



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL**

EVALDO ANTÔNIO FERREIRA

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E SUAS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

**BARBACENA/MG
2020**

EVALDO ANTÔNIO FERREIRA

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E SUAS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte das exigências para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Barbacena.

Orientador (a): MSc. Tairine Cristine Bertola Cruz.

BARBACENA/MG
2020

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa Elizabeth, e aos meus filhos Letícia, Raquel e Inácio que, com paciência e zelo, me acompanham e me amparam nas dificuldades impostas pela associação de trabalho e faculdade.

*Deem graças em todas as circunstâncias, pois esta é a vontade de Deus
para vocês em Cristo Jesus. 1 Tessalonicenses 5:18*

AGRADECIMENTOS

À Professora Tairine Cristine Bertola Cruz, que com zelo e carinho, me acompanhou oferecendo seus conhecimentos para este estudo, sobretudo pela disponibilidade e amizade.

Ao professor Marcelo Batista do Amaral, colaborador e amigo, que com seu conhecimento técnico e presteza me ofertou a possibilidade de crescimento técnico. E ao amigo Otacílio Lotte, pela oportunidade de aprendizado. Ambos, cada um a seu modo, me proporcionaram aprender e colocar em prática os aprendizados, com presteza e liberdade, ofertando espaço para apresentação dos métodos usuais oferecidos e comercializados atualmente, além de me dar o entendimento de que sempre é possível.

Ao corpo docente da universidade, coordenadores, professores e orientadores que se dispuseram a colaborar efetivamente com informações e incentivos pessoais.

Aos colegas de faculdade que mesmo não participando diretamente, colaboraram com o fomento da alegria de poder ofertar este conteúdo para estudos futuros.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	DESENVOLVIMENTO.....	11
2.1	O sistema de energia fotovoltaica.....	11
2.2	Impactos, benefícios e dificuldades.....	12
2.3	Tipos de células solares.....	14
2.4	Usinas solares e geração centralizada.....	19
2.5	Instalação de sistema fotovoltaico.....	20
2.6	Apresentação de trabalho prático.....	24
3	CONCLUSÃO.....	34
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bateria de lítio-íon.....	14
Figura 2 – Esquema construtivo demonstrativo do painel/placa.....	16
Figura 3 – Polímero de carga positiva.....	17
Figura 4 – Célula orgânica.....	17
Figura 5 – Painéis perovskita.....	18
Figura 6 – Estrutura e visão da célula solar em corte.....	18
Figura 7 – Usina de grande porte.....	19
Figura 8 – Usina doméstica.....	20
Figura 9 – Pino e base de afixação.....	21
Figura 10 – Projeto simplificado usina solar dos Lotte.....	24
Figura 11 - Cálculo de radiação.....	25
Figura 12 - Montagem da Usina Solar dos Lotte.....	26
Figura 13 – Vedação da base da Usina Solar dos Lotte.....	27
Figura 14 - Montagem das paineis da Usina Solar dos Lotte.....	27
Figura 15 – Finalização da Montagem dos paineis da Usina Solar dos Lotte.....	28
Figura 16 - Montagem do aterramento da Usina Solar dos Lotte.....	29
Figura 17 – Montagem de quadro de distribuição de circuitos (QDC) da Usina Solar.....	28
Figura 18 – Medidor de energia bidirecional.....	30
Figura 19 – Elemento independente String Box da Usina Solar dos Lotte.....	30
Figura 20 – Inversor da Usina Solar dos Lotte.....	30
Figura 21 –Produtividade da usina.....	32
Figura 22 – Gráfico de produtividade diária.....	32
Figura 23 – Gráfico Maior insolação diária.....	33

RESUMO

Este estudo trata das tecnologias atuais e aplicabilidades dos sistemas fotovoltaicos. O objetivo deste trabalho de pesquisa é apresentar, através da literatura e de um trabalho prático, os métodos produtivos da energia fotovoltaica, suas vantagens e desvantagens, custos, eficácia e principalmente o conforto e segurança oferecidos. A questão norteadora diz respeito em como os sistemas fotovoltaicos podem beneficiar a sociedade em termos de geração de energia. Tem-se a hipótese de que quanto mais se desenvolver pesquisa para o conhecimento e inovações de novos materiais, pode-se otimizar a produção, minimizar os impactos, reduzir o valor do equipamento com possibilidade de apresentação e adequação para toda a sociedade, facilitar a aquisição em todos os ramos industriais e sociais. Para alcançar o objetivo e responder ao questionamento do estudo, a metodologia de pesquisa utilizada foi, em um primeiro momento, a revisão de bibliografia, nos motores de busca Scielo e Acadêmico, além de livros e compêndios sobre o tema. Conclui-se que, com estes modelos de tecnologia cada vez mais presentes no nosso dia-dia, pode-se infundir na sociedade um método racional de economizar e superar o déficit de energia elétrica mundial, com a aplicação das tecnologias existentes e as em estudos, existindo a possibilidade de se vislumbrar em um futuro muito próximo a autossuficiência e a transformação energética mundial, passando de uma preocupação a um bem durável e inesgotável, que poderá ser oferecido a todos.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica. Sistemas fotovoltaicos. Tecnologia. Inovações.

ABSTRACT

This study deals with the current technologies and applicability of photovoltaic systems. The aim of this research work is to present, through literature and practical work, the photovoltaic energy production methods, their advantages and disadvantages, costs, effectiveness and especially the comfort and safety offered. The guiding question concerns how photovoltaic systems can benefit society in terms of energy generation. It has the hypothesis that the more research is developed for knowledge and innovations of new materials, the production can be optimized, the impacts can be minimized, the value of the equipment can be reduced with the possibility of presentation and adaptation for the whole society, facilitating the acquisition in all industrial and social branches. In order to achieve the objective and answer the question of the study, the research methodology used was, at first, the bibliography review, in the Scielo and Academic search engines, in addition to books and textbooks on the subject. We conclude that, with these technology models increasingly present in our daily lives, a rational method of saving and overcoming the global electricity deficit can be infused into society, with the application of existing technologies and those in studies, there is a possibility of glimpsing self-sufficiency and global energy transformation in the very near future, moving from a concern to a durable and inexhaustible good that can be offered to everyone.

Keywords: Photovoltaics. Photovoltaic systems. Technology. Innovations.

1 INTRODUÇÃO

Diante da atual realidade mundial, com escassez dos recursos hídricos renováveis, visualiza-se ser necessária uma nova tecnologia para a produção de energia elétrica, energia esta que é necessária e indispensável na maioria das produções, equipamentos, máquinas e outros, que são utilizados pelo homem em suas diversas atividades cotidianas.

A procura por novas formas de recolher ou produzir energia é uma das maiores e inquietantes obstinações do homem. Mesmo nos tempos mais remotos, já se sonhava com algo que pudesse diminuir a escuridão ou mesmo facilitar a geração do fogo, utilizado como arma contra o inimigo e como fonte de calor para aquecer-se e alimenta-se.

Nos meados do século XVII, Ottom Van Guericke inventou uma máquina que, com uma porção de enxofre girando a uma velocidade elevada em atrito ao solo seco, produzia-se uma tensão elétrica. Com o passar dos tempos e com a evolução dos equipamentos, a produção de energia foi sendo aprimorada e surgiram a energia produzida hidraulicamente e a energia pela queima de produtos minerais. A eletricidade se tornou fundamental tanto na evolução social, na socialização do indivíduo e na sua sustentabilidade, promovendo novas formas de produção e consumo, diminuindo distancias e facilitando a vida diária de milhares de usuários (ROONEY, 2013).

Ao analisar-se a atual realidade da matriz energética mundial, percebe-se a sua escassez eminente, provocada pela falta dos recursos naturais, ora por falta de água, ora por impossibilidade de deter seu curso original para a geração de energia, esbarrando nas leis ambientais que vigoram na intenção de proteger o meio ambiente.

As usinas termoeletricas e nucleares, por sua vez, podem vir a provocar um dano ainda maior ao sistema ambiental. Diante disso, a iminência de novas fontes alternativas para o suprimento desta demanda tornou-se fundamental.

A energia fotovoltaica chega para minimizar ou desafogar os principais fatores que são o aumento do consumo e a diminuição da disponibilidade hídrica. Neste cenário, estabelece-se como revolucionaria e de grande avanço, constituindo-se como uma energia limpa, renovável e que pode possibilitar o aumento do acesso a lugares mais carentes.

Uma das maiores e melhores finalidades do sistema fotovoltaico é a possibilidade de sua interligação com as redes das companhias de eletricidade locais, produzindo uma energia limpa, silenciosa e renovável.

Nos dias atuais, as vantagens econômicas que envolvem a captação desta energia, além dos benefícios ambientais têm impulsionado o setor. Observa-se uma redução no custo

inicial de sua instalação, o que resultou em uma maior aquisição pela população, pois as vantagens que o sistema fotovoltaico oferece representam as diversas alternativas de energia e a melhoria no abastecimento mundial. Comunidades isoladas e tribos indígenas que usam diesel como combustível (este que é muito poluente) hoje podem contar com esse sistema de energia para movimentarem seus equipamentos e maquinários (DANTAS e POMPERMAYER, 2018).

O objetivo deste trabalho de pesquisa é apresentar, através da literatura e de apresentação de um trabalho prático, os métodos produtivos da energia fotovoltaica, suas vantagens e desvantagens, custos, eficácia e principalmente o conforto e segurança oferecidos. A questão norteadora diz respeito em como os sistemas fotovoltaicos podem beneficiar a sociedade em termos de geração de energia.

Tem-se a hipótese de que quanto mais se desenvolver pesquisa para o conhecimento e inovações de novos materiais, pode-se otimizar a produção, minimizar os impactos, reduzir o valor do equipamento com possibilidade de apresentação e adequação para toda a sociedade, facilitando a aquisição em todos os ramos industriais e sociais.

Para alcançar o objetivo e responder ao questionamento do estudo, a metodologia de pesquisa utilizada foi, em um primeiro momento, a revisão de bibliografia, nas plataformas de busca Scielo e Acadêmico, além de livros e compêndios sobre o tema, utilizando os seguintes descritores: energia; energia fotovoltaica; aplicabilidade; tecnologia; inovações. Em um segundo momento, foi descrito um trabalho prático de instalação de sistema fotovoltaico, com o objetivo de aprofundamento e conhecimento sobre o tema.

Este estudo se justifica com o objetivo de incentivar novas pesquisas no intuito de melhoria dos sistemas fotovoltaicos, canalizar os resultados de pesquisas para uma melhoria dos equipamentos e dos conhecimentos dos pesquisadores, aplicar o resultado na prática de produção e uso, minimizar as dúvidas primitivas com o intuito de oferecer estes equipamentos como componente fundamental e prioritário em qualquer edificação, incorporando este sistema nos projetos de construção a fim de diluir os custos de forma a não impactar no custo final da edificação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 O sistema de energia fotovoltaica

O desenvolvimento do sistema fotovoltaico teve início graças à inovação e capacidade do físico francês Alexandre Edmond Becquerel, no século XIX. Este cientista teve a ideia de usar a luz solar como fonte de energia, e com seus incansáveis testes e estudos, em 1839, observou pela primeira vez um efeito de reação e calor provocado pela exposição de eletrodos a luz solar, durante um grande período de tempo, sendo o início da descoberta da energia solar.

Os avanços nos estudos sobre luz solar e produção de energia levaram Albert Einstein a publicar, em 1905, um artigo onde afirmava que um raio de luz deveria ser tratado como um conjunto de partículas de energia que se propagam pelo espaço. Tal constatação foi de grande importância para os estudos fotovoltaicos e proporcionou a próprio Einstein o prêmio Nobel no ano de 1921, concretizando este sistema como uma maneira importante de produzir energia limpa.

Já na era moderna, o químico americano Calvin Fuller, em 1954, desenvolveu o processo de dopagem do silício, sendo esta descoberta partilhada com outro físico americano, chamado Gerald Pearson que, com dinamismo e muito esforço, otimizou as reações do silício descobrindo que as amostras exibiam um comportamento fotovoltaico, sendo estes reafirmados por outro físico americano chamado Daryl Chapin.

A primeira célula fotovoltaica produzida por Fuller era de silício dopado com arsênio, e depois com boro, onde estas combinações promoveram uma placa com eficiência recorde para a ocasião, abrindo caminho para novas pesquisas. Esta forma foi apresentada a sociedade em 25 de abril de 1964, como uma célula solar que mudaria os rumos da captação e produção de energia limpa.

Com a primeira demonstração de um efeito fotovoltaico, apresentada em 1839 por Edmond, com apenas 19 anos, deu-se início a corrida pela sua melhoria, sendo observado por diversos físicos e cientistas. A partir do surgimento das primeiras células fotovoltaicas, que se deu no século XX, muito se fez em busca de seu aprimoramento. Atualmente, as placas ou painéis fabricados conseguem receber e processar uma maior quantidade de raio solares diariamente (PORTAL SOLAR, 2016).

Por intermédio do efeito fotovoltaico, que se dá pela aglomeração de silício reagindo em função da radiação provocada pelo calor do sol, suas moléculas entram em movimentos

desordenados provocando aquecimento e movimentação da corrente elétrica gerada no sistema.

Segundo Almeida *et al* (2016), citando Severino e Oliveira “o efeito voltaico é gerado através da absorção da luz solar, que ocasiona uma diferença de potência na estrutura do material semicondutor”.

Nos últimos anos, a popularização do sistema fotovoltaico tem aumentado. No Brasil, em 2012, haviam apenas treze locais cadastrados que produziam energia solar, onde antes só se captava luz solar para o aquecimento de água. Já em 2016, o setor registrou um crescimento de 270%, aumentando para 304% em 2017 e, no final de 2018, foi registrado um crescimento de 358%. Dessa forma, o consumidor individual foi quem mais aderiu ao sistema, pois das 32 mil unidades instaladas, 77,4% são residenciais, 16% comerciais, 3,2% rurais e por fim 2,4% industriais (TERRA, 2018).

Este crescimento está relacionado aos programas de incentivo e financiamentos ofertados pelo governo e pela liberação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) à produção própria de energia elétrica de fonte renováveis, com o repasse da energia excedente a rede distribuidora, em troca de descontos na conta de eletricidade (SILVA, 2013).

Outro fator que também pesou na decisão do consumidor para a aquisição do equipamento são os créditos gerados que passaram a valer pelo tempo de cinco anos, além da coletividade de consumo da energia produzida, podendo ter dezenas de residências cadastradas na mesma usina fotovoltaica. Os constantes aumentos das tarifas de energia cobradas pelas distribuidoras que, desde 2012, sofrem reajustes que ultrapassam 44% também colaboram para o incentivo do setor (TERRA, 2018).

2.2 Impactos, benefícios e dificuldades

Na atualidade, os métodos de produção de energia fotovoltaica são considerados os mais eficientes, ao se comparar com as demais fontes produtivas de energia alternativa. O sistema eólico, por exemplo, possui alto custo de implantação e manutenção. Tal método, também, possui o agravante da limitação de regiões propícias a formar corredores de ventos permanentes para mover as hélices do equipamento e, por fim, as longas distâncias com cabeamentos para transmissão da energia produzida (SILVA, *et al.*, 2013).

Por estes e tantos outros motivos, a captação de energia solar está se destacando como uma grande possibilidade nos meios industriais e urbanos. O que em breve se tornará uma máxima em todos os ramos produtivos e de lazer, principalmente pela sua característica

visual, que não impacta e nem ocupa locais de tráfego, com cabos aéreos ou postes, como se vê nas redes de eletricidade convencionais. Dentre todos esses benefícios, acrescenta-se também a ausência de poluição sonora e de toxinas.

Por não conter nenhuma parte mecânica que necessita de movimentos, elimina-se o uso de qualquer componente de petróleo para lubrificação, não sendo necessário também nenhum mecanismo de impulsão. Portanto, os materiais usados na construção da placa coletora de eletricidade fotovoltaica são: alumínio, vidro, filme encapsulante, material vinílico, célula de silício, plástico branco (*backsheet*), junção gabinete e os cabos de cobre ou alumínio que são usados para a condução da energia captada (PORTAL SOLAR, 2018?).

Por ser limpa, sem ruídos, sem contaminação de gases ou petróleo e qualquer outro tipo de componentes degradantes, pode-se dizer que a energia fotovoltaica não contribui com o efeito estufa, relacionado com a falta de chuva, calor intenso, aumento do nível do mar, extinção da flora e da fauna e desastres naturais. Além disso, como sua fonte é inesgotável, diferente dos combustíveis fósseis ou orgânicos utilizados em outros sistemas, a geração fotovoltaica é considerada um sistema renovável (FERIOLI, *et al.*, 2005).

As vantagens desse sistema são inúmeras e só tendem a crescer com inovações e investimentos no setor. Além da redução dos custos em sua produção, a estrutura do sistema fotovoltaico demanda poucas operações de manutenção ou coordenação diária. Ou seja, tem-se uma forma de produzir eletricidade autônoma, que dispensa funcionários ou operadores em sua produção.

As desvantagens do uso do sistema fotovoltaico, apesar de serem poucas, existem. Uma delas é a variação provocada pelo clima. Por se tratar de placas expostas ao sol, que recebem a insolação direta e transformam a radiação em energia, sofrem alteração em sua fonte de calor pelo acúmulo de nuvens durante o dia, diminuindo assim consideravelmente a incidência de produção (NARUTO, 2017).

Outro fator é a mudança das estações do ano, que modifica a inclinação e intensidade do sol no planeta. Regiões como Finlândia, Islândia, Nova Zelândia, sul da Argentina e Chile sofrem quedas bruscas de produção. No Brasil, estas alterações não são percebidas, o que reforça que o país é apropriado para este sistema (MARCOS, 2016).

Entretanto, a maior dificuldade encontrada é o armazenamento da energia produzida, pois o alto custo com baterias faz com que este modelo de captação se torne caro e inviável aos consumidores.

Os carros elétricos, por exemplo, também não possuem ainda baterias leves e com maior autonomia, como ilustrada na Figura 1. Muitos estudos estão sendo feitos para

minimizar esta defasagem, porém ainda não se pode afirmar que existe algum avanço imediato. Ainda assim, a captação da energia solar já está entre as mais procuradas e almejadas pelos usuários residenciais e industriais em todo o mundo (GALDINO, 2012).

Figura 1 – Bateria de lítio-íon



Fonte: Google imagem (2020).

2.3 Tipos de células solares

O reaproveitamento dos raios solares está se tornando uma máxima em quase todas as áreas. À exemplo disso, equipamentos manuais que se recarregam, simplesmente com exposição ao sol, estão se tornando cada vez mais comuns.

Muitas formas de reaproveitamento solar estão em evidência, como aquecedores de água, placas de fotovoltaicos, painéis luminosos, calculadoras, relógios e outros dispositivos que fazem parte do cotidiano do homem, pois a cada dia, a tecnologia é aprimorada e aplicada em novos e maiores equipamentos.

No âmbito das instalações, estas evoluções também sofrem alterações, que viabilizam melhorar a eficiência do equipamento, sendo necessário local adequado para sua implantação. Com configuração simples, as usinas são instaladas em uma área definida pela quantidade de painéis necessários a se obter o resultado esperado em produção de energia (SILVA e SOUZA, 2016).

Os painéis tradicionais, compostos por silício, são bastante usuais na maioria das instalações residenciais. São de relevante aplicação, pois são compostos de material abundante no solo, com alto índice de reaproveitamento elétrico. As células fotovoltaicas produzidas, em grande escala, são compostas por materiais extraídos da mineração (RÜTHER, 2004).

Basicamente, grande parte das placas fotovoltaicas que se encontram no mundo, são produzidas pelo princípio ativo do silício, que é encontrado em forma mineral, também conhecido como sílica, da família dos semi-metais. A sílica é composta por quatro elétrons e possui peso atômico de 28 (U), pertencente ao grupo dos carbonos e é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, ocupando 27,7%, sendo muito usada em ligas metálicas na preparação de diversos produtos, principalmente na indústria eletrônica (BANDEIRA, 2019).

Ainda segundo Bandeira (2019), na produção das células fotovoltaicas, o silício é usado como dispositivo que aproveita a energia produzida pelo sol, criando uma diferença de potencial nos seus terminais, o que permite a formação da corrente elétrica.

De acordo com o PORTAL SOLAR (2018), os principais componentes de uma célula fotovoltaica são:

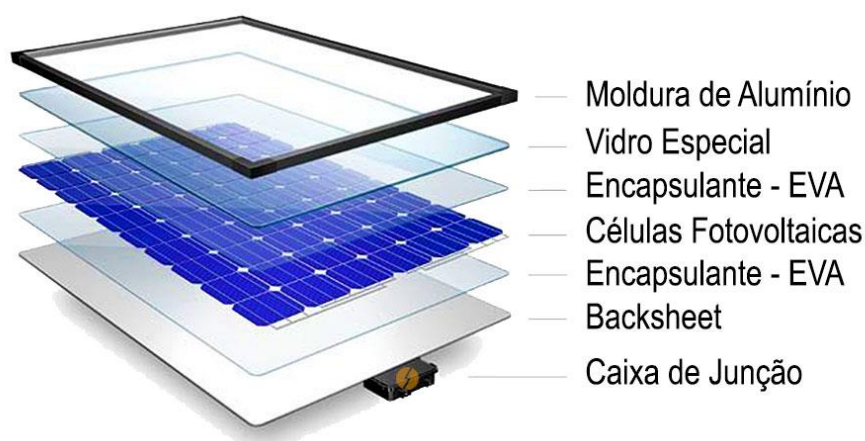
- **Célula fotovoltaica tradicional:** é o principal componente responsável por transformar a luz do sol em eletricidade. Produzida fundamentalmente em silício, representa aproximadamente 60% do custo do equipamento. O filme de silício é composto com espessura menor que 2,0 mm, produzido com sílica pura de grande vulnerabilidade. Deve ser manuseado com muito cuidado pois se danifica facilmente.
- **Vidro especial:** é um vidro extra duro, com baixo teor de ferro e com mínima reflexão do sol para aproveitamento maior dos raios solares. É produzido em têmpera, com aproximadamente 4,0 mm e revestido com substâncias anti-reflexivas. São resistentes à temporais e chuvas de granizo. Representa 10,0% do custo do equipamento.
- **Filme encapsulante:** tradicionalmente conhecido como EVA (acetato vinilo de etileno), é usado como selante e na proteção das células fotovoltaicas contra o envelhecimento provocado pelos raios UV, altas temperaturas e umidade. Representa 8,0% do custo efetivo do equipamento.
- **Backsheet:** plástico branco ou filme branco responsável por proteger os componentes internos do painel. Também age como isolante elétrico. Composto por três camadas isolantes para maior resistência e melhor condutividade da eletricidade. Representa aproximadamente um custo de 8,0% no valor do painel.
- **Caixa de junção ou gabinete:** é responsável pela conexão das placas ou células fotovoltaicas. Afixada na parte posterior do painel, possui no seu interior diodos que garantem o bom funcionamento do mesmo. Dela partem os cabos que se conectam aos

outros painéis e aos cabamentos que derivam para a alimentação e consumo. Estes representam aproximadamente 6,0% do valor do painel.

- **Módulos de revestimento:** moldura feita de alumínio anodizado resistente aos intemperes. Com espessura superior a 4,0 cm, garante a integridade do painel evitando torções e danos nas células. Representa aproximadamente 8,0% do custo efetivo do produto.

Além das células tradicionais, o esforço de estudos com ênfase em seu aprimoramento vem trazendo novos componentes tecnológicos para melhor efetividade do sistema e menor custo. Os painéis de células fotovoltaicas (Figura 2) podem ser fabricados em forma de tinta à base de carbono (eletrônico orgânico), sendo materiais flexíveis e transparentes, usado nas pinturas dos imóveis, carros, em roupas, celulares e outros (CONTURBIA, 2009).

Figura 2 – Esquema construtivo demonstrativo do painel/placa

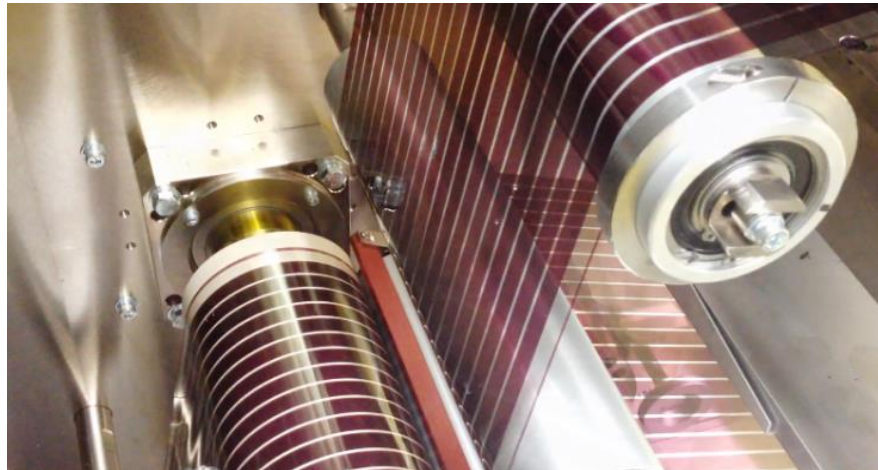


Fonte: Portal Solar (2018).

Dentre as novas tecnologias, destacam-se:

- **Células solares de plástico:** esta célula apresenta excelente eficiência na conversão de energia em eletricidade. Fabricadas em rolos (Figura 3), podem ser utilizadas em grandes painéis flexíveis. Devido ao complexo modo de fabricação, ainda possuem preço pouco atrativo para o consumo em larga escala. No entanto, o pesquisador Yutaca, da Universidade de Osaka (Japão), desenvolveu uma estrutura de polímero ativo, a base de tiofeno com benzodioxociclohexeno, que melhora a condutividade destas cargas. Com este estudo, poderão ser produzidos polímeros que vão permitir fabricar estes dispositivos em massa e de maneira mais simples (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2018).

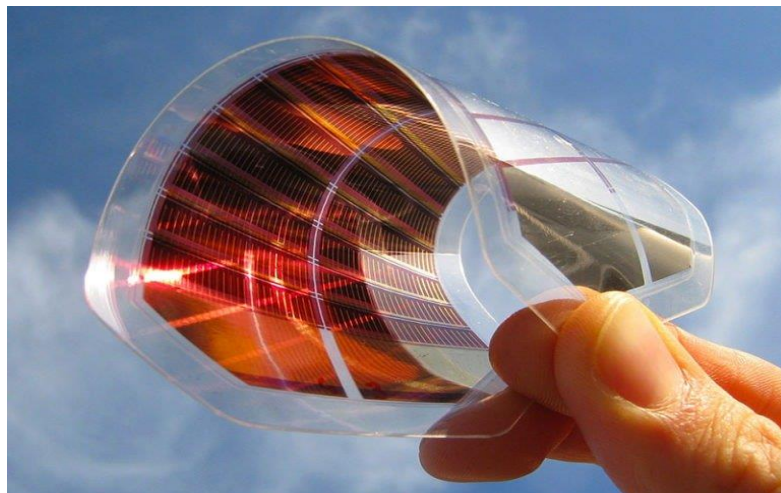
Figura 3 – Polímero de carga positiva



Fonte: Google imagens (2019).

- **Células solares orgânicas:** podem ser usadas em superfícies curvas como revestimento ou cobertura. Esta nova célula a base de carbono, é batizada como célula solar orgânica, composta por moléculas de corrente para absorção do calor e por um filme fino de semicondutores orgânicos, envelopados por dois eletrodos que capturam as cargas na camada semicondutora. Esta descoberta surpreende e abre portas para o uso de materiais mais baratos e de potencial aprimorados, como nano tubos de carbono, grafeno ou nano partículas de metal. Os modernos painéis de células solares operam em processo fóton de luz, com micros partículas compostas pela associação de cargas positivas e negativas das quais são convertidas em eletricidade (CONTURBIA, 2009).

Figura 4 – Célula orgânica



Fonte: Google imagens (2019).

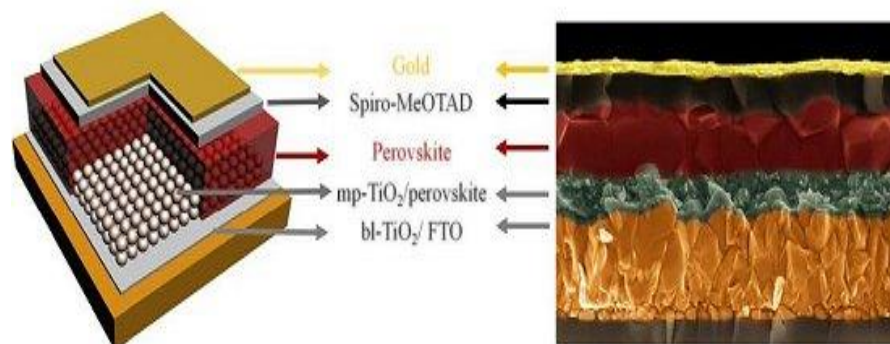
- **Painéis solares de Perovskita** (Figura 5): a Perovskita (óxido de cálcio e titânio) é um mineral relativamente raro, na forma de cristais, que ocorre em rochas metamórficas, associadas a intrusões máficas e a sienitos nefilínicos raros. A perovskita foi descoberta nos montes rurais da Rússia, por Gustav Rose em 1839, e foi nomeada em homenagem ao mineralogista russo Lev Perovski (1792 – 1856). Este tipo de mineral de elevado coeficiente solar (Figura 6) vem chamando à atenção de várias comunidades científicas, por melhorar a eficiência em 20,0% na aplicação dos sistemas de captação de energia. O baixo custo no processamento é o carro chefe para tornar extremamente interessante sua aplicação. A compatibilidade química maleável oferece propriedades elétricas, magnéticas, luminescência e supercondutividade. Os maiores empecilhos enfrentados pelas células de perovskita é a sua toxicidade e sua vulnerabilidade ao oxigênio (RAPHAEL *et al.*, 2018).

Figura 5 – Painéis perovskita



Fonte: Inovação e tecnologia (2019).

Figura 6 – Estrutura e visão da célula solar em corte



Fonte: Inovação e tecnologia (2019).

2.4 Usinas solares e geração centralizada

As usinas solares produzem energia para o mercado livre ou cativo, e passam por leilões de energia, para abastecerem grandes consumidores. Já a geração centralizada, recebe sua aplicação em ambientes particulares sem terceiros ou intermediários, tendo estes consumidores total liberdade de consumo da energia (DANTAS e POMPERMAYER, 2018).

Os sistemas conectados à rede de distribuição são denominados geração distribuída, e toda a energia produzida é entregue a concessionária. Desta forma, as usinas são recompensadas com descontos na conta de energia do consumidor.

O Brasil conta atualmente com diversos parques solares que, juntos, produzem cerca de 1,200 MW de energia. As principais características de um parque solar são:

- Produz alta tensão / grande porte;
- Converter a energia solar em energia elétrica;
- Construída sobre o solo e fixas ou com painéis que se movimentam e acompanham o movimento do sol (chamados de tracker) que possuem maior custo de instalação e manutenção;
- Os painéis recebem a energia do sol que é contínua e a transforma em corrente alternada, que é transformada graças ao inversor;
- Estas placas possuem uma quantidade de energia que é elevada com o auxílio de transformadores que equalizam a energia oferecida;
- Esta energia passa a somar juntamente com a produzida convencionalmente pelas redes de distribuição (PORTAL SOLAR, 2016).

Figura 7 – Usina de grande porte



Fonte: Inovação e tecnologia (2019).

2.5 Instalação do sistema fotovoltaico

Vários critérios devem ser avaliados antes de se iniciar um processo de instalação de um sistema fotovoltaico. Dentre eles pode ser citado: conhecer o mercado e seus desenvolvimentos, saber sobre o produto, suas características, o impacto ambiental, quais as matérias que são usadas na sua construção, sua real eficácia de produção, as vantagens e desvantagens, tirar dúvida primárias, entender sobre a rentabilidade na conta de luz, ver tarifas, fazer simulações, analisar a produtividade em Quilowatts (KW) horas que este equipamento produz, analisar o consumo diário, fazer média dos últimos meses para poder saber qual o tamanho da usina a instalar, ver custos da instalação e o tempo de retorno.

Quanto ao processo de instalação, devem ser seguidos os seguintes passos: escolher local adequado com insolação permanente, fora do alcance de crianças e animais domésticos, ter uma estrutura de base adequada em local definido pelo projetista, o qual deverá ser sólido com inclinação de aproximadamente 1%.

O mais usual na instalação das usinas de consumo residencial (Figura 8) são as estruturas dos telhados das próprias residências, pois estes locais geralmente são estruturas resistentes o bastante para suportar as cargas dos painéis solares. Tais locais devem ser vistoriados e certificados de que irão suportar estas cargas, corrigindo eventuais telhas danificadas e danos na estrutura (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 8 – Usina doméstica



Fonte: Inovação e tecnologia (2019).

Quanto à preparação e prevenção, os painéis devem ser limpos ou corrigidos de acordo com prazo de manutenção estipulado pela empresa instaladora, tendo devida precaução

quanto a periculosidade deste serviço, o qual sofre influências diretas pela inclinação do telhado, a exemplo da figura oito.

Deve ser escolhido a vértice do telhado com maior insolação possível para a maior captação dos raios e o maior tempo desta insolação. Caso a vértice melhor não seja suficiente para a acomodação dos painéis solicitados no projeto, devem ser construídas bases elevatórias com inclinação na vertente mais próxima para auxiliar a correção da demanda (PINHO e GALDINO, 2014).

Os diversos tipos de telhas influenciam no modo como deveram ser instalados os painéis, assim como as bases receptoras. Neste caso, cada estrutura irá receber uma aplicação distinta destas bases.

Em todos os casos devem ser observadas as furações para a afiação destas bases (Figura 9), pois uma vedação malsucedida provocará danos ao próprio telhado e a estrutura propriamente dita da edificação, esta vedação deve ser feita e testada imediatamente, ela deve proteger a base do painel e a estrutura do telhado receptor.

Figura 9 – Pino e base de afiação



Fonte: Inovação e tecnologia (2019).

Quanto às bases, estas devem ser em material não corrosivo, como por exemplo inox, alumínio e outros, que não degradam com o tempo, pois ficaram sujeitos a intempéries diuturnamente.

Os locais de passagens dos cabamentos também deveram ser preparados e protegidos com as mesmas exigências que a das bases, os orifícios de passagem também deveram ser feitos no convexo da telha e isolados da mesma forma. No caso de telha metálica deveram

ocorrer uma proteção especial para que não haja o contato dos cabos com o material ferroso, para evitar acidentes ou curto elétrico provocado pelo ferimento no cabo.

Todo equipamento deve ser instalado com segurança e resistência, o inversor de corrente contínua para corrente alternada deve ser incorporado à base sustentadora do painel. Este conversor estabiliza a corrente, e é responsável por transformar esta mesma corrente elétrica em potência para os equipamentos, onde também a equalizam para ser transmitida para a rede da concessionária local. Este equipamento é construído basicamente em bobinas eletro condutoras, e transportam a corrente para o mecanismo elétrico que funciona como um adaptador de energia.

O sistema on-grid (conectado à rede), é um mecanismo elétrico, e assim como o grip-tay, é um conversor geral e capta a corrente contínua de diversos painéis, a equaliza para o consumo e ou a transferência para a rede de abastecimento local. Já o último sistema é o conversor off-grid (não conectado à rede) que é um equipamento independente de eletricidade. Este é ideal para locais onde não se tem fornecimento de eletricidade de uma concessionária. Todos estes inversores devem ser normatizados e ter aprovação das normas técnicas responsáveis, estes devem ser instalados em ambiente protegido e longe do alcance de crianças e animais (BORTOLOTO, 2017).

Durante a instalação do painel, por este ser muito frágil, deve ser manuseado com cautela e precisão, por ter sua matéria prima em silício com micros condutores associados, sendo bastante vulnerável a impactos ou torções, em caso de pancadas ou torções devem ser conferido antes de concluir a total instalação. Deve ser afixado na base receptora em abotoadores próprios a não danificar a sua base de recobrimento, ser afixado com resistência e firmeza, ter os cabos condutores ligados corretamente ao inversor. Devem sofrer manutenção periodicamente para sua proteção e durabilidade (PINHO e GALDINO, 2014).

Feita a correta instalação do painel e sua ligação ao conversor, este deve ser ligado ao sistema elétrico residencial por meio de um relógio medidor bidirecional nos casos da usina on-grid, a qual fornecera eletricidade para as duas fontes consumidoras, a residência e a operadora de eletricidade. No período noturno o relógio medidor bidirecional fará o giro contrário e abastecera a residência.

Nos casos do sistema off-grid a eletricidade produzida é consumida no local, e o que se excede é desprezado no caso de não haver um banco de baterias acumuladoras. Neste caso nos períodos noturnos não a fornecimento de eletricidade. Por outro lado, se a fonte geradora possuir um banco de baterias esta poderá armazenar a eletricidade remanescente, e esta poderá ser utilizada nos períodos noturnos (FERIOLI *et al*, 2005).

A construção e preparo para a instalação da usina fotovoltaica se inicia com a visita de um engenheiro técnico responsável, de empresa registrada ao órgão expedidor e na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), contratado pelo cliente, para coleta de dados e preparo dos cálculos, planilhas e todos os documentos necessários para definir o melhor sistema a ser instalado naquela residência.

Com os dados em mãos sobre o consumo diário, de eletricidade o engenheiro contratado elabora projeto que definira a modalidade de compensação dentro das normas NR 482/2012 e NR 687/2015 para apresentação junto à concessionária de eletricidade local, a qual fornece autorização de instalação da usina.

Tendo em mãos a autorização inicia-se as modificações primárias para os preparativos de instalação dos equipamentos, iniciados pela substituição do relógio medidor convencional por um bidirecional preparado para operar conforme a demanda de consumo, onde este fornecera corrente elétrica para a rede da concessionária nos períodos em que a energia produzida não seja totalmente consumida pela residência, e de forma antagonista nos períodos sem produção.

Com o relógio medidor instalado, o requerente protocola pedido de transferência de medidor junto à concessionária, para liberação do abastecimento elétrico por este mecanismo, o qual passará a operar integralmente exercendo as duas funções. Feito isto a empresa inicia o processo de instalação dos equipamentos, que fazem parte da usina fotovoltaica.

A montagem dos equipamentos deverá ser executada pela empresa contratada e com mão de obra qualificada segundo as normas de instalação previstas na NBR 5410/2004 e NBR 16690/2019, que tratam das disposições de instalações de baixa tensão e requisitos de projetos. Escolhendo a melhor vertente do telhado ou terreno para a afixação das bases aparafusadas na estrutura local, com aplicação dos módulos solares, instalação do inversor de frequência e local protegido contra intempéries, juntamente com a caixa de junção e conexão de ambos, aplicação de painel de monitoramento, ligado à rede internet local, que fará a coleta de dados de produção e consumo diários e passar as informações em tempo real para o gerador/ consumidor. Para finalizar o processo faz-se a conexão do cabeamento a rede geral da residência já preparada para o recebimento do equipamento (PINHO e GALDINO, 2014).

2.6 Apresentação de trabalho prático

Esta apresentação tem por objetivo demonstrar, na prática, o processo de instalação de uma usina fotovoltaica, na qual pode ser observado todo o método construtivo e operacional necessário para o bom funcionamento e a produtividade do sistema.

Nela são apresentadas todas as normas de liberação, aquisição, instalação e produtividade dos equipamentos, podendo ser demonstrado nos gráficos e tabelas que fazem parte deste escopo. Tendo início por abertura de processo junto à concessionária administradora de energia elétrica, que sua tem jurisdição da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) a qual está se posicionando a favor do crescimento das usinas fotovoltaicas em sua jurisdição, promovendo benefícios para que mais residências possam aderir a este método econômico e ambientalmente correto.

Com isso, este trabalho visa demonstrar a simplicidade da instalação do equipamento e alguns pontos importantes que fazem parte do modo de prevenção dos componentes do sistema.

A Figura 10 abaixo apresenta o sistema escolhido pelo engenheiro elétrico para atender a demanda da residência. Neste sistema estão contemplados os gastos diários de uma família, de classe média com cinco habitantes.

Figura 10 – Projeto simplificado usina solar dos Lotte



CEMIG DISTRIBUIÇÃO
Requisitos para a conexão de Acessantes ao
Sistema de Distribuição Cemig – Conexão em Baixa Tensão

ND- 5.30 Março de 2016

3.2.1 Conexão de Geradores Através de Inversores

Para conexão de geradores que utilizam inversor como interface de conexão, como geradores eólicos, solares ou microturbinas, deverá ser utilizado como referência o esquema simplificado conforme a seguir:



Fonte: Lotte (2016).

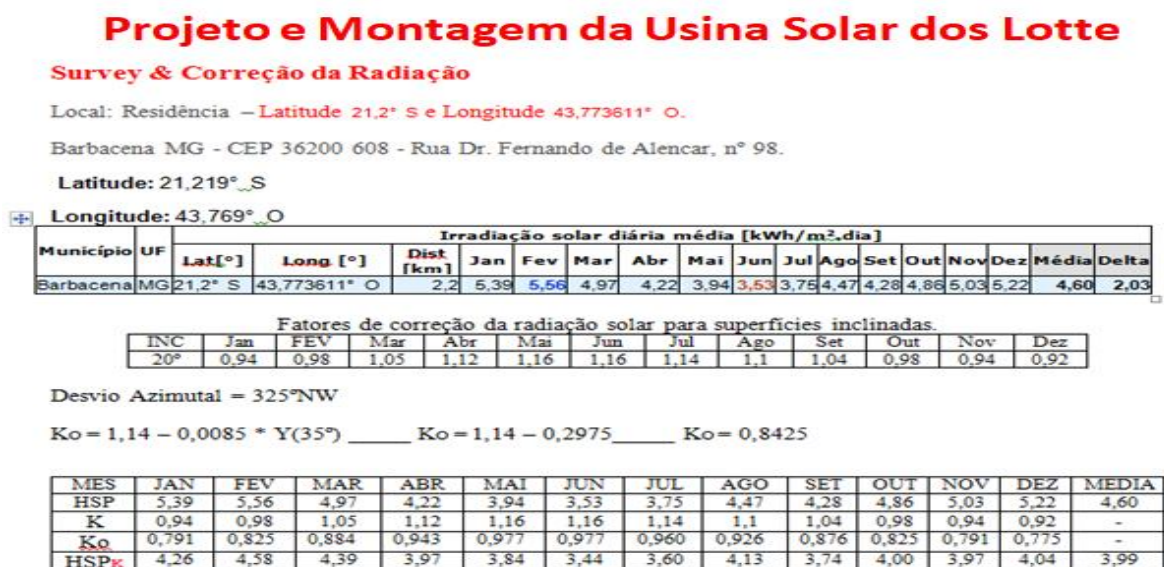
Como se trata de um equipamento conectado à rede elétrica, e todo o sistema necessita de autorização da distribuidora regional, a mesma receberá as conexões dos geradores e dos inversores de interface que serão os condutores da eletricidade produzida.

Obtida a autorização, e tendo como base a análise de consumo diário da residência, foram calculados os números de placas necessárias para formação da usina com o objetivo de suprir a demanda inicial.

As extensões de teste foram favoráveis e observou-se que a produção energética atingiu os parâmetros desejáveis, e que a usina micro geradora foi condicionada a liberação para funcionamento, com todo seu sistema interligado a rede de abastecimento local. Com a viabilização do sistema instalado passou-se a solicitação de acesso, do qual foi previamente atendido e vistoriado pela companhia, tendo sua aprovação e liberação para funcionamento. Diante do disposto, num prazo útil de 25 dias, foi efetuada a conexão de todo o sistema junto à rede de distribuição.

Paralelo ao processo de autorização e conexão junto a rede da concessionária (Figura 11), foram produzidas também toda as documentações básicas de geração distribuída da usina fotovoltaica, sendo anexada nesta documentação as informações pertinentes do processo, que são memorial descritivo do sistema de micro geração, diagrama multipolar básico, anotação de responsabilidade técnica (ART) do engenheiro responsável.

Figura 11 - Cálculo de radiação



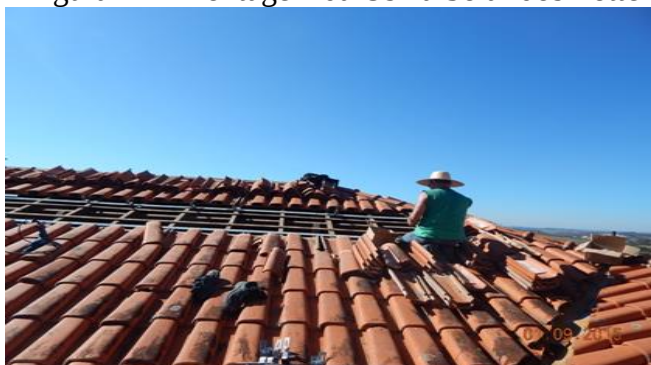
Fonte: Lotte (2016).

Devem também ser inseridas a certificação do inversor fornecida pelo fabricante e da ABNT, certificação dos módulos captadores (placas), todos atendendo as normas da NBR 482/2012, NBR 467/2015 e as normas da ABNT vinculadas. Juntamente com esta documentação foram apresentadas a localização da usina, sua latitude, longitude, radiação, fator de correção da radiação e o fator desvio azimutal.

Obtida a concessão vinculada ao CPF do proprietário da residência, e tendo em mãos o cadastro com todas as autorizações, seguiu-se para a montagem efetiva da usina, tendo seu primeiro passo o preparo das bases receptoras dos equipamentos, com a finalidade de obter resistência e garantir o bom funcionamento da usina.

Por se tratar de uma residência no perímetro urbano, e com espaço limitado, foi definido o local de acomodação das placas sobre o telhado da edificação, demonstrado na Figura 12 abaixo.

Figura 12 - Montagem da Usina Solar dos Lotte



Fonte: Lotte (2016).

Dentre as normas exigidas para a instalação de uma usina, são necessários o cumprimento de requisitos como: proteção de equipamentos, manutenção preventiva, correção das bases, resistência dessas bases contra intempéries e vedação adequada se tratando de estrutura de cobertura da edificação.

Tendo em vista que a instalação da usina foi realizada no telhado da residência, fez-se necessário o processo de vedação, como apresentado na Figura 13, priorizando a perfuração do convexo da telha cerâmica, fato este que minimiza infiltrações.

Figura 13 – Vedação da base da Usina Solar dos Lotte



Fonte: Lotte (2016).

Terminado todo o preparo das bases, com a vedação apropriada, segue-se para a instalação dos painéis de captação solar, sendo sobrepostos individualmente sobre a base afixadora, com inclinação ajustada mediante a melhor insolação diária (Figura 14).

Figura 14 - Montagem das paineis da Usina Solar dos Lotte



Fonte: Lotte (2016).

Nesta residência observa-se que além da instalação dos painéis fotovoltaicos foram também aplicadas placas de aquecimento solar hídrica (Figura 15). Este sistema, apesar de misto, é independente, pois as placas de fotovoltaico canalizam eletricidade para a rede da concessionária, retornando para a residência e as placas de aquecimento solar de água conduzem água quente para as torneiras e chuveiros da residência favorecendo assim o consumo de eletricidade e potencializando a economia. Essa associação demonstra a capacidade de aproveitamento dos recursos solares.

Figura 15 – Finalização da Montagem dos painéis da Usina Solar dos Lotte



Fonte: Lotte (2016).

Terminada a aplicação das placas junto às bases, passou-se para a instalação do sistema de aterramento do quadro QDC, do elemento independente String Box e do medidor bidirecional, que fazem parte do sistema de complementação e transformação de geração de energia fotovoltaica (Figuras 16 a 20). Todos estes aparelhos, apresentados nas figuras a baixo, são normatizados e determinados pelas NBR 482/2012, NBR 467/2015 e atestados pela ABNT específica de cada elemento.

Figura 16 - Montagem do aterramento da Usina Solar dos Lotte



Fonte: Lotte (2016).

Figura 17 – Montagem de quadro de distribuição de circuitos (QDC) da Usina Solar dos Lotte



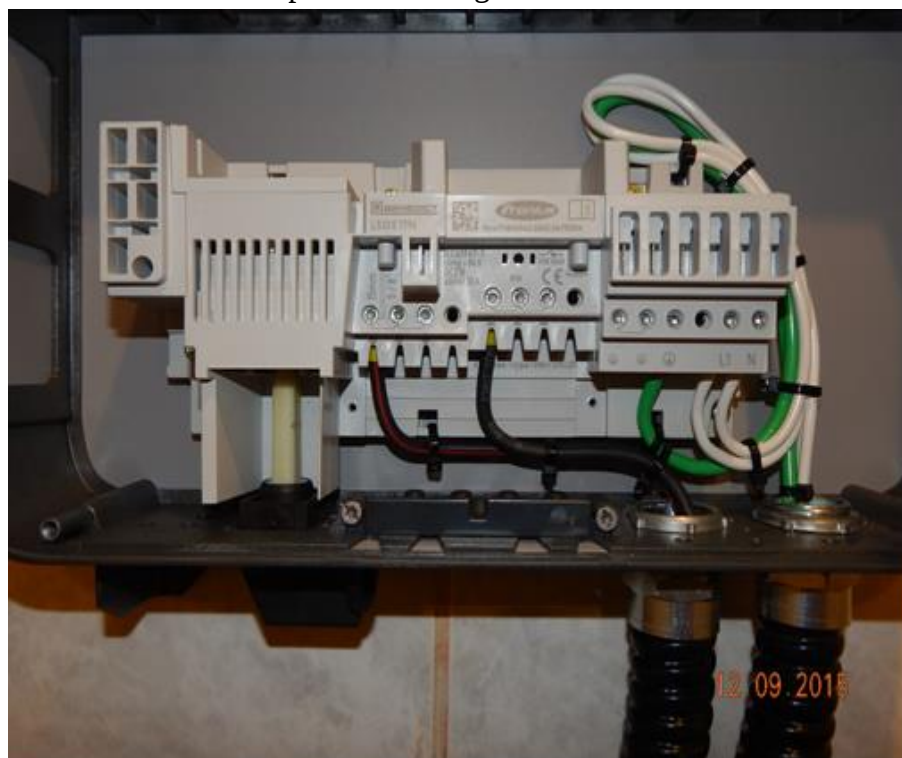
Fonte: Lotte (2016).

Figura 18 – Medidor de energia bidirecional



Fonte: Lotte (2016).

Figura 19 – Elemento independente String Box da Usina Solar dos Lotte



Fonte: Lotte (2016).

Figura 20 – Inversor da Usina Solar dos Lotte



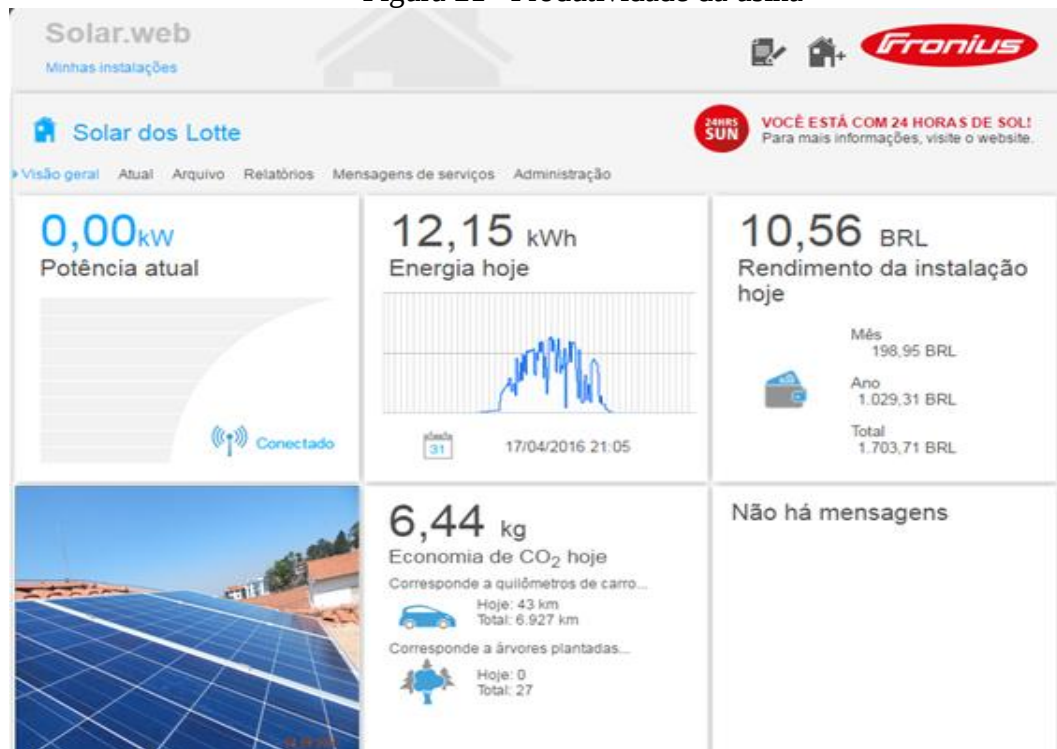
Fonte: Lotte (2016).

Tendo finalizado as instalações de todos os componentes da usina fotovoltaica e a sua conexão junto à rede pública de eletricidade, acionaram-se os disjuntores, e a mesma se tornou elemento produtivo para a residência e a sociedade.

O excedente produzido é injetado na rede nos períodos diurnos, e retornam como eletricidade nos períodos noturnos. Todo este sistema é monitorado 24 horas e apresentado em tabelas e gráficos demonstrativos.

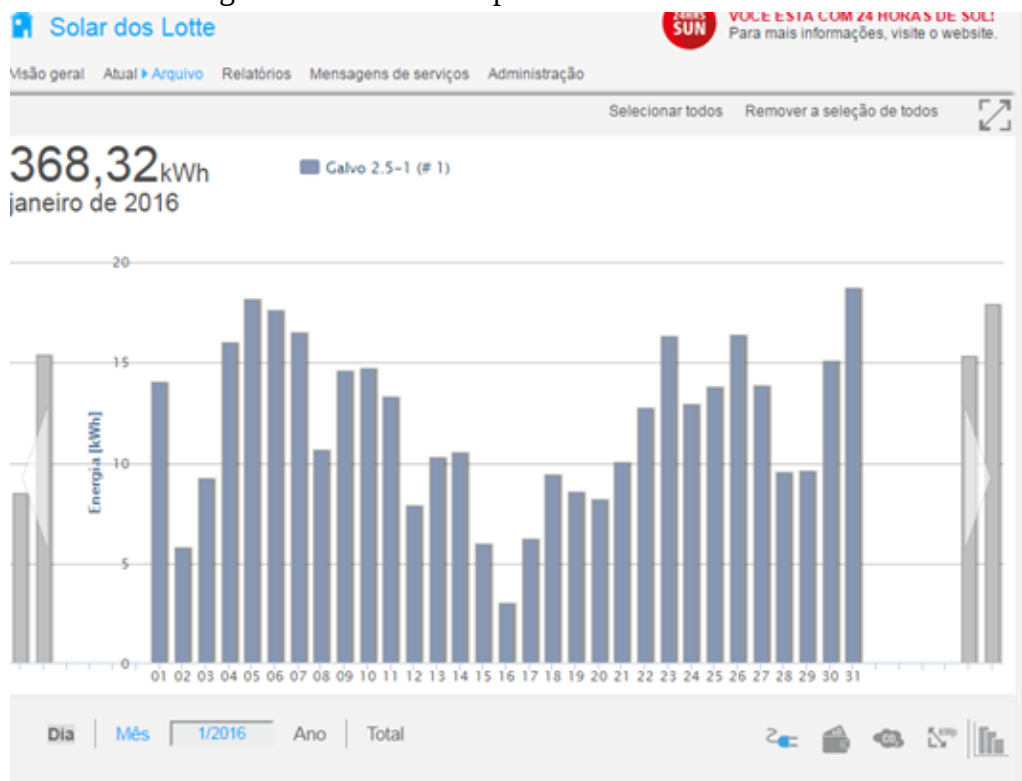
Estas demonstrações em tabelas favorecem a análise produtiva e operacional demonstrando a eficiência do equipamento e a sua contribuição. No caso da usina fotovoltaica dos Lotte os gráficos das Figuras 21, 22 e 23 demonstram a produtividade e insolação por período.

Figura 21 –Produtividade da usina



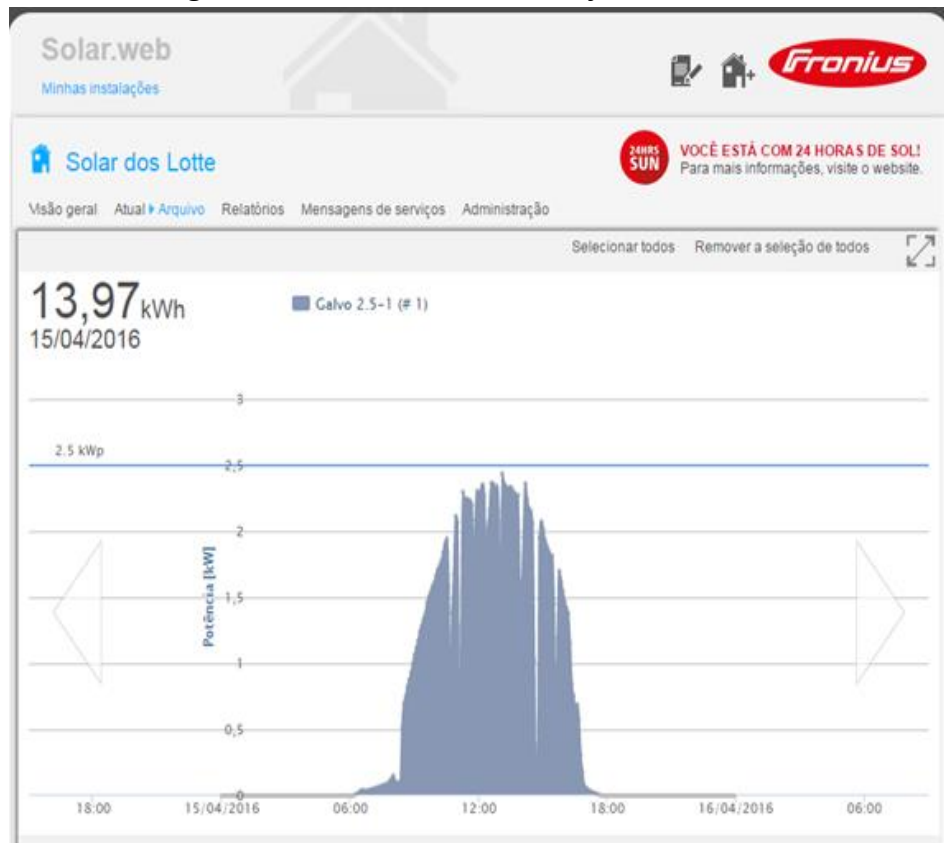
Fonte: Lotte (2016).

Figura 22 – Gráfico de produtividade diária



Fonte: Lotte (2016).

Figura 23 – Gráfico Maior insolação diária



Fonte: Lotte (2016).

3 CONCLUSÃO

Fica sucinto que, diante dos trabalhos realizados, pode se observar processos de iniciação as diversas e remotas tentativas por vários pesquisadores de diversas épocas e realidades, de várias regiões ao redor do mundo, de muitas realidades diferentes, dos quais foram galgando com suas pesquisas primarias e sem nenhum artifício tecnológico que os pudesse auxiliar, diante de tão duras pesquisas estes foram os precursores das inovações hoje visíveis e reais.

Entende-se que os sistemas fotovoltaicos podem beneficiar a sociedade em termos de geração de energia, com todas as facilidades de processamento dos novos materiais, que se tornarão fundamentais para melhoria dos equipamentos de sistema fotovoltaico. Mesmo esbarrando nos monopólios governamentais, observa-se um cenário promissor e tranquilo, podendo evidenciar as inovações e realizações atuais.

Isso corrobora a hipótese de que quanto mais se desenvolver pesquisa para o conhecimento e inovações de novos materiais, mais se pode aperfeiçoar a produção, minimizar os impactos, reduzir o valor do equipamento com possibilidade de adequação para toda a sociedade, facilitar a aquisição em todos os ramos industriais e sociais.

Nas revisões periódicas para manutenção e adequação de pequenos elementos de funcionamento, a maioria dos clientes demonstram-se efetivamente felizes com as economias provindas da redução das tarifas de energia da conta aplicada pela concessionária de eletricidade, promovendo satisfação e sensação de alto suficiência.

Em uma sociedade capitalista e com as cargas tributarias impostas pelos diversos elementos do fator distribuição, transporte, fornecimento e outros, vislumbrar a auto suficiência é tão satisfatório quanto a uma promoção ou uma realização profissional, esta motiva e enaltece o indivíduo para que aplique cada vez mais atitudes que possa trazer ou fazer o sustentável para nossa sociedade.

Conclui-se que, com estes modelos de tecnologia cada vez mais presentes no dia-dia, pode-se infundir na sociedade um método racional de economizar e superar o déficit de energia elétrica mundial, com a aplicação das tecnologias existentes e as em estudos, existindo a possibilidade de se vislumbrar em um futuro muito próximo a autossuficiência e a transformação energética mundial, passando de uma preocupação a um bem durável e inesgotável, que poderá ser oferecido a todos.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Eliane et al. **Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica**. Artigo científico, in: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>, Outubro, 2016.

BANDEIRA, Cleidson Malta et al. **Estimativa de radiação solar global por um painel fotovoltaico de silício poli cristalino**. 2019.

BORTOLOTO, Valter A. et al. **Geração de Energia Solar On Grid e Off Grid**. In: VI JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica. 2017.

CONTURBIA, Giovanni de Lima Cabral et al. **Células solares baseadas em nano tubos de carbono modificado e nano partículas de ouro**. 2009.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro: IPEA, 2018.

FERIOLI, K. C. O. et al. **Projeto de Sistema fotovoltaico isolado (OFF GRID) para residências**. IESAM: Belém, 2005.

GALDINO, Marco Antônio. **Análise de custos históricos de sistemas fotovoltaicos no Brasil**. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar. 2012.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Células solares de plástico ficaram ainda mais simples**. Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=celulas-solares-plastico-ficam-ainda-mais-simples#.X6gvKGhKjIV>. Acesso em: 15 out. 2020.

NARUTO, Denise Tieko. **Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica**. Monografia de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual De Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**, CEPTEL-CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. **Como funciona o painel solar fotovoltaico (placas fotovoltaicas)**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 11 out. 2020.

PORTAL SOLAR. **História da energia solar: como tudo começou**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-da-energia-solar-como-tudo-comecou.html>. Acesso em: 10 out. 2020.

RAPHAEL, Ellen et al. **Perovskites Solar Cells: A New Emerging Technology**. Química Nova, v. 41, n. 1, p. 61-74, 2018.

ROONEY, Anne. **A história da física**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora, 2013,

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC, 2004.

SILVA, Gardênio Diogo Pimentel da; SOUZA, Marcelo José Raiol. **Análise de variáveis de projeto de sistema solar fotovoltaico utilizando o modelo sam: uma comparação entre Belém, Fortaleza e Brasília**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 5, n. 2, p. 297-312, 2016.

SILVA, Manuella Pereira da et al. **Esforço das concessionárias de energia elétrica para o desenvolvimento de tecnologias de fontes alternativas de energia: o caso das Empresas Eletrobrás**. 2013.

TERRA. **Energia solar atinge crescimento histórico no Brasil**. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/dino/energia-solar-atinge-crescimento-historico-no-brasil,b338ce48bc6f7176de6523095b1fe4eddow4ba64.html#:~:text=H%C3%A1%20seis%20anos%2C%20apenas%2013,para%202018%20%C3%A9%20de%20358%25>. Acesso em: 10 out. 2020.