



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CÉLULAS FOTOVOLTAICAS:
O FUTURO DA ENERGIA ALTERNATIVA**

PUBLICAÇÃO Nº: 14

**GOIANÉSIA/GO
2018**

**ANIZIO CINTRA JÚNIOR
IGOR MENEZES DE SOUZA**

PUBLICAÇÃO N°: 14

**CÉLULAS FOTOVOLTAICAS:
O FUTURO DA ENERGIA ALTERNATIVA**

**TRABALHO APRESENTADO AO PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DA FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA,
COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL.**

ORIENTADOR: Me EDUARDO MARTINS TOLEDO

**GOIANÉSIA/GO
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

ANIZIO CINTRA JÚNIOR.
IGOR MENEZES DE SOUZA.

Células fotovoltaicas: O futuro da energia alternativa

43P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Energia Solar	2. Células fotovoltaicas
3. Energia Alternativa	
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CINTRA JÚNIOR, Anizio; SOUZA, Igor de Menezes. **Células fotovoltaicas: O futuro da energia alternativa**. TCC, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, Goianésia, GO, 43p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Anizio Cintra Júnior, Igor Menezes de Souza

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Células fotovoltaicas: O futuro da energia alternativa.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2018

É concedida à Faculdade Evangelica de Goianésia a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

Anizio Cintra Júnior
E-mail: anizio_cintra@hotmail.com

Igor Menezes de Souza
igorm.desouza@outlook.com

**ANIZIO CINTRA JÚNIOR
IGOR MENEZES DE SOUZA**

CÉLULAS FOTOVOLTAICAS: O FUTURO DA ENERGIA ALTERNATIVA

TRABALHO APRESENTADO AO PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADO POR:

**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Me (FACEG)
(ORIENTADOR)**

**JEANISSON CESAR MARIANO SILVA, Me (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**WELINTON ROSA DA SILVA, Me (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 29 de Junho de 2018.

RESUMO

O Brasil apresenta um grande potencial para a utilização de energia solar fotovoltaica, tendo em vista que todo o seu território apresenta uma boa incidência solar durante o ano. Inicialmente esse sistema era utilizado para fornecer energia a satélites, entretanto com a crise do petróleo nos anos 70 passou-se a buscar formas sustentáveis de energia para atender a necessidade da população. O objetivo deste trabalho é apresentar uma visão concisa sobre a geração de energia elétrica através, estabelecendo uma proposta de implantação de um sistema *On Grid* em uma residência unifamiliar, englobando a história da energia fotovoltaica no Brasil, sua fabricação, seu modo de funcionamento, bem como análise da viabilidade econômica do sistema para o estudo de caso em questão, apresentando ainda o procedimento para aprovação deste tipo de projeto. O estudo de caso realizado em 2018 provou ser viável a instalação destes sistemas em residências unifamiliares, ainda que o investimento inicial seja elevado, principalmente para famílias de baixa renda, o sistema se paga em 8 anos, apresentando uma boa rentabilidade após esse período.

Palavras-chave: Energia Solar, Energia Alternativa, Células Fotovoltaicas.

ABSTRACT

Brazil has great potential for the use of photovoltaic solar energy, considering that all of its territory presents a good solar incidence during the year. Initially this system was used to supply energy to satellites, however with the petroleum crisis in the 70s, the search for sustainable forms of energy to meet the needs of the population was started. The objective of this work is to present a concise view on electric power generation, establishing a proposal for the implementation of an On Grid system in a single family dwelling, encompassing the history of photovoltaic energy in Brazil, its manufacture, its way of functioning as well as an analysis of the economic feasibility of the system for the case study in question, and also presents the procedure for approval of this type of project. The case study carried out in 2018 proved to be feasible the installation of these systems in single-family homes, although the initial investment is high, especially for low-income families, the system is paid in 8 years, presenting good profitability after this period.

Keywords: Solar Energy, Alternative Energy, Photovoltaic Cells.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferença molecular entre Silício cristalino e amorfo.....	7
Figura 2: Faixas de Energia.....	8
Figura 3: Estrutura cristalina do silício quando inserido fósforo.....	8
Figura 4: Formação de energia elétrica através de células fotovoltaicas.....	10
Figura 5: Célula de silício monocristalino	11
Figura 6: Célula de silício Policristalino	12
Figura 7: Célula de silício amorfo.....	13
Figura 8: Sistemas <i>Off Grid</i>	15
Figura 9: Sistemas <i>On Grid</i>	16
Figura 10: Estrutura de participação das fontes de energia no Brasil	23
Figura 11: Dados do imóvel	28
Figura 12: Posição e Espectro Solar.....	29
Figura 13: Conta atual de energia do proprietário.....	30
Figura 14: Selo do INMETRO do módulo fotovoltaico.....	34
Figura 15: Forma de conexão do acessante à rede	38

LISTA DE TABELAS

Tabela1: Distribuição de sistemas e potências nas fases do PRODEEM	22
Tabela 2: Índice de incidência de irradiação Solar	29
Tabela 3: Custo de Disponibilidade	31
Tabela 4: Itens do sistema	33
Tabela 5: resumo do sistema Dimensionado.....	35
Tabela 6: Detalhamento do micro gerador solar	39
Tabela 7: Fluxo de Caixa	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	3
1.2	OBJETIVOS.....	4
1.2.1	Objetivo geral.....	4
1.2.2	Objetivos específicos	4
1.3	DIVISÃO DO TRABALHO	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	EFEITO FOTOVOLTAICO	7
2.2	A CÉLULA FOTOVOLTAICA	10
2.2.1	Silício Monocristalino	10
2.2.2	Silício Policristalino	12
2.2.3	Silício Amorfo	12
2.3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	14
2.4	VANTAGENS E DESVANTAGENS	17
2.5	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	23
3	METODOLOGIA	26
4	ESTUDO DE CASO	27
4.1	INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO	27
4.2	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR SOLAR	28
4.2.1	Análise Preliminar	28
4.2.2	Análise do Consumo de Energia Elétrica	31
4.2.3	Dimensionamento do gerador solar	32
4.2.4	Orçamento e detalhamento para o micro gerador solar	33
4.2.5	Resumo do Sistema	35
4.3	REQUISITOS PARA CONEXÃO DE MICRO GERAÇÃO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	356
4.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA	38
4.4.1	Resumo do Sistema	40
4.4.2	Tempo de Retorno do Investimento	40
5	CONCLUSÕES	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Desde os primórdios o homem reconhece o sol como uma fonte inesgotável de energia, diversas culturas atribuíam a ele o título de Deus e a ele ofereciam sacrifícios e comemorações. Os japoneses apresentam o astro em sua bandeira nacional, civilizações astecas ofereciam sacrifícios de modo a alcançar prosperidade, e os egípcios construíam templos ao grande Deus Sol, nos dias de hoje, ainda que não seja mais considerado uma divindade e nem símbolo religioso, há inúmeras pesquisas relacionadas a sua inesgotável energia.

Em meados dos anos 70 o mundo se encontrava em meio a crise do petróleo, esse marco na história fez com que eclodissem pesquisas com objetivos de encontrar fontes inesgotáveis, ou renováveis, para abastecimento de energia para população, outro fator que contribuiu consideravelmente para essas buscas é a preocupação com a preservação do meio ambiente, de modo a reduzir os desastres ambientais que tem crescido quando comparados aos últimos anos (GALDINO e LIMA, 2002).

Novas fontes de energias alternativas têm sido amplamente investigadas nas últimas décadas, como solução complementar a matriz energética atual, que baseia majoritariamente em hidráulica e biomassa. Estudos mais recentes apontam que uma energia que começou a ser utilizada em 1950 tem ganhado espaço e atenção no cenário nacional. A conversão de energia solar em energia elétrica a partir do princípio do elemento fotovoltaico é uma das formas mais promissoras de energia alternativa, sabe-se que painéis fotovoltaicos podem ser os grandes responsáveis pelo aumento da produção de energia limpa em grandes centros, seja para demandas residenciais ou empresariais, ganham cada vez mais adeptos. Muitos autores acreditam que adotar geração própria de energia solar é uma decisão acertada e que garante eficiência à produção e redução de custos em médio e longo prazo (ZANESCO *et al.*, 2011). É também um legado de sustentabilidade e um recado de amadurecimento e força ao mercado. Sendo promissores pelos seguintes motivos: A incidência solar sobre a Terra é mais que suficiente para a geração de energia necessária; é uma energia silenciosa; não gera poluição atmosférica;

Os maiores desafios para a popularização de tecnologias de fontes renováveis de energia estão associados ao desenvolvimento de materiais mais eficazes para a conversão de energia solar em elétrica e a disseminação de novas tecnologias sobre essas fontes. O maior obstáculo para a conversão de energia solar em energia elétrica através de painéis

fotovoltaicos e o custo elevado da produção dos módulos e equipamentos, ainda que apresentem a vantagem de não precisarem de manutenção constante, o seu investimento inicial é elevado (ZANESCO *et al.*, 2011).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Apresentar uma visão concisa sobre o sistema de geração de energia elétrica através de radiação solar, estabelecendo uma proposta de implantação de um sistema *on grid* em uma residência unifamiliar.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar os conceitos relacionados à geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos;
- Expor as vantagens e desvantagens destes sistemas de energia alternativa;
- Avaliar a implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica para uma residência unifamiliar
- Analisar a viabilidade da implantação do sistema *on grid* para a edificação em estudo.

1.3 DIVISÃO DO TRABALHO

No Capítulo II - Apresenta uma revisão bibliográfica onde é realizada uma abordagem sobre efeito fotovoltaico, a célula fotovoltaica e seus principais materiais de fabricação, os diferentes tipos de sistemas que podem ser empregados para a geração de energia fotovoltaica, as vantagens e desvantagens deste modelo de produção de energia e um breve histórico do desenvolvimento da energia fotovoltaica no Brasil.

Uma vez apresentado o funcionamento do sistema e o seu desenvolvimento no âmbito nacional o Capítulo III apresenta a metodologia no qual o trabalho se baseou.

O Capítulo IV apresenta o estudo de caso, bem como o dimensionamento do sistema e os possíveis resultados que seriam obtidos pela instalação do sistema na residência em questão.

Finalmente, no Capítulo V é apresentada uma análise dos resultados obtidos pelo estudo dos casos e também sugestões para trabalhos futuros.

Para concluir a dissertação são apresentadas as referências bibliográficas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A energia solar fotovoltaica se dá pela conversão da radiação solar em eletricidade, gerada nas placas a partir de uma diferença de potencial elétrico nas faces opostas de uma junção semicondutora (camadas de materiais semicondutores que constituem uma placa). Esse fenômeno é chamado de Efeito Fotovoltaico¹, foi observado pela primeira vez por Edmund Becquerel, um físico francês, em 1839. O fenômeno observado por Becquerel ocorreu em uma solução condutora, quando esta foi submetida a radiação solar por um intervalo de tempo. Mais tarde, nos anos de 1980, esse efeito foi pesquisado em sólidos, como o selênio, e dez anos mais tarde, foi fabricada a primeira célula fotovoltaica utilizando-se selênio (GALDINO e LIMA, 2002).

Segundo Zanesco *et al.* (2011), em 1950 os Estados Unidos da América (EUA) deram início a pesquisas que buscavam as utilizações práticas desse sistema, objetivando conceber um sistema executável que apresentasse duração prolongada para que fornecessem energia a satélites, quatro anos após o início das pesquisas o Laboratório Bell produziu o primeiro painel em Silício.

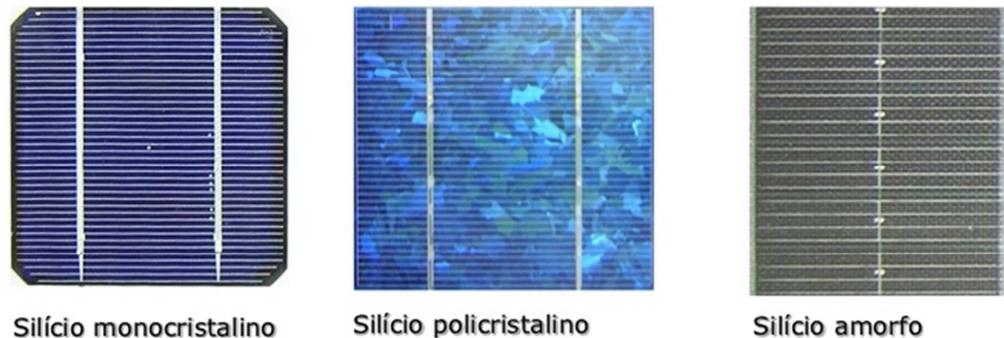
Vinte anos mais tarde, em meados de 1970, o mundo enfrentou uma grave crise energética que resultou na preocupação em pesquisar modelos mais modernos de gerar energia, fazendo com que as células fotovoltaicas deixassem de ser restritas a programas espaciais e começasse a ser consideradas como um meio de atender a demanda de energia da população (ZANESCO *et al.*, 2011).

Atualmente há diversos materiais adequados para a transformação fotovoltaica, sendo os mais habituais o silício cristalino e o silício amorfo, possuindo uma diferença na estrutura desses materiais. O silício cristalino apresenta uma estrutura molecular proporcionalmente espaçada, apresentando uma rede perfeitamente cíclica (cristal). Já o silício amorfo, que tem utilização mais atual e é economicamente mais viável, não há proporcionalidade entre o espaçamento dos átomos, sendo algumas dessas imperfeições estabilizadas por átomos de hidrogênio, essas diferenças podem ser observadas na **Figura 1**. É possível conceber células fotovoltaicas relativamente eficazes a partir de películas extremamente finas de silício amorfo hidrogenado. Há ainda a possibilidade de utilização de outros materiais, tais como arseneto de

¹ Observado pela primeira vez por Alexandre-Edmond Becquerel, no ano de 1839, o **efeito fotovoltaico** é a criação de tensão elétrica ou de uma corrente elétrica em um material, devido a sua exposição a luz.

gálio entre outros. Essas películas são colocadas em uma estrutura, de vidro ou metal, sendo mais baratas que pastilhas de silício (CARVALHO; MONTENEGRO, 2003).

Figura 1: Diferença molecular entre Silício cristalino e amorfo.



Fonte: <https://pt.slideshare.net/afermartins/casasolar2011>

Painéis fotovoltaicos transformam energia solar, a mais abundante energia renovável, em energia elétrica e por esse motivo é uma das formas de energia renováveis mais promissoras. Seu sistema de produção (semicondutores) não apresentam partes móveis, não libera calor residual, de modo que não modifica o equilíbrio da biosfera e não influencia no efeito estufa por não queimar combustíveis, os painéis requeridos para gerar a potência necessária possuem instalação prática e quando há necessidade de elevar a potência basta à instalação de novos painéis (COSTA *et al*, 2006).

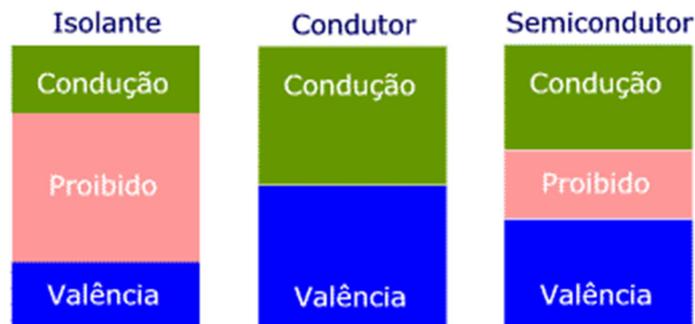
Ainda que seja uma energia de alto custo, quando comparado a energia convencional, a expectativa é que de acordo com a evolução de pesquisas de estudos na área vem sendo desenvolvidos de forma que os custos sejam reduzidos e que em breve seu preço seja competitivo e suas aplicações se expandam consideravelmente (BOMESIEL, 2013).

2.1 EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico pode ser observado em elementos conhecidos como semicondutores, que podem ser definidos como elementos que transitem energia de modo mais eficaz do que isolantes e de modo menos eficaz do que condutores, o fator que determina essa propriedade são faixas de valência (ou de energia) onde nota-se a presença de elétrons e zonas onde elétrons são totalmente ausentes, também conhecidas como faixa de condução, no meio dessas duas zonas encontra-se o hiato elétrico, sendo a dimensão desta que define se o material é um semicondutor. Enquanto elementos isolantes apresentam esta faixa larga,

materiais semicondutores apresentam faixa proibida média, de modo que fótons, na faixa de luz visível com energia acima do hiato de energia possam estimular elétrons da faixa de valência para a zona de condução. A figura 2 representa as faixas citadas (COSTA et al, 2006).

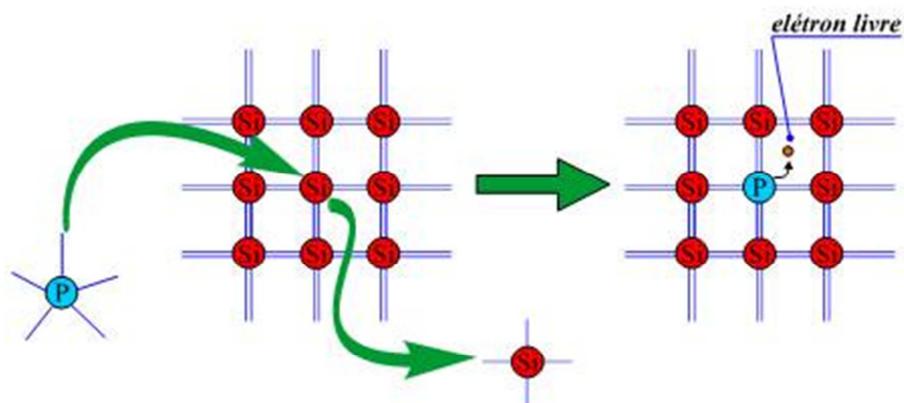
Figura 2: Faixas de Energia.



Fonte: http://www.eletroncom.xpg.com.br/doc_eletron_semicondutores1.html

Dentro os semicondutores o mais comumente utilizado em elementos fotovoltaicos é o silício. Seus átomos apresentam quatro elétrons que se associam aos vizinhos formando uma rede cristalina, se for acrescentado átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo (P), a rede terá um elétron a mais, que apresenta uma ligação sensível ao átomo, deste modo uma quantidade pequena de energia é capaz de movê-lo para a zona de condução, conforme Figura 3. Por esta razão o fósforo é chamado de dopante doador de elétrons, bem como de dopante P ou impureza P (KONER, 1993).

Figura 3: Estrutura cristalina do silício quando inserido fósforo.



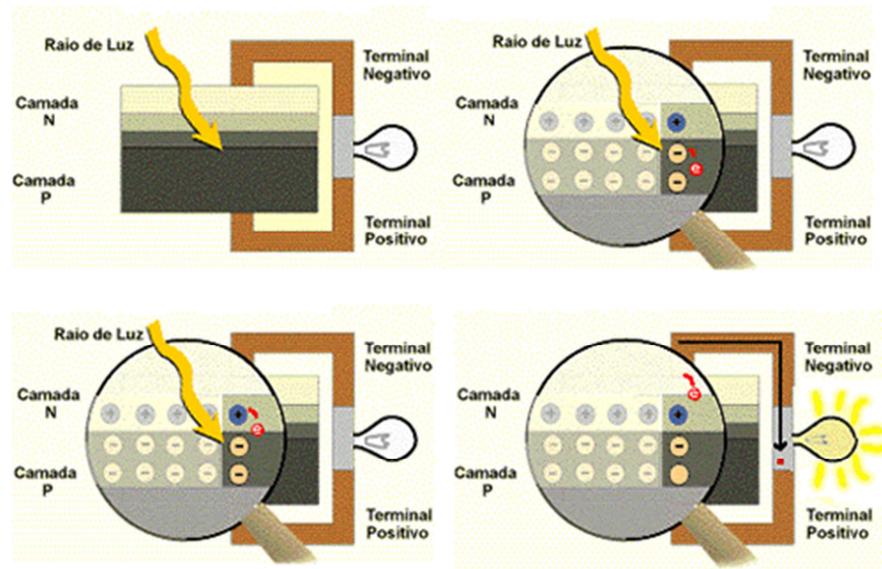
Fonte: <http://eletronicanoel.blogspot.com/2013/07/materiais-semicondutores-1-parte.html>

Se nesta mesma rede forem adicionados átomos com três elétrons de ligação, como o boro, poderá ser observada a carência de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos que compõe a rede. Esta carência é chamada de buraco ou lacuna e com uma quantidade razoavelmente pequena um elétron de sítio próximo pode passar para o desocupado, o que resulta em uma mudança de local da lacuna. Devido a isto o boro é chamado de dopante aceitador de elétrons, bem como de dopante B ou impureza B (VILELA, 2001).

Se utilizarmos silício puro e adicionarmos em um lado átomos de boro e de outros átomos de fósforo, temos o que chamamos de junção PB. O interessante nesta junção é que elétrons livres da face P atravessam para o lado B, onde há lacunas que os prendem, causando um excesso de elétrons na face do boro, ficando com carga negativa e uma diminuição considerável de elétrons na face do fósforo, deixando-o com carga positiva. As cargas aprisionadas dão início a um campo elétrico que dificulta a transferência de elétrons do lado N para o lado P, alcançando o equilíbrio no momento em que constrói uma barreira que impossibilita a passagem de átomos livres restantes da face do fósforo (SOARES; VIEIRA; GALDINO, 2010).

Se a junção PB for submetida a fótons com energia superior ao da faixa proibida ocasionara uma produção de pares-lacuna, se esse fenômeno ocorrer num local onde o campo elétrico não é nulo as partículas são aceleradas, resultando em uma corrente de lado a lado na junção PN, essa movimentação de cargas inicia uma diferença de potencial, conhecido como efeito fotoelétrico. Caso as duas extremidades do elemento silício sejam associadas a partir de um fio, produzirá uma circulação de elétrons, sendo esse o alicerce das células fotovoltaicas. A figura 4 apresenta como o efeito fotovoltaico ocorre no interior da célula fotovoltaica (VILELA, 2001).

Figura 4: Formação de energia elétrica através de células fotovoltaicas



Fonte: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321

2.2 A CÉLULA FOTOVOLTAICA

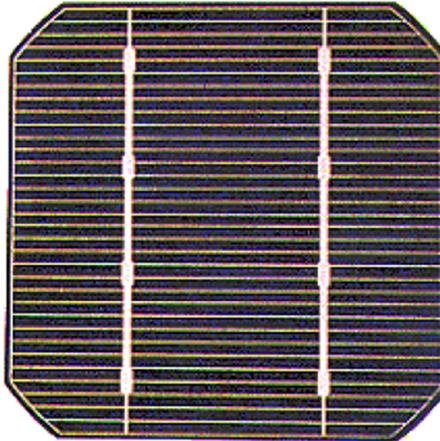
Quando as células fotovoltaicas começaram a ser produzidas o rendimento das células era extremamente baixo, em torno de 2% e custavam em médias US\$6,00/W, um custo elevado quando se considera seu baixo rendimento, com tendência a reduzir. No entanto com o desenvolvimento de pesquisas ao longo do tempo a produção passou por uma grande diversificação sendo utilizados diferentes elementos semicondutores. No entanto as células de maior uso atualmente são as de silício, que podem ser formadas e divididas segundo sua estrutura molecular, que são monocristalinos, policristalinos e silício amorfo (PEREIRA *et al*, 2006).

2.2.1 Silício Monocristalino

A célula mais frequentemente utilizada como conversor direto de energia solar em energia elétrica é a de silício monocristalino, apresentada na figura 5. Esse sistema apresenta tecnologia para produção muito básica, porém consideravelmente organizada. Esse processo se inicia com a retirada do cristal de dióxido de silício do ambiente, depois esse material passa por processos de desoxidação em fornos de grandes dimensões, depois é purificado e solidificado, com esse processo o grau de pureza alcançado oscila entre 98% e 99%, essa

pureza é razoavelmente efetiva tendo em vista sua relação custo-benefício, sob o ponto de vista energético. Para a operação da célula fotovoltaica, o silício necessita de outros elementos para atuarem como semicondutores, que apresentam um grau de pureza elevado, chegando a 99,999% de pureza (PINHO et al, 2008).

Figura 5: Célula de silício monocristalino.



Fonte: Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos.

Para a aplicação do silício em projetos de eletrônico alguns pré-requisitos devem ser seguidos, o elemento deve apresentar altas porcentagens de pureza, se esqueleto deve ser monocristalina e possuir ainda reduzida densidade de imperfeições na rede. O procedimento mais comum utilizado para alcançar as características requeridas é conhecido como “Processo Czochralski” pelo qual o silício passa por uma liquefação, onde é agregada ao elemento uma pequena porcentagem de dopante, normalmente o boro que é do tipo P. Desta parcela do cristal é retirado o material fundido em um cilindro de silício monocristalino levemente dopado, esse procedimento é realizado sob um rigoroso controle da temperatura do material. Este cilindro apresenta grandes dimensões e é talhado em tamanhos de aproximadamente 300 μ m (MACEDO, 2006).

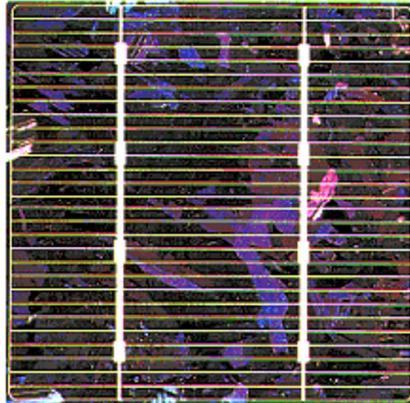
Depois de se talhado e realizado o procedimento de remoção de impurezas e após englobado as fatias impurezas do tipo N de maneira a se obter a junção, realizado a partir da difusão monitorada na qual as partes do silício são submetidas a vapor de fósforo em um forno que atinge temperaturas entre 800 até 1.000°C (PEREIRA et al, 2006).

Quando comparada as demais as células fotovoltaicas que tem base em silício, as monocristalinas são as que alcançam melhores resultados, em relação a eficiência, chegando a 15%, havendo possibilidade ainda de alcançar potência de 18% em células produzidas em laboratórios (MARINI; ROSSI, 2003).

2.2.2 Silício Policristalino

Também conhecidas como células de silício multicristalino, esse tipo de célula apresenta uma produção mais econômica que as monocristalinas, devido ao seu processo de fabricação não serem tão severamente controladas. Entretanto a sua eficiência é menor devido a sua pureza, quando comparada a essas, a figura 6 apresenta uma célula de silício Policristalino (MACEDO, 2006).

Figura 6: Célula de silício Policristalino.



Fonte: Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos.

Sua fabricação pode ser realizada através do corte de um lingote, de fitas ou se colocando um filme com substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Quando e realizada essas duas últimas técnicas só é possível fabricar o silício policristalino. Cada técnica gera cristais com particularidades distintas, como dimensões, estrutura e teores de impurezas. A eficiência teórica máxima alcançada por essa técnica de conversão é de 27%, entretanto quando se considera produtos comerciais essa porcentagem é reduzida para 15 a 18% (PEREIRA et al, 2006).

2.2.3 Silício Amorfo

A diferença básica entre célula de silício amorfo e as outras morfologias é o elevado grau de desordem na morfologia dos átomos. O emprego de silício amorfo para a aplicação nesse tipo de célula está associado a diversas vantagens tanto sob o ponto de vista elétrico quanto no método de produção. Esse tipo de material absorve a radiação solar na faixa do

visível e pode ser produzido a partir da colocação de diferentes tipos de substratos, o silício amorfo tem despontado como uma promissora tecnologia para sistemas fotovoltaicos de pequeno custo (DIAS, 2006).

Ainda que apresente um custo menor de fabricação, o silício amorfo possui dois contra, o primeiro é a pequena eficiência de conversão quando comparada às células de mono e policristalinas, o segundo é que as células possam por um desgaste em um período próximo a sua instalação, esse fato reduz a eficiência da célula durante sua vida útil (MACEDO, 2006).

Em contrapartida, segundo Dias (2006), o silício amorfo possui prol que contrabalançam os contra relatados acima, sendo: metodologia de produção simples e de baixo custo; é possível produzir células de grandes dimensões; o consumo de energia na fabricação é pequeno.

A figura 7 ilustra uma célula de silício amorfo.

Figura 7: Célula de silício amorfo.



Fonte: Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos.

2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A produção de energia elétrica pelo método convencional é centralizada e longe do ponto de consumo, resultando em perdas ao longo do sistema de distribuição, o que leva a uma elevação do preço de custo da distribuição e causa danos ao meio ambiente e as empresas. Quando falamos em energia fotovoltaica, pensamos em energia sendo gerada próxima ao ponto de consumo, permitindo ainda uma melhor diversificação das tecnologias utilizadas para a produção de energia elétrica (RODRIGUES, 2002).

No início, esses sistemas que conexão à rede elétrica foi concebida apenas para centrais fotovoltaicas, sistemas de grande porte, pois havia a crença de que esses sistemas resolveriam problemas específicos da rede tradicional. No entanto, de acordo com o avanço da eletrônica, foram concebidos sistemas de pequeno e médio porte, objetivando atender sistemas domésticos, que hoje correspondem a mais da metade do mercado fotovoltaico (ATHANASIA, 2000).

A utilização de energia elétrica gerada a partir de fontes limpas, em pequena escala é considerada opção, em diversas fases por inúmeros países desenvolvidos, como Alemanha, Japão, Estados Unidos da América, Espanha etc. No Brasil a inserção deste tipo de energia limpa ainda é carente, sendo necessárias abordagens mais aprofundadas sobre o assunto (OLIVEIRA, 2002).

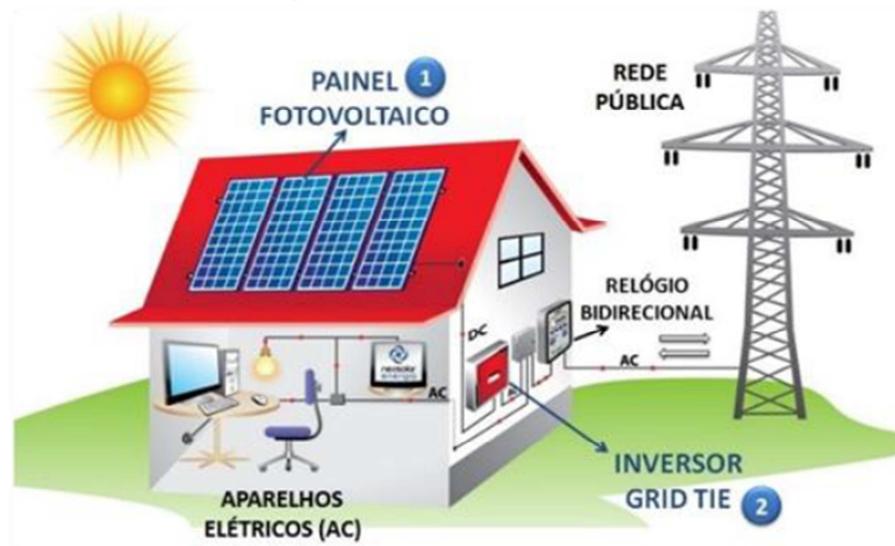
Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em: sistemas isolados (*OFF-GRID*) e sistemas integrados à rede (*ON GRID* ou *GRID-TIE*), é importante considerar que sistemas que não são integrados a rede possuem baterias que armazenam a energia gerada, não sendo necessário nos sistemas integrados pois nesses casos a energia produzida excedente pode ser transmitida para a rede e ser localizada em outros locais (CHUCO, 2007).

Nos sistemas *OFF-GRID*, que é representado na figura 8, possuem toda a energia gerada guardada em baterias, o que assegura que o sistema atenda a demanda mesmo em períodos em que a incidência solar seja insuficiente, funcionando da seguinte forma: o sistema capta a luz solar a partir das placas fotovoltaicas, produz energia elétrica a partir e corrente contínua, essa energia passa por um controlador de carga responsável pela proteção das baterias contra descargas profundas e excesso de carga, toda esta energia será armazenada em um banco de baterias e só então, passa por inversor de frequência que a converte de corrente contínua para corrente alternada e só então é utilizada para consumo (RIBEIRO, 2012).

Figura 8: Sistemas *Off Grid*.

Fonte: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>.

Os sistemas *on grid* apresentados na figura 9, possuem características semelhantes ao do sistema *off grid*, a diferença básica é que a energia elétrica proveniente das placas fotovoltaicas passam por um inversor *grid-tie* que realiza a conversão de corrente contínua em corrente alternada, sincronizando-a com a frequência da rede (60Hz) a partir de um oscilador interno e ao mesmo tempo limita a tensão de saída para que não seja maior do que a da rede, e, então, utiliza-se um relógio de luz bidirecional que medirá a energia da concessionária, utilizada em períodos que a energia fotovoltaica for insuficiente para atender a demanda, bem como a energia solar gerada em excesso pelo sistema, que será inserida na rede da concessionária distribuidora de energia elétrica (BRAGA, 2008).

Figura 9: Sistemas *On Grid*.

Fonte: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>.

A interligação de painéis fotovoltaicos pode ser realizada em qualquer edificação, sendo necessários apenas que apresentem orientação solar favorável, ou seja, que estejam voltadas para norte, leste ou oeste, tido como orientação ideal que as superfícies dos painéis fotovoltaicos estejam voltadas para o norte geográfico, no hemisfério sul, pois essa orientação possibilita uma maior captação da energia produzida pelo sol (PEREIRA, 2010).

O sistema fotovoltaico apresenta um grande potencial para a utilização no design das fachadas os edifícios, podendo se tornar não apenas um elemento construtivo necessário para os edifícios, mas também para o meio ambiente. Suas utilizações em países desenvolvidos não ficam restritas apenas a edificações familiares, mas também para edifícios comerciais (ALVARENGA, 2001).

2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A aplicação de energia solar fotovoltaica apresenta inúmeras vantagens, é uma fonte de energia renovável e limpa, devido ao fato de não gerar poluição. A vida útil das placas de geração é maior que 25 anos, não havendo grande necessidade de manutenções. A instalação do sistema é relativamente simples e não há consumo de nenhum tipo de combustíveis. Sendo a vantagem de maior relevância o fato de que a luz solar é gratuita para todos os habitantes do planeta e é um recurso abundante no planeta (PINHO et al, 2008).

Em resumo as vantagens principais são:

- Não consome nenhum tipo de combustível;
- Não emite poluição ou contamina o meio ambiente de qualquer maneira;
- Não produz poluição sonora;
- O sistema apresenta vida útil maior do que 25 anos;
- As placas são resistentes a condições climáticas externas;
- Não apresenta componentes do sistema móveis e por isso a necessidade de manutenção é reduzida;
- Possibilita um acréscimo na potência instalada com a simples instalação de novos módulos;
- Produz energia ainda que o tempo esteja nebuloso;

Dentre as desvantagens destaca-se:

- A produção de células fotovoltaicas requer a utilização de tecnologia de ponta;
- É um investimento alto;
- O rendimento em campo da conversão do sistema é diminuído devido ao valor do investimento;
- Seu rendimento é, invariavelmente, influenciado pelo clima;
- Descarte de placas;
- Aquecimento na região próxima a colocação das placas;
- Morte de aves em virtude do reflexo e excesso de calor refletido pela radiação;
- A grande dependência da incidência solar para o bom funcionamento do sistema;

2.5 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O Brasil apresenta um satisfatório índice de radiação solar, principalmente quando se considera as altas temperaturas no nordeste do país, na região do semiárido encontra-se os

índices mais promissores, com valores entre 1.752 até 2.190kWh/m² por ano de radiação incidente, esse fato dá ao Brasil uma vantagem quando comparado aos países industrializados no que diz respeito a aplicação de energia fotovoltaica (TIBA; FRAIDENRAICH; BARBOSA, 2001).

No entanto, ainda que o Brasil possua um enorme potencial para a utilização desse tipo de energia, os baixos rendimentos apresentados pelas tecnologias, em sua conversão de energia solar em eletricidade, e os investimentos iniciais de valores elevados formam empecilhos consideráveis para a utilização em terras nacionais (PINHO et al, 2008).

Ainda que apresente diversos obstáculos para a geração de energia fotovoltaica, o Brasil é o país na América do Sul que onde as pesquisas e tecnologias para geração de energia fotovoltaica estão mais avançadas. Sendo o pioneiro na fabricação de célula fotovoltaica para comercialização, através de silício monocristalino, indo além da montagem primária de painéis solares (MARINI; ROSSI, 2003).

Resultando da crise mundial do petróleo em 1973 surgiu a primeira indústria nacional de módulos fotovoltaicos, com sede em São Paulo, chamada Fone-Mat, essa empresa era do ramo de telecomunicações, montava seus módulos com base em células fotovoltaicas de outra empresa, a internacional Solarex, e pretendia atender as necessidades do mercado de telecomunicações no período (MARINI; ROSSI, 2003).

No terceiro mês do ano de 1980 a Heliodinâmica instalou sua sede em Vargem Grande Paulista, no início produzia coletor solar planos com utilização em setores residenciais e em fábricas, em dois anos teve início a fabricação de targos cilíndricos e lâminas de silício monocristalino. Em 1985 a empresa tinha alcançado uma fase de prosperidade com uma capacidade de fabricação instalada de 1MW/ano, equivalente as de fábricas estrangeiras, possuindo um capital de US\$ 10.000.000,00, contando com 100 colaboradores (SOARES; VIEIRA; GALDINO, 2010).

No período de sua fundação, a empresa foi beneficiada pela criação da Lei da Informática, que vetou a importação de elementos fotovoltaicos pelo período de 10 anos. No entanto essa barreira protecionista começou a exaurir no ano de 1992 e com isto a Heliodinâmica cessou suas atividades. Nos dias de hoje o mercado nacional é suprido por empresas estrangeiras, devendo se considerar ainda que o mercado nacional é restrito a alguns compradores, como o programa de eletrificação do governo federal, usuários que adquirem para uso próprio e empresas de telecomunicações (KONER, 1993).

A produção de energia solar no Brasil, principalmente em regiões de difícil acesso e favorecida pelo seu elevado índice de insolação. É ainda um sistema muito vantajoso para o ambiente, tendo em vista que o sistema solar, funcionando como um reator à fusão fornece ao planeta diariamente uma capacidade energética consideravelmente alta e inigualável a qualquer outro sistema energético, sendo a fonte essencial e imprescindível para quase a totalidade dos sistemas energéticos comumente utilizados pelo homem (MACEDO, 2006).

Inúmeras pesquisas estão sendo desenvolvidas, nos dias de hoje, para a melhoria dos sistemas de utilização de energia solar, com um foco principalmente em energia fotovoltaica, visando suprir energeticamente comunidades isoladas das redes elétricas ou reduzir os picos de consumo de energia em regiões com picos elevados em períodos comerciais (TIBA; FRAIDENRAICH; BARBOSA, 2001).

Essas pesquisas são fomentadas por órgãos federais, através de investimento técnico, científico e financeiro, tais como MME, Eletrobrás/CEPEL e algumas universidades, tendo ainda assistência de organismos estrangeiros, com um destaque maior para a Agência Alemã de Cooperação Técnica – GTZ e do *National Renewable Energy Laboratory* (Laboratório de Energia Renovável) - NREL dos Estados Unidos da América (EUA).

Em 1999 o Governo Federal iniciou o Programa Luz no Campo, que tinha como objetivo levar energia elétrica a um milhão de residências localizadas em zonas rurais no país, através da ampliação da rede elétrica já existente, grande parte desses domicílios eram situados na região do Nordeste. No entanto a Winrock, entidade não governamental, interferiu e conseguiu que fosse englobado ao Programa um elemento de eletrificação fotovoltaica, para as residências no estado da Bahia, pelo valor de US\$ 10.000.000,00 (KONER, 1993).

Esse programa de eletrificação rural, através de energia fotovoltaica foi consequência de um processo iniciado nos anos 80, nos primórdios da utilização fotovoltaica. A partir de então essa parcela do mercado nacional passou a ser disputada por inúmeras empresas, desde nacionais como a Heliodinâmica até as internacionais como a Siemens, Solarex, *New World Power* e *Golden Photon* (VILELA, 2001).

A participação financeira das organizações estrangeiras GTZ e NROE, possibilitou a disseminação da utilização de tecnologia fotovoltaica a partir de projetos pilotos. O Projeto Eldorado englobou a GTZ, companhia da Alemanha, e a Companhia Energética do Ceará (COELCE), o projeto fazenda eólica e, logo depois, englobou projetos de bombeamento e eletrificação fotovoltaicos, em colaboração com as concessionárias dos Estados de Pernambuco (Companhia Energética de Pernambuco – CELPE), São Paulo (Companhia

Energética de São Paulo – CESP) e Paraná (Companhia Energética Paraense – COPEL) (PINHO et al, 2008).

Os programas experimentais da parceria CEPEL-NREL, juntamente com as concessionárias estaduais, utilizaram a tecnologia fotovoltaica na eletrificação de residências e colégios, em povoados dos Estados de Pernambuco e Ceará. Na segunda etapa teve foco, no Estado da Bahia, na utilização coletiva e vantajoso de tecnologia fotovoltaica; em Minas Gerais, deu início os aero geradores utilizados no bombeamento e, nos Estados de Amazonas e no Pará, conjuntos compostos solar, eólico e diesel (MARINI; ROSSI, 2003).

A parceria internacional engloba ainda todas as pesquisas fotovoltaicas subsidiadas por Organizações Não Governamentais (ONG's) que colaboraram com inúmeras pesquisas realizadas em diversos locais no território nacional. A mais demonstrativa é o projeto piloto das cercas elétricas para a criação de bodes, tendo sido realizada pela Associação de Pequenos Agricultores do Município de Valente (APAEB), em parceria com a ONG SOS PG, da Bélgica. O sucesso dessa pesquisa estimulou o início de um fundo comunitário, que permitiu a eletrificação das residências associadas (TIBA; FRAIDENRAICH; BARBOSA, 2001).

Nos anos seguintes diversas utilizações da tecnologia fotovoltaica foram concebidas em outras regiões, independente de projetos de cooperação, englobando programas sociais das concessionárias de energia. A iniciativa sertaneja, no estado da Bahia, utilizou essa tecnologia para a irrigação de plantações. Em São Paulo o desenvolvimento foi aplicado em 11 centros comunitários de uma estação tecnológica e concebido o projeto ECOWATT proporcionando a eletrificação de 120 residências no Vale Ribeira. No Paraná foi desenvolvido a iniciativa Lig Luz Solar, com o objetivo de suprir turistas e grupos de pescadores, sendo possível ainda pesquisar diversos testes com essa tecnologia, como por exemplo o centro de carga de baterias, a indústria de raspas de gelo e o Freezer fotovoltaico (KONER, 1993).

Muitos projetos de pesquisas visaram a melhoria das partes do sistema fotovoltaico tais como controladores de energia e baterias eletroquímicas, em projetos de pesquisa na esfera de universidades, federais e estaduais. Foram concebidos ainda, em algumas destas instituições, laboratórios demonstrativos, que simulavam casas solares, como um mecanismo de ensino, com o objetivo de divulgar a tecnologia. Há alguns programas de pós-graduação em energia que englobaram em sua matriz curricular as atividades práticas de desenvolvimento de projetos com aplicação de energia fotovoltaica, com foco em comunidades rurais (SOARES; VIEIRA; GALDINO, 2010).

Neste cenário são de grande relevância as pesquisas desenvolvidas na região de Pernambuco, especificamente no sertão, pelo Núcleo de Apoio a Projetos de Energias Renováveis – NAPER, da Universidade Federal de Pernambuco, e os diversos estudos e iniciativas concebidas pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo- LSF-IEE/USP, em populações Caiçaras do Vale Ribeira, no estado Paulista, e em sociedades sertanejas do Alto do Rio Solimões, no Amazonas.

Nas empresas de energia, ainda com influência das profundas modificações que as privatizações causaram no setor, praticamente não desenvolvem iniciativas fotovoltaicas, sendo a exceção a CEMIG, que possui uma iniciativa de pré - eletrificação em populações do Vale Jequitinhonha até que haja a possibilidade de ampliar a rede convencional para suprir essa comunidade (MACEDO, 2006).

A parte mais expressiva de instalação de sistemas fotovoltaicos é resultado do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – PRODEEM, estabelecido por um decreto presidencial no último mês do ano de 1994, na esfera da Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia – MME. Devido a sua criação, o valor de U\$ 37,25 milhões foi aplicado em 8.956 iniciativas e 5.112 kWp de potência

Essas iniciativas englobam bombeamento de água, iluminação pública e sistemas energéticos coletivos. O estabelecimento deste programa foi realizado em 5 etapas, com o objetivo de simplificar o método de instalação dos sistemas. Cada etapa abrange eventos e atividades que apontem igualdades no que se refere aos objetivos, esfera de aplicação (federal, estadual, regional, municipal) e instituições responsáveis (coordenação nacional do PRODEEM, coordenações estaduais ou locais) (PINHO et al, 2008).

A etapa I, tida como Alinhamento Institucional e Formação dos Multiplicadores possuem as seguintes características:

- Promoção de ações realizadas pela coordenação Nacional do PRODEEM;
- Promoção de eventos de harmonização e alinhamento de conceitos e métodos com as indústrias regionais (ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL);
- Promoção de eventos de desenvolvimento de multiplicadores da revitalização e habilitação do PRODEEM, na esfera de atuação das firmas regionais;

A etapa II, chamada Atividades Preparatórias Para Revitalização e Capacitação envolvem ações que ocorrem em esfera regional.

A etapa III – Atividades de Revitalização e Capacitação nas Comunidades compreende o conjunto de ações que serão realizadas pelo pessoal de revitalização em campo. Esta acontece na comunidade em si, sendo de responsabilidade da organização executora.

A etapa IV – Procedimentos pós-revitalização, estão associadas a ações realizadas depois do processo de revitalização dos sistemas de habilitação das comunidades. São ações que visam assegurar a sustentabilidade deste processo

A Etapa V, que se iniciou no ano de 2002, está baseada simplesmente na eletrificação de instituições de ensino em zonas rurais.

A grande parte dos sistemas do PRODEEM consiste em sistemas energéticos e situados em colégios rurais. Na etapa V todos os 3.000 sistemas designados para suprir a demanda de energia de escolas são idênticos, com capacidade diária de aproximadamente 1.820 Wh, apresentando as seguintes partes: seis painéis de 120 Wp (total de 720 Wp); oito baterias de 150 Ah (total de 1.200 Ah); e um inversor de 900 Watts (110 ou 120 V)

A **Tabela 1** sintetiza as informações descritas acima, apresentando a distribuição de sistemas e potências nas fases do PRODEEM.

Tabela1: Distribuição de sistemas e potências nas fases do PRODEEM

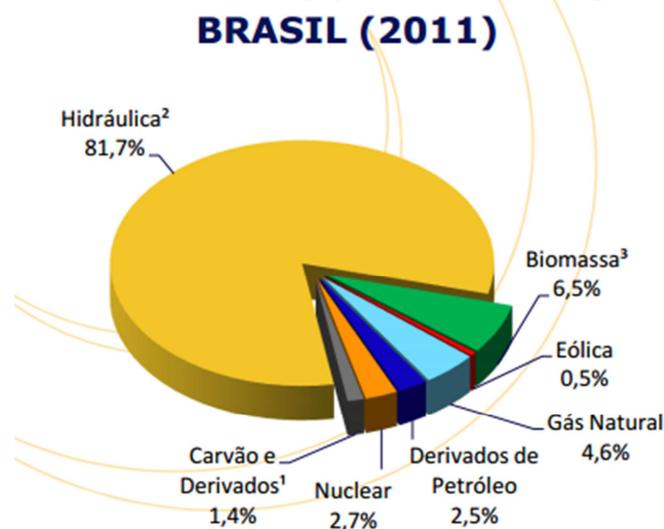
Fase			I	II	III	Bomb.	IV	V	Total
Sistemas de geração de energia	Qtd.		190	387	677	-	1.660	3.000	5.914
	kWp		87	200	419	-	972	2.172	3.850
Sistemas de bombeamento d'água	Qtd.		54	179	176	800	1.240	-	2.449
	kWp		78	211	135	235	696	-	1.355
Sistemas de iluminação pública	Qtd.		137	242	-	-	-	-	379
	kWp		7,5	17	-	-	-	-	24,5

Fonte: Pinho *et al.*, 2008

No entanto, ainda que o Brasil já tenha iniciado uma política de incentivo a formas sustentáveis de energia e apresente um enorme potencial para a utilização destas, a energia solar fotovoltaica não tem sido favorecida pela legislação. O fato é que, nos dias atuais a hidroeletricidade e a biomassa têm auxiliado de modo substancial para suprir a necessidade energética do país (VILELA, 2001).

A figura 10 apresenta a atual Matriz Energética Nacional, sendo facilmente observada a dominância da biomassa e da hidroeletricidade quando comparadas as outras fontes renováveis disponíveis.

Figura 10: Estrutura de participação das fontes de energia no Brasil.



Fonte: <https://brasilnosso.wordpress.com/matrizes-energeticas-do-brasil/>

Uma visão geográfica mais aprofundada do modo como os sistemas fotovoltaicos estão distribuídos no Brasil é impossibilitada pelas seguintes questões: devido a sua localização, por se encontrarem dispersos em regiões pequenas e isoladas no território Nacional e a diversidade de instituições implicadas em seu desenvolvimento (TIBA; FRAIDENRAICH; BARBOSA, 2001).

Segundo a SERPA, a eficiência total instalada de sistemas fotovoltaicos no Brasil é aproximadamente 12 MWp.

2.6 COMPARAÇÃO ENTRE A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS E OUTRAS FONTES

Podemos dividir as fontes de energia da seguinte forma:

- Fósseis, englobando petróleo, carvão e gás natural;
- Nucleares;
- Solares, dentre os quais temos os raios emitidos pelo e a energia resultante destes, como por exemplo ondas e ventos, força da água e elementos

de origem vegetal que são originados pelo sol a partir da fotossíntese, como é o caso da biomassa;

O emprego de equipamentos rotativos, como turbina e gerador, requerem um hábito de manutenção de maior complexidade, tendo em vista o desgaste dos componentes móveis que compõe o sistema, produzindo ainda poluição sonora em seu período de uso. A combustão de combustíveis fósseis, que ocorre em uma caldeira, é responsável por lançar na atmosfera gases prejudiciais ao meio ambiente. A utilização de inúmeros elementos associados ao sistema intensifica a chance de ocorrer um lapso na produção de energia (PEREIRA, 2010).

No caso da energia fotovoltaica o sistema se resume na utilização de células solares, que produzem a energia elétrica, e de um conversor CC-CA utilizado para determinar tensão e frequência para os valores nominais dos equipamentos. Este é um processo descomplicado, que não emite gases nocivos ao meio ambiente e nem gera poluição sonora, sendo sua manutenção mínima (ATHANASIA, 2000).

Quando se trata de fontes de energia fósseis é importante considerar que é necessário, essencialmente, retirá-los dos locais onde se encontram em grande quantidade, logo após é preciso transportá-los para combustão, depois para as usinas e, quando finalmente são transformados em energia é necessária uma linha de alta tensão para levá-la das usinas até os locais de utilização, e seus resíduos devem ser descartados. No caso de energia solar, em comparação, não é necessário o processo de extração, transporte ou refinação, não sendo ainda transportada para as usinas que gerem a transforme em energia elétrica, sendo realizadas próximas à carga, desta forma os custos com transmissão de alta tensão são eliminados (OLIVEIRA, 2002).

Há algumas externalidades ambientais, que não são consideradas de modo apropriado quando se trata do valor da energia padrão por causa da consciência ainda imatura da sociedade em geral, sendo esses:

- a) Emissão de gases insalubres no ambiente;
- b) Desastres ambientais devido ao transporte combustíveis fósseis;
- c) Infecção da água requerida para o refino do carvão;
- d) Submersão de inúmeros ecossistemas e parques arqueológicos para a edificação de hidrelétricas;

- e) Elevação da temperatura das águas marinhas, resultando das usinas nucleares, modificando o habitat marinho de plantas e peixes;
- f) Perigo de desastres ambientais, os danos causados por estes ao longo do tempo somam quantias bilionárias;

Há ainda externalidades políticas, ainda que sejam difíceis de avaliá-las, influenciam de modo direto na economia dos países envolvidos, como por exemplo os inúmeros conflitos que eclodiram pelo mundo cujo objetivo era controlar as regiões com abundância em petróleo, como a Guerra do Golfo, a Guerra da Chechênia e a mais recente Guerra do Iraque. Economias baseadas em combustíveis fósseis fica à mercê de crises econômicas de outras nações e de exportadores, o que aumenta o grau de instabilidade do país, de modo que se torna um custo político necessário o domínio dos recursos fósseis (SHANAYA; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

É preciso considerar ainda custos diretos relacionados com a produção de energia através do modelo padrão, que não são adicionados ao valor final devido a benefícios por subsídios, dos quais podemos citar: aquisição de consideráveis extensões de terra sem nenhum custo, não cobrança de impostos por longos períodos e benefícios concedidos diretamente pelo governo, que investe dinheiro a fundo perdido para possibilitar os empreendimentos. O Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento (PNUD) relata em seu informe *La energia después de Rio*, lançado no ano de 1996, subsídios para a energia padrão por volta de US\$ 300 bilhões. Uma parte na ordem de US\$ 90 bilhões foi destinada para intervir nos custos da energia em nações em desenvolvimento (RUTHER, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Essa pesquisa foi realizada a partir de dois métodos, o primeiro consiste em uma revisão bibliográfica a partir de uma pesquisa qualitativa e informativa, foi elaborada, buscando identificar e compreender, os passos e os materiais utilizados, para a geração de energia elétrica a partir da radiação solar. Os materiais utilizados para sua elaboração consistem em livros, artigos científicos e documentos sobre o tema. Foram utilizados, também, artigos e dissertações de graduação e mestrado.

O outro método, com base na análise de inúmeras pesquisas e consultas aos órgãos responsáveis pela regulamentação, Prefeitura Municipal de Goianésia e atual ANEEL, antiga CELG, foi apresentado um esquema para implantação do sistema de geração de energia através de células solares.

4 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO

Em abril 2012 a antiga CELG, atual ANEEL publicou a REN 482, desde então é permitido que pessoas, física ou jurídica, que tenham uma unidade consumidora de energia elétrica, produzissem sua própria energia a partir de uma micro ou mini usina de geração. Essa REN foi modificada 3 anos após sua publicação, em novembro de 2015, sendo denominada REN 687, entrando em vigor apenas 4 meses após sua publicação, sendo suas principais mudanças:

- a) Prazo de aprovação do acesso ao sistema de compensação de energia passou de 82 dias para 32 dias;
- b) Micro geração passou de até 100 KW para até 75 KW;
- c) Mini geração passou de 100 KW até 1 MW para 75 KW até 5 MW;
- d) Possibilitou a criação de consórcios ou cooperativas entre inúmeras unidades consumidoras.

Essas alterações observadas na REN 687 fez com que o processo de geração da própria energia se tornasse mais simples e atrativo para o consumidor. O projeto apresentado neste trabalho apresenta de modo detalhado a viabilidade de um sistema de micro geração, *on-grid*, conectado à rede convencional com energia solar fotovoltaica, baseando-se na REN 482 e sua alteração REN 687.

O estudo de caso proposto é para uma residência com as seguintes características:

- Unifamiliar;
- Área do Terreno: 716,18 m²
- Área construída: 187,83 m²
- Localizada em Goianésia - Goiás;
- Estima-se que a casa produzirá sua própria energia, sendo responsável por 90% do consumo mensal;
- Para que seja gerado tal percentagem, um dimensionamento é feito, levando em conta os potenciais de geração de módulos fotovoltaicos, a média de horas de sol anual do local, inclinação e orientação ideal dos módulos.

A figura 11 apresenta informações sobre o terreno, de acordo com o cadastro do imóvel na prefeitura, bem como sua planta situação.

Figura 11: Dados do imóvel.



Fonte: Prefeitura de Goianésia, 2018.

Concluído o dimensionamento, realiza-se o projeto e processo com a concessionária local de energia, que nesse caso é a ENEL. Todo esse procedimento será descrito bem como o orçamento de materiais e mão de obra precisos para a instalação dos equipamentos, e para que o sistema opere.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

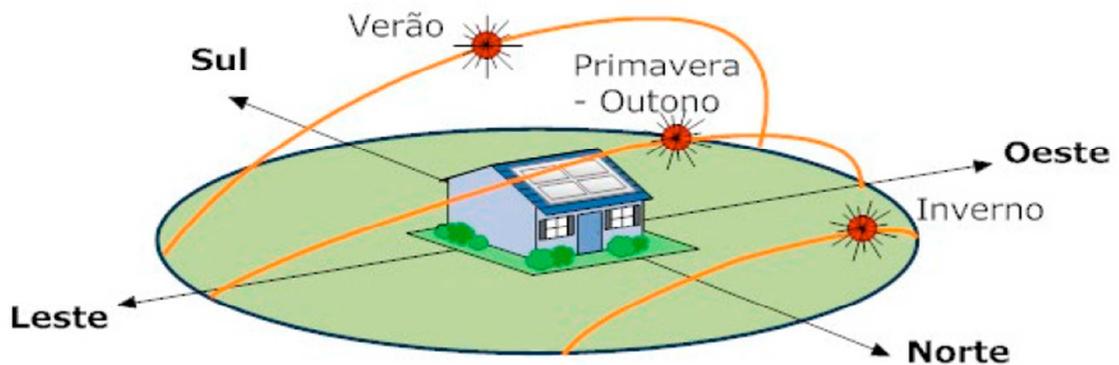
4.2.1 Análise Preliminar

Inicia-se o projeto com o cálculo da média de consumo da energia da habitação e conhecida a irradiação solar local da unidade consumidora, através de dados fornecidos por órgãos governamentais. A média será calculada considerando apenas os últimos 5 meses de consumo de energia do local, tendo em vista que nos meses anteriores estava em reforma e o consumo no período não corresponde ao consumo real dos habitantes, esses dados serão retirados da conta de Energia elétrica.

A irradiação solar é obtida com base na localização latitude e longitude do local, isso é possível através do *Google Maps* ou *Google Earth*. É importante que nessa etapa seja identificado também qualquer situação que possa causar sombreamento na edificação, através da observação de presença de árvores que possam causar sombreamento, construções que apresentem altura maior, caixa d'água que possa sombrear parte do telhado em algum momento do dia. Da edificação do estudo encontramos os seguintes dados:

- a) Sombreamento: não há nenhuma situação de sombreamento na edificação;
- b) Latitude: 15° S, sendo assim, os módulos ficarão posicionados para o Norte com inclinação ideal de 15°;
- c) Orientação do telhado: telhado está voltado para o norte;

Figura 12: Posição e Espectro Solar.



Fonte: www.electronica-pt.com/instalacao-sistema-fotovoltaico

Com esses dados descobre-se que tem espaço disponível no telhado do residente, a inclinação dos módulos ideal é de 15° para o norte e não há sombreamento que diminuirá a eficiência do sistema.

Tabela 2: Índice de incidência de irradiação Solar.

REGIÃO	kW	kWh/M2	kWh/Mês
Sul	1,0	4,2	134
Norte	1,0	4,5	145
Centro Oeste	1,0	5,2	167
Sudeste	1,0	4,5	145
Nordeste	1,0	5,6	178

Fonte: Solar Centrum Energy.

Em seguida serão extraídos alguns dados da conta de energia atual do proprietário para os demais cálculos.

Figura 13: Conta atual de energia do proprietário.

UNIDADE CONSUMIDORA	CONTA	VENCIMENTO	VALOR
20216853	0177178894	01/07/2018	227,32

DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA:		DATAS DAS LEITURAS:	
CLASSE: RESIDENCIAL	GRUPO: B1	ATUAL: 15/06/2018	
ATIVIDADE: 100	MEDIDOR: 102207640	ANTERIOR: 16/05/2018	
TIPO DE LIGAÇÃO: MONO	RAZÃO: 32	APRESENTAÇÃO: 15/06/2018	
VENCIMENTO BASE: 01/07/18	ROTA: 544000	PRÓXIMO MÊS: 17/07/2018	

HISTÓRICO DE CONSUMO:		DADOS DA MEDIÇÃO:	
MES	kw/h	LEITURA ATUAL:	24098
07/17	0,00	LEITURA ANTERIOR:	23791
08/17	0,00	Nº. DE DIAS FATURADOS:	30
09/17	0,00	DIFERENÇA DE LEITURA:	307,00
10/17	0,00	FAT. DE MULTIPLICAÇÃO:	1,0000
11/17	3,00	TOTAL DE CONSUMO:	307,00
12/17	72,00		
01/18	343,00	MÉDIA DE CONSUMO:	
02/18	297,00	DIÁRIO:	10,23
03/18	292,00	TRIMESTRAL:	314,33
04/18	329,00	ANUAL:	162,50
05/18	307,00		
06/18	307,00		

1 FATURA VENCIDA: MES 5/2018 VALOR TOTAL: R\$ 251,62 (DESECONSIDERAR SE FOI PAGO). INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES NO CAMPO INFORMAÇÕES AO CLIENTE. EM CASO DE SUSPENSÃO POR DOIS OU MAIS CICLOS ININTERRUPTOS, A ENEL PODERÁ ENCERRAR O CONTRATO (ART. 70 P.1 RESOLUÇÃO 414/2010 ANEEL).

LANÇAMENTOS:	VALOR (R\$):		
ADICIONAL BANDEIRA AMARELA	307,00	0,007730	2,37
ADICIONAL BANDEIRA VERMELHA	307,00	0,038650	11,86
MULTA - 04/2018.	26,00	0,000000	5,72
JUROS MORATORIA.	26,00	0,000000	2,48
INDEN. VIOL. PRAZO ATENDIMENTO -		0,000000	-39,36
CONTRIB. CUSTEIO DA ILUMIN.PUBLI		0,000000	13,53
CONSUMO KWH + ICMS/PIS/COFINS	307,00	0,751540	230,72

Fonte: Produção do Autor

Da conta de energia podem ser extraídos os seguintes dados:

- Média anual de consumo de energia: 142,75 kWh;
- Tipo de Ligação: Monofásico;
- Valor da Tarifa do kWh: R\$ 0,7674

Embora a média anual seja de 142,75 kWh a casa passou por uma reforma ficando um período desocupada, para fins de cálculo será utilizada a média dos últimos cinco meses, quando a reforma chegou ao fim e a casa voltou a ser habitada, sendo o valor de 313,60 kWh, conforme equação a seguir:

$$\text{Média} = \frac{343+297+292+329+307}{5} = 313,60$$

4.2.2 Análise do Consumo de Energia Elétrica

Ainda que uma residência produza sua própria energia é obrigatório pagar uma taxa a concessionária local um determinado valor referente à disponibilidade do serviço prestado e à disposição do sistema elétrico, chamado de Custo de Disponibilidade conhecida como taxa de iluminação pública rateada chama de CIP. O valor para o Custo de Disponibilidade é determinado pela Aneel referente aos gatos que a concessionária tem para transmissão de energia e de manutenção do sistema e é cobrado de acordo com o Tipo de Ligação da Unidade Consumidora:

Tabela 3: Custo de Disponibilidade

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

Fonte: ANEEL

Deste modo devemos dimensionar o sistema fotovoltaico para produzir o montante médio consumido em kW, subtraindo-se o Custo de Disponibilidade, tendo em vista que o proprietário continuará pagando essa tarifa mínima. Desse modo, o cálculo do que o sistema deve gerar ficará assim:

$$\text{Geração Ideal} = CMA - CD \quad (1)$$

Onde:

- *CMA* : Consumo Médio Anual;
- *CD*: Custo de disponibilidade.

Nesse projeto, o proprietário tem uma Ligação do Tipo Monofásico (30 kWh) e o Consumo médio anual é de 142,75 kWh, sendo assim o cálculo ficará desse modo:

$$\text{Geração Ideal} = 313,6 \text{ kWh} - 30 \text{ kWh} \quad (2)$$

$$\text{Geração Ideal} = 283,60 \text{ kWh}$$

A Geração Ideal é de aproximadamente 283,60 kWh. Isso significa que, no final dos 30 dias do mês (em média) o Sistema Fotovoltaico deverá gerar em torno de 283,60 kWh. Para o dimensionamento, é melhor trabalhar com o valor de geração diária. Aplica-se então a equação abaixo, para determinar o valor da “Energia de Compensação em Média Diária”:

$$E_{CD} = \frac{\text{Geração Ideal do Sistema mensal}}{30} \quad (3)$$

Onde:

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

Aplicando-se esta equação a esta unidade consumidora, tem-se:

$$E_{CD} = \frac{283,60 \text{ kWh/mês}}{30} \quad (4)$$

$$E_{CD} = 9,45 \text{ kWh/dia}$$

Assim, o sistema ideal deve ser dimensionado para gerar um pouco mais que 9,45 kWh/dia devido às perdas de carga.

4.2.3 Dimensionamento do gerador solar

O dimensionamento do gerador solar é complexo e depende de inúmeras variáveis, para tornar o dimensionamento conciso e seguro, os cálculos foram realizados em um simulador online, de onde obteve-se os seguintes dados:

- a) Potencia mínima necessária de 2,10 kWp – Kilo-Watt-Pico
- b) Área ocupada pelo sistema no telhado de 14,46 m²
- c) Peso sobre o telhado de 216,95 kg
- d) Economia estimada de R\$ 2.212,08 por ano.

4.2.4 Orçamento e detalhamento para o micro gerador solar

O Micro gerador solar é constituído por inúmeros itens, e o local onde será fixado na cobertura da edificação é determinante para definição do modo pelo qual serão fixado e também para o valor de sua aquisição, os dados deste orçamento foram retirados do site da Solar Centrium Energy, empresa especializada em sistemas fotovoltaicos. Neste caso o telhado da residência é de telha galvanizada, sendo utilizados os seguintes itens:

Tabela 4 : Itens do sistema

1 Inversor Fronius 4200013 galvo 2.5.1 wlan/lan/webserver	
1 Pannel solar Canadian cs6x-320p 72 células policristalino 6 polegadas 320w	
25m Cabo solar Nexans energyflex br 0,6/1kv (1500 v dc) preto	
25m Cabo solar Energyflex br 0,6/1kv (1500 vdc) vermelho	
4 Conector mc4 Multi-contact 32.0016p0001-ur pv-kbt4/6ii-ur acoplador femea	

4 Conector mc4 Multi-contact 32.0017p0001-ur pv-kst4/6ii-ur acoplador macho	
2 Estruturas romagnole 410011 rs-136 solar p/telha ondulacao zinco/fibrocimento 4 placas	
String box abb 1slm300101a0790 quadro 01 ou 02 entradas/1 saida 1tr 25a 1000v	

Fonte: Solar Centrium Energy

Segundo de determinação da Aneel todos módulos fotovoltaicos devem ser homologados pelo Inmetro, apresentando selo como demonstrado na figura 14.

Figura 14: Selo do INMETRO do módulo fotovoltaico.



Fonte: Solar Centrium Energy

Para compor o sistema este estudo foi escolhido o Painel solar CANADIAN CS6X-320P 72 célula policristalino 6 Polegadas 320W de 320W, o equipamento apresenta garantia de fábrica de 10 anos e vida útil de 25 anos que é quando atinge 80% de sua eficiência, já o

inversor selecionado é o FRONIUS4200013 GALVO 2.5.1, tendo garantia de fábrica de até 5 anos.

4.2.5 Resumo do Sistema

Após esses cálculos, o sistema escolhido é:

Tabela 5: Resumo do Sistema Dimensionado.

Potência pico do sistema	2,10 kWp
Área ocupada pelos módulos	16 m ²
Radiação solar do local	4,5 kWh/m ² /dia
Geração anual do sistema	3.596,40 KWh/ano
Economia anual	R\$ 2.212,08,00
Valor do Sistema	R\$ 10.333,17
Mao de Obra (instalação)	R\$ 2.500,00
Total do Investimento	R\$ 12.833,17

Fonte: Próprio autor

4.3 REQUISITOS PARA CONEXÃO DE MICRO GERAÇÃO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

A norma que estabelece as diretrizes para a integração de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica a rede da concessionária é a NTC-71, que reúne em uma só norma as principais determinações da ANEEL sobre o tema, sendo essas as Resoluções nº 414, nº 482 e nº 687.

Quando uma unidade geradora produz mais energia do que consome, ela devolve inserir essa energia na rede da concessionária, isso é conhecido como compensação e financeiramente é muito interessante para o proprietário, há países que compram a energia sobressalente das unidades que as produzem, no Brasil essa energia gera um crédito que é utilizado como abatimento em meses futuros. Na prática essa compensação funciona da seguinte forma: instala-se um medidor bidirecional; no período de dia o sistema fotovoltaico produz energia para suprir a demanda da edificação; a energia que não é utilizada é inserida no sistema da concessionária, sem nenhum custo, se transformando em crédito para a unidade geradora, esse crédito pode ser utilizado para atender a demanda da residência em períodos noturnos ou em dias nublados, se no final do mês a unidade ainda possuir crédito, esse poderá

ser compensado em futuras contas de energia por um prazo de 60 meses (5 anos). Todo esse trabalho de compensação só se torna possível com a instalação do medidor bidirecional.

O procedimento para iniciar um projeto ou modificar a carga de um sistema já existente é idêntico e está esquematizado na figura 15.

Figura 15: Esquemática das etapas para conexão da geração ao sistema de distribuição.



Fonte: NTC-71

Neste fluxograma as atividades representadas em azul devem ser realizadas pela solicitante e as atividades em vermelho são responsabilidade da concessionária de energia local.

É preciso entregar a concessionária de energia, dentre outros documentos, um requerimento com a solicitação de acesso, esse requerimento será devidamente analisado e então a concessionária emitirá um parecer de acesso, após essa fase pode-se dar início as obras e adquirir e instalar os equipamentos componentes do sistema. Os prazos de emissão do parecer de acesso após receber a solicitação:

- a) Para micro geração: até 15 dias caso não haja necessidade de melhorias ou reforços e até 30 dias caso haja a referida necessidade;
- b) Para mini geração: até 30 dias para o caso de não haver necessidade de melhorias ou reforços e até 60 dias caso não haja.

Para a instalação do sistema fotovoltaico, são necessários os seguintes itens:

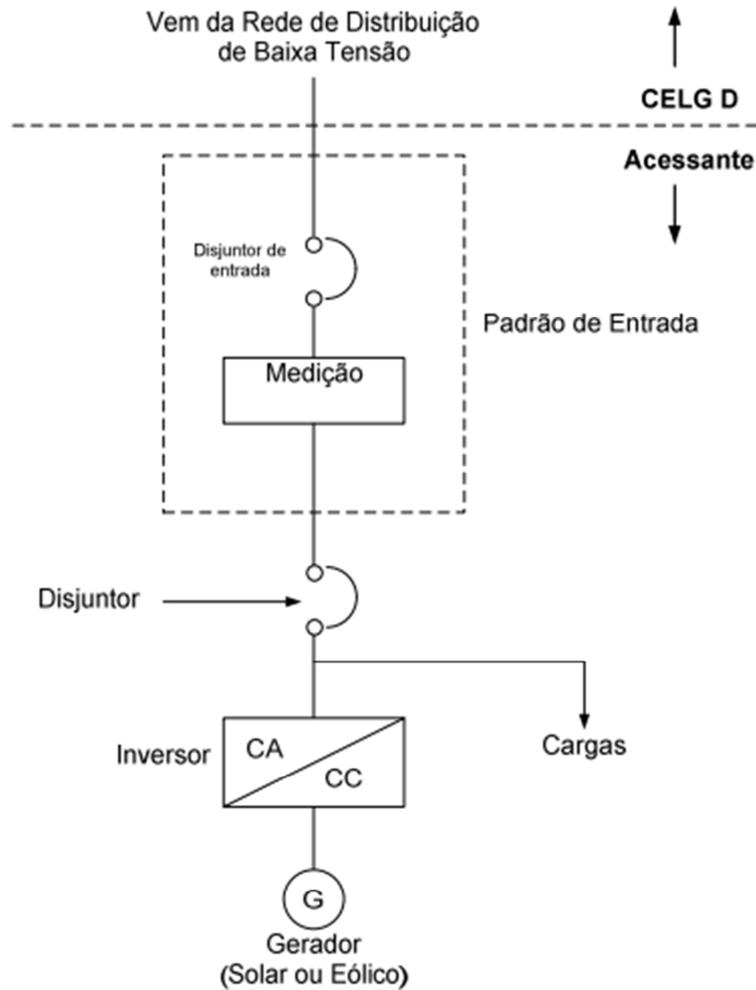
- a) Projeto Elétrico padronizado que defina o sistema de aterramento, apresente o layout da instalação e indique os dispositivos de proteção;
- b) A Anotação de Responsabilidade Técnica – ART deve acompanhar o projeto;
- c) Memorial Descritivo do projeto, que contempla a finalidade do projeto; a localização; especificações dos componentes; nome e assinatura do proprietário;
- d) Cronograma de Implantação;
- e) Diagrama Unifilar, apresentando seção e características de todo e qualquer condutor; dispositivos de proteção e suas características; indicação das cargas;
- f) Certificados dos Inversores;
- g) Formulário de informações para registro na ANEEL;
- h) Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (para o caso de geração compartilhada).

É importante ressaltar que instalação deve estar em conformidade com o proposto no projeto. O solicitante deve informar a concessionária o fim das instalações e solicitar uma vistoria, que deve ser realizada no prazo máximo de 120 dias após a emissão do parecer de acesso. Tendo a concessionária 7 dias úteis para vistoriar o projeto em questão. Na solicitação de vistoria deve estar contido:

- a) Relatório de comissionamento indicando as condições finais do sistema instalado;
- b) ART de execução;
- c) ART de execução do comissionamento.

É de responsabilidade da concessionária arcar com as responsabilidades técnicas e financeiras do sistema de medição. A figura 14 ilustra a ligação do sistema com a rede convencional.

Figura 14 : Forma de conexão do acessante à rede.



Fonte: NTC-71

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA

Ao se considerar a viabilidade econômica para este sistema, será mostrado a análise de Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno com base em um orçamento de equipamentos e mão de obra especializada.

4.4.1 Resumo do Sistema

Em conformidade com nossa análise apresentamos na tabela o orçamento para a solução escolhida.

Tabela 6 : Detalhamento do Microgerador Solar.

DESCRIÇÃO	VALOR TOTAL
GERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO	R\$ 10.437,55
Materiais elétricos (projeção)	R\$ 800,00
Projeto e Solicitação na Concessionária	R\$ 500,00
Instalação e comissionamento	R\$ 2.500,00
Valor total do sistema instalado	R\$ 14.237,55

Fonte: Silva e Costa, 2017

4.4.2 Tempo de Retorno do Investimento

Para o cálculo do tempo de retorno do investimento, leva-se em conta a tarifa vigente de R\$ 0,7674/kWh, o valor do sistema instalado de R\$ 14.237,55 como já demonstrado economia anual de R\$ 2.212,08 no primeiro ano. Tendo em consideração que os módulos apresentam uma perda de rendimento de 0,7 % ao ano, tendo os equipamentos vida útil de 25 anos, tendo nesse período produzido 80% de potência . Considerou-se ainda um custo de capital de 6% ao ano

A tabela 7 apresenta o fluxo de caixa para o investimento:

Tabela 7: Fluxo de Caixa.

ANO ÍNDICE	ENERGIA GERADA (MW)	RETORNO \$	CUSTOS	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CAIXA TOTAL
0	4,14		-R\$ 14.237,55	-R\$ 14.237,55	-R\$ 14.237,55
1	4,14	R\$ 2.212,08	-R\$ 854,25	R\$ 1.357,83	-R\$ 12.879,72
2	4,11	R\$ 2.344,80	-R\$ 743,81	R\$ 1.439,30	-R\$ 11.440,42
3	4,08	R\$ 2.485,49	-R\$ 626,37	R\$ 1.525,66	-R\$ 9.914,76
4	4,05	R\$ 2.634,62	-R\$ 502,75	R\$ 1.617,20	-R\$ 8.297,57
5	4,03	R\$ 2.792,57	-R\$ 372,64	R\$ 1.714,23	-R\$ 6.583,34
6	4	R\$ 2.960,12	-R\$ 235,68	R\$ 1.817,08	-R\$ 4.766,25
7	3,97	R\$ 3.137,73	-R\$ 91,52	R\$ 1.926,11	-R\$ 2.840,15
8	3,94	R\$ 3.319,99		R\$ 2.041,67	-R\$ 798,47
9	3,91	R\$ 3.519,18		R\$ 2.164,17	R\$ 1.365,70
10	3,89	R\$ 3.730,03		R\$ 2.294,03	R\$ 3.659,73
11	3,86	R\$ 3.953,85		R\$ 2.431,67	R\$ 6.091,40
12	3,83	R\$ 4.191,08		R\$ 2.577,57	R\$ 8.668,96
13	3,81	R\$ 4.442,54		R\$ 2.732,22	R\$ 11.401,18
14	3,78	R\$ 4.762,55		R\$ 2.896,15	R\$ 14.297,34
15	3,75	R\$ 5.048,30		R\$ 3.069,92	R\$ 17.367,26
16	3,73	R\$ 5.351,19		R\$ 3.254,12	R\$ 20.621,38
17	3,7	R\$ 5.672,26		R\$ 3.449,37	R\$ 24.070,74
18	3,67	R\$ 6.012,59		R\$ 3.656,33	R\$ 27.727,07
19	3,65	R\$ 6.373,35		R\$ 3.875,71	R\$ 31.602,78
20	3,62	R\$ 6.755,75		R\$ 4.108,25	R\$ 35.711,03
21	3,6	R\$ 7.161,09		R\$ 4.354,74	R\$ 40.065,77
22	3,57	R\$ 7.590,76		R\$ 4.616,03	R\$ 44.681,80
23	3,55	R\$ 8.046,20		R\$ 4.892,99	R\$ 49.574,79
24	3,52	R\$ 8.528,97		R\$ 5.186,57	R\$ 54.761,37
25	3,5	R\$ 9.040,71		R\$ 5.497,76	R\$ 60.259,13

Fonte: Próprio Autor

A partir desse fluxo de caixa identifica-se que o investimento se paga no ano 8 e terá alta rentabilidade posteriormente.

6 CONCLUSÕES

Atualmente a sustentabilidade tem tomado proporções cada vez maiores devido aos trágicos episódios de desastres naturais que causam não apenas prejuízos financeiros extraordinários como também desabrigam inúmeras famílias e causam milhares de mortes. Todas essas questões fazem com que o homem busque formas cada vez menos agressivas a natureza, na construção civil os empreendimentos buscam o que chamamos de tripé fundamental: ambiental, financeiro e social. Embora os incentivos governamentais para o desenvolvimento de energias alternativas ainda sejam escassos a geração de energia através de painéis fotovoltaicos atende ao tripé fundamental.

Nesta pesquisa foi realizada uma breve explanação sobre o desenvolvimento das células solares, no mundo e no Brasil, sendo esse equipamento fundamental para a geração de energia elétrica fotovoltaica, descreveu-se ainda sistemas *On-grid* e *Off-grid*, bem como suas vantagens e desvantagens e por fim apresentou-se um projeto para implementação de um sistema *on-grid* de energia solar fotovoltaica em uma residência unifamiliar real.

Dentre as atuais fontes de energia disponíveis a energia solar apresenta um bom potencial quando comparado a energia provenientes de combustíveis fósseis ou de origem nuclear. Por permitir a possibilidade de ser gerada no ponto de utilização não é preciso grandes investimentos em sistemas de transmissão e o Brasil possui uma boa incidência solar em grande parte do seu território durante todo o ano. Como descrito o governo durante alguns anos incentivou a produção de energia fotovoltaica, no entanto esses incentivos foram insuficientes para aumentar de forma relevante a participação deste tipo de energia na matriz energética brasileira. É importante o investimento em formas de conscientização da população destas formas de energia, e modo que a população venha a entender suas vantagens e desvantagens, bem como os benefícios que podem ser alcançados com a implantação deste tipo de sistema.

Como demonstrado no estudo de caso a implantação desse sistema em residências unifamiliares se mostrou vantajoso economicamente ainda que seu investimento inicial seja consideravelmente alto, principalmente para famílias de baixa, pois a economia proveniente da instalação do sistema permitiu que o mesmo se pague em 8 anos, restando 17 anos de

grande rentabilidade, considerando principalmente que esse sistema praticamente não exige manutenção frequente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ATHANASIA, A. L. **The economics of photovoltaic stand-alone residential households: a case study for various European and Mediterranean locations**. Solar Energy & Solar Cells, n.62, p.411-427, 2000.

BLUESOL. **Energia Solar: Como Funciona? – O Efeito Fotovoltaico**, disponível em <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-o-efeito-fotovoltaico/>> , publicado em 23 de dezembro de 2011, último acesso em 26 de Maio de 2018.

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

CHUCO B. **Otimização de operação em sistema isolado fotovoltaico utilizando técnicas de inteligência artificial**. UFMS, Campo Grande, 2007.

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

ELETROBRÁS. **Conservação de energia: Eficiência energética de instalações e equipamentos**. Procel. Itajubá, MG, Editora da EFEI, 2001.

KONER, P. K. **A review on the diversity of photovoltaic water pumping systems**. RERIC International energy journal, v. 15, n. 2, 1993.

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.

MACEDO. W. N. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. São Paulo, Brasil: Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. Brasil, 2006. 183 p.

MARINI, J.A.; ROSSI, L.A. **Suprimento de eletricidade por meio de painel fotovoltaico: Programa computacional para dimensionamento**. São Paulo, Brasil: V CLAGTEF – Congresso Latino Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica, 2003.

MATAVELLI, A. C. ; **Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas**. 2013. 34f. Monografia apresentada à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Engenheiro Químico.

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

PEREIRA, A. C.; **Geração de Energia para Condomínio Utilizando Sistema Fotovoltaico Autônomo – Estudo de Caso em Edifício Residencial com Seis Pavimentos**, 2010. 46f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG

PINHO, J.T.; BARBOSA, C.F.O.; PEREIRA, E.J.S; SOUSA, H.M.S; BLASQUES, L.C. **Sistemas híbridos – Soluções energéticas para a Amazônia**. 1 ed. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia, 2008. 396 p.

RIBEIRO, C. H. M. ; **Implantação de um Sistema de Geração Fotovoltaica**, 2012. 75f. 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.

RODRIGUES, C., **Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Dissertação (Mestrado).

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

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I. M. T.; **Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais**, 2006. 16f. Artigo do V CBPE :

Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, dentro do tema Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio.

SOARES, G. F. W. ; VIEIRA, L. S. R. ; GALDINO, M. A. ; OLIVIERI, M. M. A. ; BORGES, E. L. P. ; CARVALHO, C. M. ; LIMA, A. A. N. . Avaliação Técnico-Econômica da Aplicação de Sistemas Fotovoltaicos Individuais e de Centrais com Minirredsr na Eletrificação Rural. **Revista Brasileira de Energia Solar** , v. II, p. 117-128, 2010.

TIBA, C.; FRAIDENRANCH, N.; BARBOSA, E. M. **Instalação de sistemas fotovoltaicos para residências rurais e bombeamento de água**. Texto para curso de instalado de sistemas fotovoltaicos. Versão 2.0. Novembro de 2001.

VILELA, O. C. **Caracterização, simulação e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água**. Recife, Brasil: Tese de Doutorado, Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, 2010.