do inversor o Fronius Grid-Tie Eco 25.0

| Parâmetros da Entrada | Parâmetros da Saída: | Eficiência: |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Potência fotovoltaica nominal: 25kWp • Tensão máxima: 1000Vcc • Tensão mínima: 580Vcc • Faixa de operação MPPT: 580 a 850V • Tensão CC nominal de entrada: 200V • Corrente CC máxima para cada MPPT: 44.2.0/66.0A • Número de MPPTs independentes: 02 | <ul style="list-style-type: none"> • Potência CA Nominal: 25.000W • Potência Máxima em CA: 25.000W • Corrente Máxima em CA: 38A • Saída nominal CA: 270Vca - 50/60H • THD: <2% • Conexão CA: Trifásica | <ul style="list-style-type: none"> • Eficiência máxima: 98% <p>Dados Gerais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensões: 725mm x 510mm x 225mm • Peso líquido: 45Kg • Ambiente de operação: Interno ou externo • Montagem: Fixação na parede • Temperatura de operação: -40°C a +60°C • Umidade relativa: 0% a 100% • Altitude: 2000m • Grau de proteção: IP65 • Topologia: Sem transformador • Ventilação: Convecção natural • Garantia: 02 anos contra defeitos de fabricação |

Fonte: INVERSOR..., 2018.

5.3 Proteção

Posteriormente à instalação de todos os eletrodutos que levam os cabos dos módulos ao restante do sistema, os condutores de corrente contínua devem passar por uma caixa de proteção antes de chegarem ao inversor, essa chama-se String Box. Um tipo de equipamento que protege e isola o sistema impedindo o risco de propagação de curtos-circuitos e surtos elétricos.

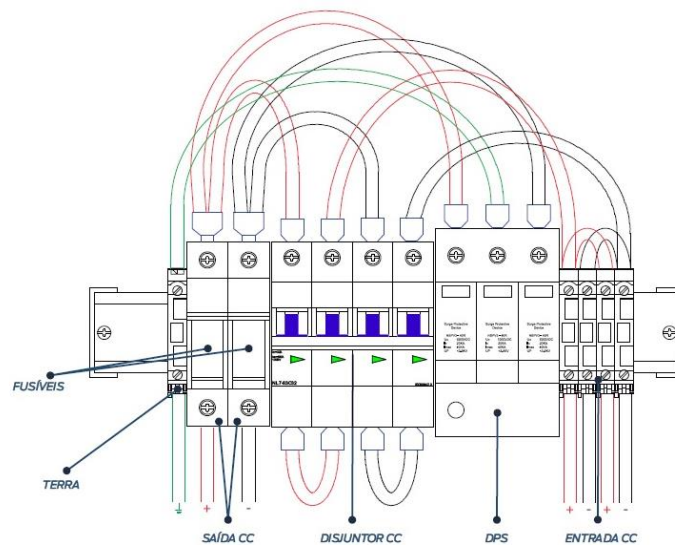
O funcionamento desse equipamento é facilmente compreensível. A String Box conecta-se ao inversor de frequência do módulo e da mesma forma ao quadro de proteção da rede elétrica. Desse modo, quando conectada à corrente contínua, preserva igualmente a instalação e os módulos das possíveis descargas elétricas recebidas ou geradas pelo campo magnético dos fios, Figuras 22 e 23.

Figura 22: String Box



Fonte: STRING..., 2018.

Figura 23: Diagrama elétrico de uma String Box



Fonte: STRING..., 2018.

No interior dessas caixas de proteção são encontrados diversos componentes, entre eles:

- a) Barramento de terra;

- b) Disjuntor diferencial residual;
- c) Barramento trifásico ou monofásico;
- d) Dispositivo de proteção contra surto.

Tendo como base a dimensão total do sistema, optou-se então pela utilização de 4 String Box, no valor de R\$: 752,00 cada. A ficha de especificações técnicas do String Box utilizado é apresentada na Figura 24.

Figura 24: Especificações técnicas da String Box CC

| • ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS |
|--|
| -Quadro elétrico dentro das normas IEC 61439 e/ou ABNT NBR IEC 60439 |
| -Índice de proteção mínimo: IP66 |
| -Chave seccionadora em corrente contínua com corrente nominal mínima de 32A e 1000VDC de tensão nominal mínima |
| -DPS com tensão nominal de 1000VDC, corrente nominal de 20kA e corrente nominal máxima de 40kA |
| -DPS com tensão máxima de pico menor ou igual a 3,5kV |
| -Dimensões: 320×310×170 (mm) |
| -Peso: 3,0 kg |

Fonte: STRING..., 2018.

5.4 Conexões e cabos

É sabido que devido à sua localização nos telhados, os sistemas fotovoltaicos enfrentam inúmeras adversidades do tempo, como chuvas fortes, ventos e excesso de insolação. E para suportar tais adversidades os cabos que farão suas conexões em corrente contínua devem atender a alguns pré-requisitos: como serem unipolares, limitarem o máximo a queda de tensão, possuírem isolamento duplo e que aguentem elevadas temperaturas, estarem separados em pólos positivos e negativos dentro de eletrodutos separados.

Como os cabos são geralmente utilizados em ambientes abertos e desprotegidos das intempéries, principalmente devido à sua utilização para interligar os painéis em série ou paralelo foram criados conectores denominados MC4, especialmente para o uso em sistemas solares fotovoltaicos. Esses conectores atribuem maior confiabilidade ao sistema e diminuem os riscos de curtos-circuitos (Figura 25).

Figura 25: Conectores MC4 macho e fêmea, respectivamente.



Fonte: CONECTOR..., 2018.

Estimou-se a necessidade de aproximadamente 1024m de condutores de 239A com seção de 120mm. E como os conectores figuram algo de muito baixo custo para o projeto, esse foi enquadrado em despesas extras com conectores, cujo quadro será exposto mais adiante.

5.5 Estrutura

Os suportes estruturais dos módulos fotovoltaicos devem ser dispostos de maneira a facilitar a manutenção dos painéis e também de modo harmônico em relação à arquitetura do local. É aconselhável que a implantação seja feita o mais próximo possível do ponto cuja conexão será realizada, com o propósito de diminuir a dimensão dos cabos conectores. Esses suportes deverão atender à algumas condições (LORENZO, ZILLES, 1994):

- a) Serem constituídos materiais não corrosivos, como ferro galvanizado ou alumínio;
- b) Aguentar ventos de até 150 km/h;
- c) Possuir aterramento elétrico;
- d) Garantir que os painéis tenham contato com o aterramento;
- e) Integrar-se esteticamente com a edificação onde vai ser instalado;
- f) Altura de no mínimo 1 metro do solo.

Tomando como base o site Minha Casa Solar, escolheu-se um suporte capaz de acomodar por vez 4 módulos fotovoltaicos, ou seja, haverá ao todo a necessidade de aproximadamente 84 estruturas de suporte, visto que se prevê a utilização de 334 módulos.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após todos os cálculos de dimensionamento dos componentes referentes ao sistema solar fotovoltaico mencionado foi realizada uma estimativa total de custos. Estes custos baseiam-se nos valores praticados pelo site especializado, tomado como referência de mercado nessa área.

Para esse fim, é importante mencionar que a empresa alvo desse trabalho funciona apenas até as 16:30, estando, desse modo, fora de operação no chamado horário de ponta, entre 17h30 e 20h30. Esse horário é assim chamado, pois figura o momento do dia em que há maior consumo de energia elétrica no país, portando o valor da tarifa aumenta durante esse período.

6.1 Quantidades e Valores

Diante de todos os componentes expostos foi então estipulada uma determinada quantidade de cada um para a composição do sistema solar fotovoltaico foco desse estudo. Por meio dos cálculos realizados, obteve-se o seguinte resultado, conforme apresentado na Tabela 5.

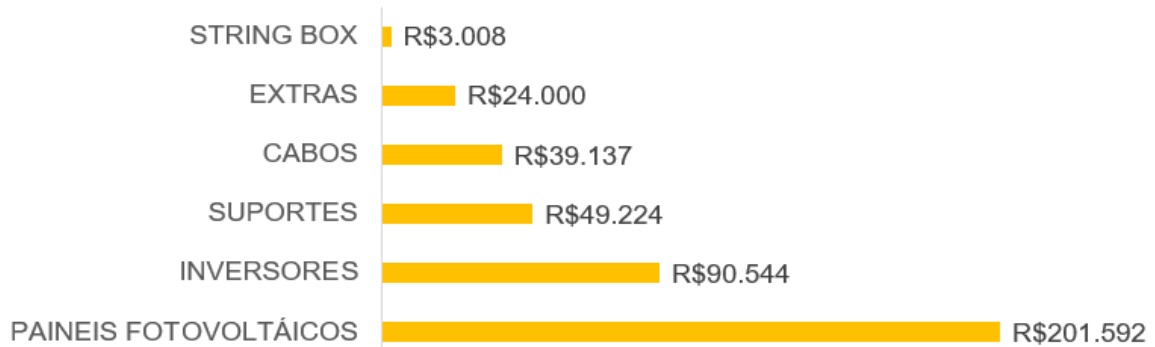
Tabela 5: Estimativa de itens utilizados

| | | |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Painel fotovoltaico monocristalino | 334 unidades | 300W |
| Inversor (CC/CA) | 4 unidades | 25 kW |
| Suportes | 84 módulos | 240W – 330W |
| Condutor 239A | seção 120mm | 1024m |
| String box | 4 | 32A |

No custo total foi inserido um tópico denominado “Extras” que engloba os gastos referentes à mão de obra para instalação dos componentes do sistema, gastos com conectores e também possíveis despesas com imprevistos.

Diante disso, estima-se então que para a implantação desse sistema o dono da empresa terá que investir em torno de R\$: 407.505,00. Esse valor pode sofrer alterações futuras devido ao valor de mercado dos componentes, visto que os preços utilizados nesse estudo são de uma determinada data e de um mesmo vendedor (Fig. 26).

Figura 26: Comparativo de valores por item



6.2 Payback

Sabe-se que o custo médio mensal que a empresa possui com energia elétrica é em torno de R\$: 10.500,00. Esse valor é constituído em parte por impostos, por certa demanda contratada e pelo consumo em si.

A demanda contratada representa aproximadamente 25% do valor total da conta e os impostos outros quase 30%. Com a implantação do sistema solar fotovoltaico esse cenário sofrerá uma grande mudança. A demanda contratada será a mínima possível e a maior parte desses impostos não será atribuída ao sistema, pois a produção de energia será própria e não mais virá da concessionária. Estima-se então, que com essas mudanças a soma do valor que incidirá sobre a conta será cerca de 18% pela hospedagem da energia pela concessionária e também devido a impostos.

É importante levar em consideração que a vida útil estimada para os componentes é em torno de 25 anos, podendo durar bem mais. Porém toma-se como base para fins de cálculo de *payback* apenas 25 anos. Leva-se também em conta o fato de durante esse período haver a necessidade de manutenção de componentes, como limpeza e possível troca, e esses gastos também devem ser estimados, como mostra a projeção da Figura 27.

Figura 27: Estimativa de valores



Diante desses valores, sabendo que o valor médio da conta de energia da empresa gira em torno de R\$10.500,00 e que haveria um contrato com a concessionária variando entre 15% e 20% , o *payback* ocorreria em aproximadamente 4 anos. E ao final dos 25 anos haveria também uma economia de quase R\$: 2.000.000,00.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que o sistema alvo do estudo ainda está em constante evolução, bem como a tecnologia, que a cada dia dá saltos notórios, é importante lembrar que melhorias podem ser implementadas à um sistema solar fotovoltaico.

Como *upgrade* do projeto, é interessante que se mencione o analisador de energia. Esse equipamento é de imensa valia, pois entre suas funcionalidades, apresenta a capacidade, como o próprio nome já diz de analisar a qualidade da energia. Também é capaz de analisar as formas de onda produzidas para monitor como a tensão, a corrente e a frequência então interagindo e se há alguma defasagem fora do normal (Figura 28).

Figura 28: Analisador de energia



Fonte: ANALISADOR..., 2018.

Mas um dos maiores diferenciais desse aparelho é a capacidade de estimar o custo fiscal do desperdício, bem como listar as melhorias que podem ser implementadas para corrigir o gasto desnecessário, e tudo isso pode ser mostrado para o usuário na tela de seu smartphone.

Outro ponto de estudo seria a implantação de um sistema de automação na empresa em questão, como controladores capazes de ligar e desligar os motores das máquinas à distância ou programa-las para o funcionamento por determinados períodos de tempo.

A automação está ligada não só a isso, mas também ao sistema de monitoramento e segurança, sendo capaz de integrar as imagens das câmeras e sensores do alarme à um acesso remoto pelo usuário. Também há a possibilidade da instalação de um sistema autônomo para os equipamentos da área administrativa da empresa, onde os sistemas de iluminação e climatização possam ser programados para entrar em funcionamento em um determinado horário para que já esteja tudo preparado para quando os funcionários chegarem, otimizando então o tempo dos mesmos para que haja maior produtividade.

Várias medidas ainda podem ser implementadas ao sistema alvo desse estudo, bem como melhorias paralelas a ele. Pois como se sabe, a tecnologia evolui a cada dia e para garantir liderança de mercado e melhorias na produtividade, tanto as empresas como consumidores individuais precisam estar sempre acompanhando essas mudanças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANALISADOR da qualidade de energia. 2018. Disponível em: <https://www.anangueraferramentas.com.br/produto/analizador-da-qualidade-de-energia-fluke-435-ii-94766>>. Acesso em: 03 jun. 2018

ANEEL. Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024, 24 maio de 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJ+E%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9>. Acesso em 13 mai. 2018

CARNEIRO, Joaquim. **Electromagnetismo B – Módulos fotovoltaicos – características e associações**. 2º Ano de Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 1º semestre, Escola de Ciências, Departamento de Física – Universidade do Minho, Guimarães, 2010. 18p.

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

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **As energias solar e eólica no Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://cresesb.cepel.br/download/casasolar/casasolar2013.pdf>>. Acesso em: 03 de mai. 2018.

COLAFERRO, Luis. **Energia Solar no Brasil: Um panorama para [Você] entender tudo**. 2018 <<http://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>>. Acesso em: 11 mai. 2018

COMETTA, Emilio. **Energia Solar: utilização e empregos práticos**. Tradução: Norberto de Paula Lima. São Paulo: Hemus Livraria Editora Limitada, 1978.

CONNECTOR MC4. 2018. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/conector-mc4-par-macho-femea-multicontact->

[mc4-79201?atributo=178:UNICA&atributo=25:U&atributo=26:UNICA](#)>. Acesso em: 02 jun. 2018

CRESESB Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, **Tutorial de Energia Fotovoltaica**, 2006.

CRESESB. **Energia Solar**: princípios e aplicações. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm>. Acesso em 10 mai. 2018.

CRESESB. **Módulos fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=331>. Acesso em 14 mai. 2018.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Potencial Solar – SunData v 3.0**. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 02 jun. 2018

ENERGIA solar fotovoltaica. 2018. Disponível em: <<http://suntag.com.br/portfolio/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 16 mai. 2018

EPE - Empresa de Pesquisa Energética, **Nota Técnica EPE – Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira**, 2012.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética, **Nota Técnica EPE – Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira**, 2016.

EVOLUÇÃO da capacidade instalada no mundo. 2018. Disponível em: <https://incentivesolar.com.br/o-futuro-e-solar-as-perspectivas-para-a-energia-solar-no-mundo/da3e6e_c71da58d51034feca5b7c92b2c259c38_mv2/>. Acesso em: 10 mai. 2018

FOLHA de dados do painel solar – O que você precisa saber. 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/folha-de-dados-do-painel-solar---o-que-voce-precisa-saber.html>>. Acesso em: 10 mai. 2018

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. 2007, 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **World Energy Outlook 2009**, 2011. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

INVERTOR Grid-Tie 25kW com WI-FI Fronius – Eco 25.0. 2018. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-grid-tie-25-0kw-com-wi-fi-fronius-eco-25-0-79185?atributo=178:UNICA&atributo=25:U&atributo=26:UNICA>>. Acesso em: 01 jun. 2018

INPE, **Atlas Brasileiro de Energia Solar ganha nova edição após dez anos**. São Paulo, 2017

LAMARCA JUNIOR, M. R.; **Políticas públicas globais de incentivo ao uso da energia solar para geração de eletricidade**. 2012. 180 f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, PUC-SP, São Paulo, 2012.

MPPT charge controller and its advantages compare to standard PWM. 2018. Disponível em: <<https://meee-services.com/mppt-charge-controller-advantages-compare-standard-pwm/>>. Acesso em: 18 mai. 2018

PAINEL solar 300W Monocristalino Canadian Solar – CS6K300MS. 2018. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-300w-monocristalino-canadian-solar-cs6k300ms-79273?atributo=178:UNICA&atributo=25:U&atributo=26:UNICA>>. Acesso em: 01 jun. 2018

PAÍSES que mais usam energia solar fotovoltaica. 2016. Disponível em: <<http://www.wasolar.com.br/paises-que-mais-usam-energia-solar-2>>. Acesso em: 11 mai. 2018

RENEWABLE ENERGY AND JOBS. **Annual review 2017**, Abu Dhabi: IRENA, 2017

LORENZO, Eduardo; ZILLES, Roberto. **El generador fotovoltaico**. In: LORENZO, Eduardo Org. Electricidad solar: ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. Sevilla: Progensa, 1994.

STRING Box CC. 2018. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/string-box-cc-01-ou-02-strings-01-saida-01-ou-02-entrada-ecosolys-%E2%80%93-ecostring-79179?atributo=178:UNICA&atributo=25:U&atributo=26:UNICA>>. Acesso em 02 jun. 2018