



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



DANIEL HOSKEN PIRES

**A VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE PAINEL FOTOVOLTAICO EM
REPÚBLICAS**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2015

DANIEL HOSKEN PIRES

**VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE PAINEL FOTOVOLTAICO EM
REPÚBLICAS**

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

Orientador: Luiz Fernando Rísoli
Alves

Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Junho/2015

Monografia defendida e aprovada, em 01 de julho de 2015, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves - Orientador



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



Prof. Dr. Sávio Augusto Lopes da Silva – Professor Convidado

“Demore o tempo que for para ver o que você quer da vida e depois que decidir, não recue ante nenhum pretexto, porque o mundo tentará te dissuadir.”

Zaratrusta de Nietzsche

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, responsável por iluminar meus passos, me proporcionar fé e força de vontade.

Aos meus pais José Vicente Guimarães Pires e Jussara Maria Hosken Pires, por terem dado toda base para eu me tornar a pessoa que sou hoje, por terem me educado, por serem minha fonte de inspiração e referência, além de proporcionarem todo amor e carinho desse mundo.

A minha irmã Juliana, por ser minha amiga, e ser bem presente em minha vida.

A Ana Flávia, pelo carinho, por sempre ter me apoiado.

A toda minha família Hosken e Pires, que me ensinaram e mostraram que a família é tudo nessa vida!

Ao Marco Aurélio Soares Martins (Jovem), por ter presenteado a República com o sistema de energia solar fotovoltaica, fornecido pela OptPower, me proporcionando assim, o estudo de caso desse material.

Ao meu orientador Luiz Fernando Rísoli Alves, por me proporcionar todo suporte para realização desse projeto e por me mostrar que sou capaz.

Aos meus amigos de Ouro Preto, e de todas as cidades por onde já passei, pela amizade e momentos de alegria.

A vida republicana que me ensinou muita coisa e me fez passar por momentos inesquecíveis.

A todos que contribuíram de alguma forma para essa conquista e fazem parte de minha rotina.

RESUMO

Tendo em vista o alto consumo energético em determinados domicílios, a opção por uma energia renovável e limpa é de extrema importância para diminuir os custos energéticos de forma que seja ambientalmente correto. São cada vez mais frequentes os estudos e projetos relacionados a esse tipo de energia, como principalmente a implantação de sistemas compostos de placas fotovoltaicas. O Brasil, apesar de ser um local privilegiado de recursos naturais e de grande incidência solar, ainda é carente na utilização desse tipo de energia, além de ter pouco investimento nessa área e pouco incentivo por parte do governo. O estudo de caso deste trabalho é uma moradia de alunos da UFOP, a República Federal Reino de Baco, casa de propriedade do Governo Federal aos cuidados dos alunos, onde um sistema de painéis Fotovoltaicos foi implantado. Esta é uma situação em que o alto investimento inicial do sistema fotovoltaico poderá ser aproveitado por várias gerações, pois se trata de uma república estudantil tradicional, onde a rotatividade de futuros profissionais é muito alta.

Palavras-chave: Energia solar, painel fotovoltaico, células de silício

ABSTRACT

In view of the high energy consumption in some households, the option for a renewable and clean energy is of utmost importance to reduce energy costs in a way that is environmentally correct. It is increasingly frequent studies and projects related to this type of energy, as the implementation of systems composed of photovoltaic panels. In Brazil, despite being a privileged place of natural resources and high solar incidence, is still lacking in the use of this type of energy, has little investment in this area and little incentive on the part of the Government. The case study of this work is a student housing of the UFOP, called Reino de Baco, house owned by the Federal Government under the care of the students, where a system of Photovoltaic panels has been deployed. This is a situation where the high initial investment of PV system has a higher guarantee of work, bringing a financial feedback for the next generation of students that will be living in this house.

Keywords: solar Energy, photovoltaic panel, Silicon cells

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1</i>	<i>Radiação solar na terra.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2.2</i>	<i>Posição do sol em relação à terra</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.3</i>	<i>Efeito Fotovoltaico.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.4</i>	<i>Célula de Silício Monocristalino.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2.5</i>	<i>Célula de Silício Policristalino</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.6</i>	<i>Diferença entre Célula, Módulo e painel solar.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.7</i>	<i>Funcionamento do sistema fotovoltaico.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.8</i>	<i>Média diária de Incidência solar em horas.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2.9</i>	<i>Espessura de fio para sistema solar.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.1</i>	<i>Sistema de painel fotovoltaico implantado.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.2</i>	<i>Equipamentos acoplados aos painéis de captação de energia solar.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.3</i>	<i>Histórico de consumo de energia.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3.4</i>	<i>Especificações do Painel fotovoltaico.....</i>	<i>36</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2.1 Comparativo entre as tecnologias empregadas em placas fotovoltaicas...</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 3.1 Especificações do inversor.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 3.2 Dados e resultados do CASO 1.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 3.3 Fluxo de caixa do CASO 1.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 3.4 Saldo de investimento corrigido do CASO 1.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 3.5 Dados de lâmpadas atuais da residência.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 3.6 Análise de lâmpadas de LED para residência.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 3.7 Dados e resultados do CASO 2.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 3.8 Fluxo de caixa do CASO 2.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 3.9 Saldo de investimento corrigido do CASO 2.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 3.10 Dados e resultados do CASO 3.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 3.11 Fluxo de caixa do CASO 3.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.12 Saldo de investimento corrigido do CASO 3.....</i>	<i>44</i>

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	11
1.1– Objetivo	13
1.2– Justificativa.....	13
1.3– Estrutura do trabalho	13
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1- Energia solar.....	15
2.1.1- Radiação solar	15
2.1.2 - Posicionamento do sol em relação à terra	16
2.2 – Células Fotovoltaicas.....	17
2.2.1 – Células de Silício (Si)	18
2.2.2 – Células de Filme Fino.....	20
2.2.3 – Células de Silício Amorfo (a-Si)	21
2.2.4 – Células de Telureto de Cádmio (CdTe).....	21
2.2.5 – Células de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS. CIGS)	22
2.2.6 – Célula Fotovoltaica Orgânica	22
2.2.7 – Célula Híbrida	22
2.2.8 – Tabela comparativa entre tecnologia empregada em placas Fotovoltaicas	23
2.3 – Componentes do sistema	23
2.3.1 – Painel Solar Fotovoltaico	23
2.3.2 – Controlador de carga	24
2.3.3 – Inversor.....	24
2.3.4 – Baterias	25
2.4 – Funcionamento do Sistema Fotovoltaico	25
2.5. – Principais Parâmetros de um painel Fotovoltaico	26
2.6 – Metodologias para dimensionamento do Sistema Fotovoltaico	27
2.6.1 – Painel Solar.....	29
2.6.2 – Controlador de Carga.....	29
2.6.3 – Baterias	30
2.6.4 – Inversor.....	30
2.7 - Compatibilidade dessa energia com iluminação em LED	31
3- ESTUDO DE CASO	33
3.1- Descrição da aplicação	33
3.2- Consumo de Energia da República	34
3.3- Especificação dos componentes do sistema	35

3.3.1 - Painei Fotovoltaico.....	35
3.3.2 - Inversor	36
3.3.3 - Transformador	37
3.4 - Análise financeira.....	38
3.4.1 - CASO 1 – Sistema fotovoltaico atual	38
3.4.2 - CASO 2 – Sistema fotovoltaico atual, com lâmpadas de LED.....	40
3.4.3 - CASO 3 – Implantação do sistema fotovoltaico no telhado, posicionado para o Norte, e com iluminação de LED na residência.	42
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5- CONCLUSÃO	47
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1- INTRODUÇÃO

A maior fonte de energia para o nosso planeta é a proveniente do Sol, a força motriz por trás dos processos da vida. Este é um dos melhores recursos naturais para geração de energia elétrica, sendo renovável, não poluente e em longo prazo de baixo custo de manutenção. Há um aumento no número de pessoas interessadas em produzir energia elétrica em casa a partir da energia solar e este trabalho descreve o processo de conversão e utilização desta energia renovável.

A Energia Fotovoltaica, tecnologia versátil e flexível, pode ser utilizada para atender necessidades energéticas praticamente em todos os locais quando e onde for necessário. O termo fotovoltaico provém da palavra grega “fotos” (luz) com voltaico, homenagem a Alessandro Volta, um pioneiro no estudo da eletricidade.

As células fotovoltaicas realizam a conversão de energia solar em elétrica sem partes móveis, ruído, poluição ou radiação. Essas são feitas de um material semicondutor, geralmente de silício que é tratado quimicamente para criar uma camada de carga positiva e uma camada de carga negativa. Uma corrente contínua é gerada pela captação de elétrons que são desalojados da célula fotovoltaica quando a energia solar atinge a mesma. A corrente e a voltagem são maiores, quanto maior for o número de células, e estas juntas formam um painel fotovoltaico.

Estes sistemas fotovoltaicos, ainda que em pequena escala, já fazem parte de nossas vidas, em aplicações desde pequenos objetos como calculadoras ou relógio de pulso, até iluminação pública, sinalizações em estradas, casas móveis ou mesmo na medicina. O investimento necessário para este sistema depende diretamente da potência requerida para o funcionamento em que será aplicado.

A geração de energia elétrica convencional é centralizada e distante do ponto de consumo, isso faz com que o sistema gere perdas na distribuição, aumentando os custos da produção da energia e causando danos às concessionárias e ao meio ambiente. No entanto, a geração distribuída oferece inúmeras vantagens ao setor elétrico, uma vez que a disposição da unidade de geração é próxima da carga, além disso, permite uma maior diversificação das tecnologias empregadas para a produção de energia (RODRIGUES, 2002).

Inicialmente, os sistemas de conexão à rede elétrica se desenvolviam somente para centrais fotovoltaicas de grande porte, já que se pensava que estas poderiam, no futuro, resolver certos problemas existentes na geração e distribuição de energia convencional. À medida que o mercado da eletrônica avançou, começaram a ser desenhados, também, sistemas de menores portes com a finalidade de atender pequenas centrais domésticas, que hoje correspondem a mais de 50% do mercado fotovoltaico (ATHANASIA, A. L.; 2000).

A energia elétrica proveniente de fontes renováveis de pequena escala é vista como opção, em diferentes níveis, por diversos países. Dentre eles a Alemanha, Espanha, Japão e Estados Unidos. No Brasil a discussão da inserção dessas fontes ainda é muito carente e necessita de uma abordagem mais aprofundada (OLIVEIRA, 2002).

Recentemente, os sistemas solares fotovoltaicos têm sido utilizados de forma integrada à rede elétrica pública. Estas instalações podem apresentar duas configurações distintas: instaladas de forma integrada à edificação (no telhado ou fachada), e, portanto próximo ao ponto de consumo, ou de forma centralizada como em uma usina geradora convencional, neste caso, distante do ponto de consumo.

É de fundamental importância, informar que a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), desde 17 de Abril de 2012, colocou em vigor a ‘Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012’, onde o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da mini geração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem conciliar economia financeira, consciência socioambiental e principalmente auto sustentabilidade.

Os estímulos à geração distribuída se justificam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles, está o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética.

De acordo com a Resolução Normativa nº 482/2012, os micro geradores são aqueles com potência instalada menor ou igual a 100 quilowatts (kW), e os mini geradores, aqueles cujas centrais geradoras possuem de 101 kW a 1 megawatt (MW).

As fontes de geração precisam ser renováveis ou com elevada eficiência energética, isto é, com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada.

1.1– Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da implantação de painéis fotovoltaicos em residências, a partir de um projeto implantado em uma república estudantil na cidade de Ouro Preto.

1.2– Justificativa

Com o avanço da tecnologia, em paralelo com a busca de fontes de energia ecologicamente corretas, fica cada vez mais presente em nosso cotidiano, estudos e implantações de projetos na área de energia fotovoltaica.

Outro fato a se considerar de extremo peso nesse tipo de estudo, é a constante e o constante aumento nas tarifas impostas pelas concessionárias geradoras de energia elétrica.

Poder trocar esse tipo de energia citado anteriormente, por uma energia limpa, sem impacto ambiental e livre de ruídos, chega a ser considerado um cenário ideal, principalmente quando se pode tornar o ambiente autossustentável.

1.3– Estrutura do trabalho

A fim de facilitar e auxiliar o entendimento do estudo de caso contido nesse projeto, e respeitando a ordem cronológica dos procedimentos, este trabalho está composto da seguinte estrutura:

O Capítulo 1 contém uma introdução ao assunto de estudo, objetivo do trabalho, sua justificativa, e por fim a estrutura desse trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão dos conceitos abordados neste estudo. Entre eles estão um estudo sobre energia solar, um detalhamento sobre alguns tipos de células fotovoltaicas, e define alguns componentes do sistema. Além disso, esse capítulo aborda parâmetros, dimensionamento, funcionamento e compatibilidade dos painéis fotovoltaicos.

O Capítulo 3 descreve o estudo de caso em análise, dados obtidos e resultados. Apresenta também a descrição dos casos citados, e tabelas de resultados.

O Capítulo 4 Analisa os resultados obtidos, proporcionando assim uma análise e comentários a respeito dos valores em questão.

Capítulo 5 por fim, apresenta as conclusões finais por meio deste estudo de caso, seguido por sugestões para futuros trabalhos.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Energia solar

2.1.1- Radiação solar

A energia do sol, além de iluminar e aquecer, é responsável por manter a vida na terra (SILVA, 2006). Embora para nós, algo único e de importância vital por sua proximidade, o sol é elemento insignificante entre as estrelas da sequência principal (BRINKWORTH, 1981).

Segundo Silva (2006), o sol é dividido em duas regiões: o interior e a atmosfera. O conhecimento que temos do interior é devido a modelos de estrutura estelar e medidas de heliossismologia. Já a atmosfera pode ser analisada de forma direta nos seus vários comprimentos de onda.

A energia solar chega a Terra nas formas térmica e luminosa. Segundo o estudo do Plano Nacional de Energia 2030, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a irradiação solar incidente por ano na superfície da Terra é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo. Essa radiação, porém, não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre, depende da latitude, da estação do ano e de condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar. Ao passar pela atmosfera terrestre, a energia solar manifesta-se sob a forma de luz visível de raios infravermelhos e de raios ultravioleta. É possível captar essa luz e transformá-la em alguma forma de energia utilizada pelo homem: térmica ou elétrica. São os equipamentos utilizados nessa captação que determina qual será o tipo de energia a ser obtida.

Se for utilizada uma superfície escura para a captação, a energia solar será transformada em calor. Se utilizadas células solares fotovoltaicas (painéis solares fotovoltaicos), o resultado será a eletricidade. Os equipamentos necessários à produção do calor são chamados de coletores e concentradores – pois, além de coletar, às vezes é necessário concentrar a radiação em um só ponto. Este é o princípio de muitos aquecedores solares de água. Para a produção de energia elétrica existem dois sistemas: o heliotérmico e o fotovoltaico. No primeiro, a irradiação solar é convertida em calor que é utilizado em usinas termelétricas para a produção de eletricidade. O processo completo compreende quatro fases: coleta da irradiação, conversão em calor, transporte e armazenamento e, finalmente, conversão em eletricidade. Para o aproveitamento da

energia heliotérmica é necessário um local com alta incidência de irradiação solar direta, o que implica em pouca intensidade de nuvens e baixos índices pluviométricos, como ocorre no semiárido brasileiro.

Durante o ano, a distância entre o Sol e a Terra pode variar entre 147×10^6 km e 152×10^6 km. Este fato influi em uma variação da radiação E, que varia entre 1.325 W/m² e 1.412 W/m². O valor médio dessa variação é denominado constante solar, $E_0 = 1.367$ W/m² (GREENPRO,2004).

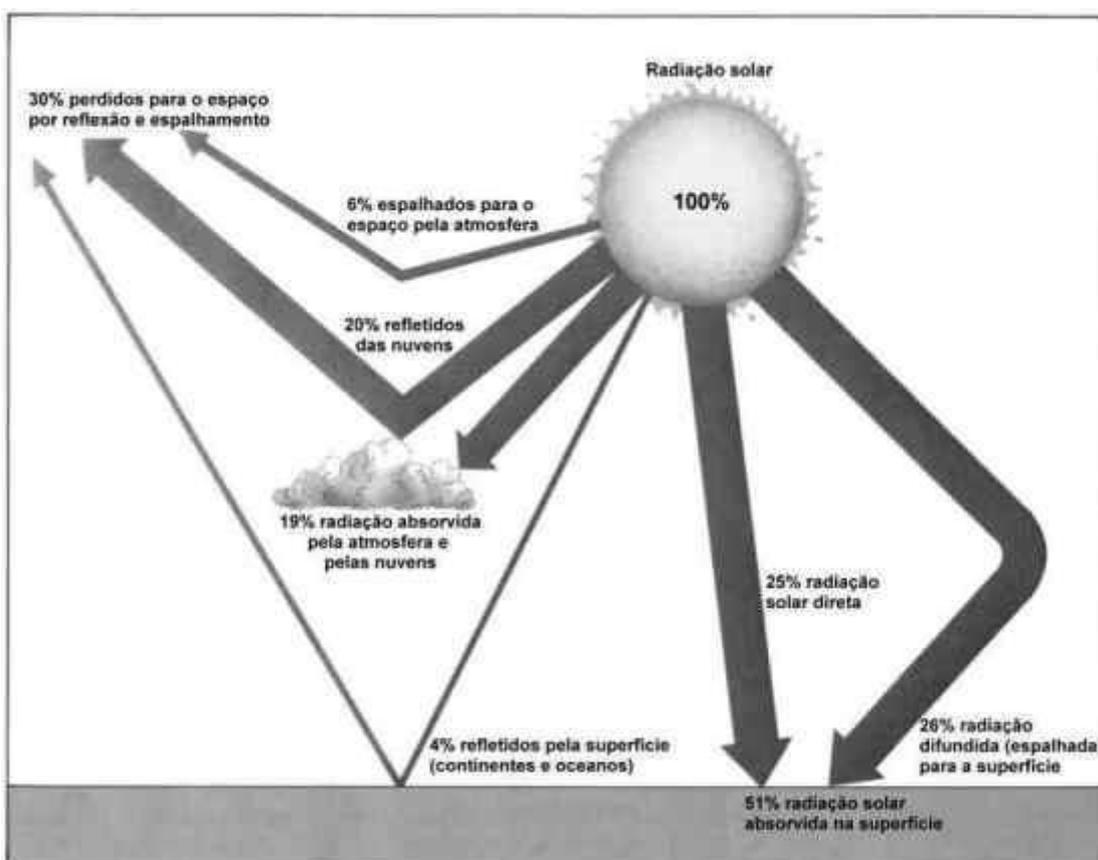


Figura 2.1 – Radiação solar na terra

FONTE: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>

2.1.2 - Posicionamento do sol em relação à terra

Em seu movimento de translação, o planeta terra descreve em relação à linha do equador, uma trajetória elíptica inclinada em $23,5^\circ$. Essa inclinação provoca variações na posição do sol no horizonte no mesmo horário ao longo do ano, e que por consequência origina as diferentes estações (CRESESB, 2006).

O movimento de rotação proporciona o ciclo dia-noite, e a hora solar. A hora solar depende da localidade (longitude) e geralmente é diferente da hora local marcada pelos relógios, definida pelas Zonas de Hora Padrão (fuso horário) e outras aproximações. A hora solar é baseada no relógio de 24 horas, com 12h00 sendo o horário em que o Sol está exatamente na direção Norte. O conceito de hora solar é usado para prever a direção dos raios solares em um determinado ponto sobre a Terra (ALVES, 2008).

A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Inclinação Solar (δ). Este ângulo, que pode ser visto na Figura 2.1, varia de acordo com o dia do ano dentro dos seguintes limites: $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ (CRESESB, 2006)



Figura 2.2 – Posição do sol em relação a terra

FONTE: http://www.cienciaviva.pt/equinocio/lat_long/cap2.asp

2.2 – Células Fotovoltaicas

De acordo com Braga (2008), o efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839, por Edmund Becquerel, em uma solução de selênio. Mais tarde, esse efeito foi estudado em sólidos e, por volta de 1880, foi confeccionado o primeiro módulo fotovoltaico utilizando-se selênio. Este módulo possuía eficiência de 2%. A partir de 1950, após pesquisas realizadas nos EUA, foi construído o primeiro módulo fotovoltaico de silício.

O sistema de transformação de energia solar em elétrica, por meio de células fotovoltaicas, é uma forma instantânea de adquirir energia elétrica. As placas fotovoltaicas se utilizam da radiação solar como fonte de energia natural, que é a mais limpa e abundante, transformando-a em energia elétrica (TESSARO, 2006).

A energia gerada é na forma de corrente contínua semelhante à corrente da bateria de um automóvel. Esse processo é realizado livre de poluição, ruídos e radiação. Essas células são compostas de um material semicondutor, onde na maioria das vezes se trata do silício, por ser um recurso bastante farto na nossa terra.

O silício é quimicamente tratado a fim de criar uma camada de carga positiva, e uma camada negativa. A partir do momento em que o sol incide nessa célula, ocorre um desacoplamento de um elétron. Esse elétron, que é recolhido por um fio ligado ao sistema, formando assim, uma corrente elétrica. Consequentemente, quanto maior o número desses elétrons, maior é a corrente e tensão.

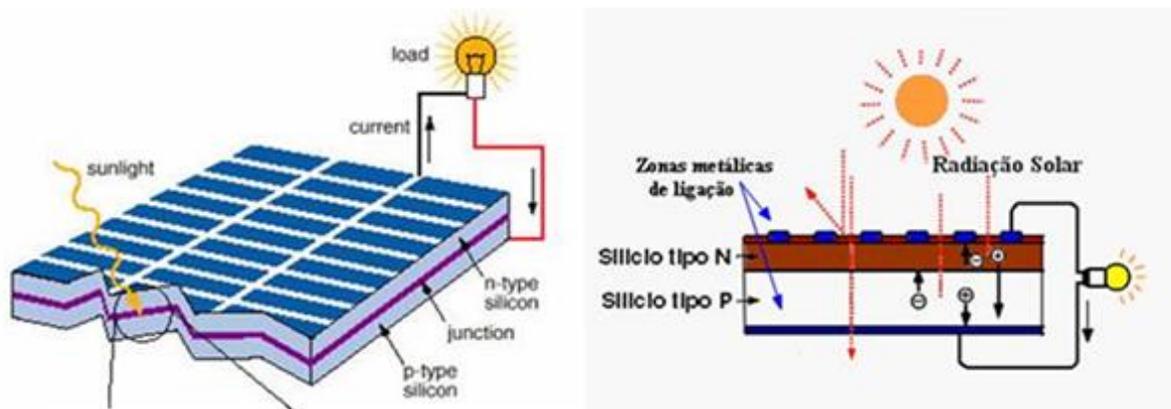


Figura 2.3 – Efeito fotovoltaico

FONTE: <http://www.viridian.com.br/tecnologia/energia+solar+fotovoltaica/4>

2.2.1 – Células de Silício (Si)

Quase 80% dos painéis fotovoltaicos no mundo hoje são baseados em alguma variação de silício. Em 2014, cerca de 85% de todos os sistemas de energia solar fotovoltaica instalados em casas e empresas no mundo todo utilizaram alguma tecnologia baseada em silício (Si). O silício usado em painéis solares assume muitas formas. A principal diferença é a pureza dele. Quanto mais perfeitamente alinhadas estiverem as moléculas de silício, melhor a célula solar será na conversão de luz solar em energia elétrica. Mas os processos utilizados para melhorar a pureza do silício e o tratamento dele são caros e impactam diretamente no preço do painel solar (45% do

custo de um painel solar convencional de tecnologia de silício cristalino é o silício bruto purificado e tratado).

→ Células de Silício Monocristalino

A tecnologia monocristalina é a mais antiga e também uma das mais caras, porém eles possuem a eficiência mais alta. Comercialmente falando, a eficiência dos painéis esta entre 14 e 21%. Os painéis solares de silício monocristalino (mono-Si) são facilmente reconhecíveis apenas olhando de perto. Possuem uma cor uniforme, indicando silício de alta pureza e cantos tipicamente arredondados como você pode ver na imagem abaixo. Dentre suas vantagens, esse tipo de painel tem uma vida útil de cerca de 30 anos, e funcionam melhor do que painéis solares policristalinos em condições de pouca luz.

Eles são feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro, (lingotes de silício de forma cilíndrica), este é fatiado como um "salame" fazendo assim lâminas de silício individuais, que são então tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. Cada célula fotovoltaica circular tem seus "4 lados" cortados para otimizar o espaço disponível no painel solar monocristalino e aproveitar melhor a área do painel. O painel solar é composto por uma matriz de células fotovoltaicas em formações de série e paralelo. Seus tamanhos padrões são: 10 x 10 cm; 12,5 x 12,5 cm; 15 x 15 cm.



Figura 2.4 – Célula de Silício Monocristalino

FONTE: http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/tecnologia-de-celulas-y-modulos-fotovoltaicos/Materiales/unidad-3/skinless_view

→ Células de Silício Policristalino

Os primeiros painéis solares à base de silício policristalino, que também são também conhecidos como polisilício (p-Si) e silício multi-cristalino (mc-Si), foram introduzidos no mercado em 1981.

Semelhante aos painéis solares a base de monocristalino, os de policristalino são feitos de silício, onde a principal diferença entre as tecnologias é o método utilizado na fundição dos cristais. No policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, desta forma preservando a formação de múltiplos cristais (dai o nome policristalino). Quando este bloco é cortado e fatiado, é possível observar esta formação múltipla de cristais. Uma vez fundido, eles são serrados em blocos quadrados e, em seguida, fatiados em células assim como no monocristalino, mas é um pouco mais fácil de produzir. Eles são semelhantes aos de único cristal (monocristalino) tanto no desempenho como na degradação, exceto que as células são ligeiramente menos eficientes. Seus tamanhos padrões são: 10 x 10 cm; 12,5 x 12,5 cm; 15 x 15 cm.

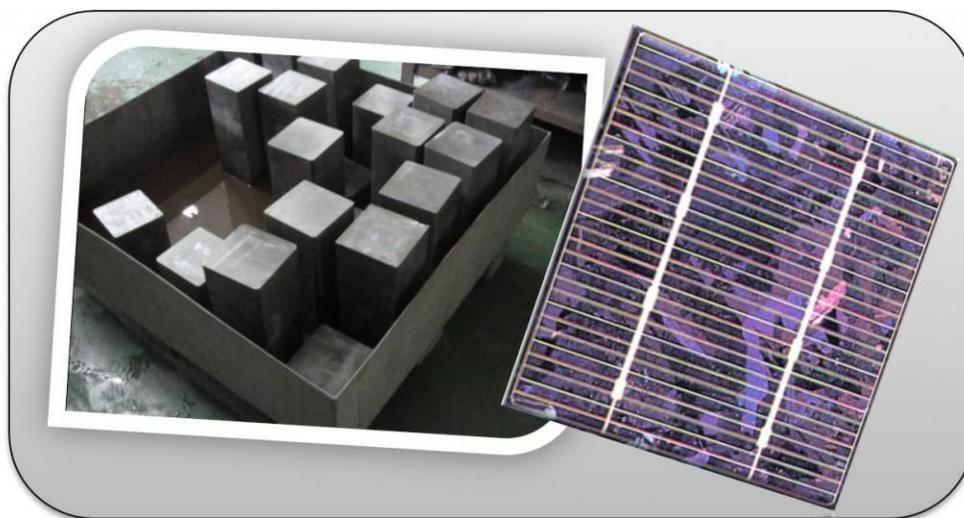


Figura 2.5 – Célula de Silício Policristalino

FONTE: http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/tecnologia-de-celulas-y-modulos-fotovoltaicos/Materiales/unidad-3/skinless_view

2.2.2 – Células de Filme Fino

Depositar uma ou várias camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato é a essência básica de como os painéis fotovoltaicos de filme fino são fabricados. Eles também são conhecidos como células fotovoltaicas de película fina (TFPV). Os

diferentes tipos painéis solares de filme fino podem ser categorizados por material fotovoltaico que é depositado sobre o substrato:

- Silício amorfo (a-Si)
- Telureto de cádmio (CdTe)
- Cobre, índio e gálio seleneto (CIS / CIGS)
- Células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV)

Dependendo da tecnologia de célula fotovoltaica de filme fino utilizada, os painéis de filme fino possuem eficiências médias entre 7-13%. Algumas tecnologias de painel de filme fino já estão chegando aos 16% sendo similar a eficiência dos painéis Policristalinos. Atualmente (2015) os painéis fotovoltaicos que utilizam a tecnologia de filme fino representam aproximadamente 20% do mercado mundial de painéis solares fotovoltaicos. Sendo a maioria de silício cristalino.

2.2.3 – Células de Silício Amorfo (a-Si)

Como a produção de energia elétrica é baixa nesta tecnologia, as células solares baseadas em silício amorfo, tradicionalmente, só tinham sido usadas para aplicações de pequena escala. Exemplo: calculadoras de bolso. No entanto, as inovações recentes permitiram que esta tecnologia fosse utilizada também em aplicações de larga escala. Com uma técnica de fabricação chamada de "empilhamento", várias camadas de células solares de silício amorfo podem ser combinadas, o que resultam em taxas mais elevadas de eficiência (tipicamente cerca de 6-9%). Apenas 1% do silício utilizado em células solares de silício cristalino é necessário nas células solares de silício amorfo. Por outro lado, o empilhamento é caro.

2.2.4 – Células de Telureto de Cádmio (CdTe)

Telureto de cádmio é a única tecnologia de painéis solares de película fina que superou o custo/eficiência de painéis solares de silício cristalino em uma parcela significativa do mercado mundial de painéis solares. A eficiência de painéis solares com base na tecnologia de telureto de cádmio opera normalmente na faixa de 9-11%. As

instalações com os painéis de CdTe PV são tipicamente grandes campos solares (grandes usinas de energia solar).

2.2.5 – Células de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS. CIGS)

Em comparação com as outras tecnologias de filme-fino acima, as células solares CIGS mostraram o maior potencial em termos de eficiência. Estas células solares contêm menos quantidades do cádmio (material tóxico que é encontrado em células solares de CdTe). A produção comercial de painéis solares CIGS flexível foi iniciado na Alemanha em 2011. Os índices de eficiência para painéis solares CIGS normalmente operam na faixa de 10-12% e já existem alguns sendo vendidos no Brasil passando dos 13%. Muitos tipos de células solares de película fina estão ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento e no futuro poderemos ver algumas soluções interessantes vindas desta tecnologia.

2.2.6 – Célula Fotovoltaica Orgânica

Uma célula solar orgânica é um tipo de célula solar de polímero que usa a eletrônica orgânica, um ramo da eletrônica que lida com polímeros orgânicos condutores ou pequenas moléculas orgânicas, para absorção de luz e transporte de carga para a produção de eletricidade a partir da luz solar pelo efeito fotovoltaico. A célula solar de polímero orgânico foi idealizada há muitos anos como uma tecnologia fotovoltaica flexível, de baixo custo, feita utilizando processos de impressão, máquinas simples e materiais abundantes. Hoje são poucas as empresas que conseguiram levar a produção de células fotovoltaicas (OPV) para uma escala industrial. No Brasil existe a CSEM Brasil, em Belo Horizonte, que está desenvolvendo esta produção com tecnologia principalmente suíça.

2.2.7 – Célula Híbrida

Existe uma "nova" tecnologia no mercado conhecida por Heterojunção. Comercialmente falando, a eficiência dos painéis que utilizam esta tecnologia é de 20%. O processo de fabricação, com algumas diferenças, é similar ao dos painéis fotovoltaicos monocristalinos, porém, possuem uma passivação com camada de Silício Amorfo (a-Si), dentre outras diferenças. Colocando de uma forma simples, este painel produz mais energia por metro quadrado e também funciona muito bem com

temperaturas mais altas, desta forma, esta tecnologia é ideal para o Brasil, mas infelizmente ainda não está disponível no mercado.

2.2.8 – Tabela comparativa entre tecnologia empregada em placas Fotovoltaicas

Material da célula fotovoltaica	Eficiência da célula em laboratório (%)	Eficiência da célula comercial (%)	Eficiência dos módulos comerciais (%)
Silício monocristalino	24,7	18	14
Silício policristalino	19,8	15	13
Silício cristalino de filme fino	19,2	9,5	7,9
Silício amorfo	13	10,5	7,5
Silício micromorfo	12	10,7	9,1
Célula solar híbrida	20,1	17,3	15,2
CIS, CIGS	18,8	14	10
Telureto de cádmio	16,4	10	9

Fonte: VILLALVA; GAZOLLI, 2012.

Tabela 2.1 - Comparativo entre as tecnologias empregadas em placas fotovoltaicas

2.3 – Componentes do sistema

2.3.1 – Painel Solar Fotovoltaico

“A célula fotovoltaica é o dispositivo fotovoltaico básico. Uma célula sozinha produz pouca eletricidade, então várias células são agrupadas para produzir painéis, placas ou módulos fotovoltaicos” (VILLALVA; GAZOLI, 2012).



Figura 2.6 – Diferença entre Célula, Módulo e painel solar

FONTE: <http://climatis.com.br/Blog/>

Os painéis, ou módulos, são rígidos, vedados e formados por conjuntos de células solares. Essas células solares são feitas dos mesmos tipos de materiais semicondutores usados na indústria de microeletrônica. Em sua maioria o silício é o material mais usado.

Para formar um campo elétrico um fino wafer semiconductor é especialmente tratado. Quando a energia da luz atinge a célula solar, os elétrons dos átomos do material semiconductor são excitados em um fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico. Se condutores elétricos estão ligados aos lados positivos e negativos, formando um circuito elétrico, os elétrons podem ser capturados na forma de uma corrente elétrica - isto é, de eletricidade. A eletricidade pode então ser utilizada para alimentar uma carga, tal como um eletrodoméstico, uma ferramenta, ou uma lâmpada.

Cada painel fotovoltaico possui suas especificações técnicas, como potência máxima, tensão e corrente na potência máxima, tensão em circuito aberto, corrente em curto-circuito e máxima tensão do sistema, além de dimensões e peso de cada placa.

2.3.2 – Controlador de carga

Um controlador de carga, regulador de carga ou regulador de bateria é responsável por limitar a taxa em que um banco de baterias é carregado ou descarregado. O controlador impede a sobre tensão e o sobre carregamento do banco de baterias o que acarretaria em diminuição do desempenho das baterias e da vida útil.

Todos os componentes do sistema fotovoltaico devem ser conectados ao controlador: módulos fotovoltaicos, baterias e cargas alimentadas. São encontrados no mercado com capacidades de corrente entre 10A e 60A. Valores acima e/ou abaixo dessa faixa são incomuns (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

2.3.3 – Inversor

Inversor é o dispositivo necessário para alimentação de cargas em corrente alternada. A geração do sistema fotovoltaico, assim como a energia fornecida pelas baterias, é em corrente contínua, mas alguns tipos de cargas necessitam de corrente alternada para operarem. Nestes casos, o inversor converte a energia contínua em alternada. (FRAGA, 2009).

Sendo assim, os inversores são equipamentos eletrônicos que transformam a corrente contínua produzida nos painéis fotovoltaicos, em energia elétrica convencional que utilizamos, ou seja, corrente alternada (CA) 110/220V.

Os inversores transformam a corrente alternada em 60Hz e produzem uma onda senoidal pura ou modificada. Além disso, os inversores "Grid-Tie" detectam a queda de fornecimento da rede e desligam automaticamente. Como o sistema fotovoltaico funciona em paralelo com a rede pública, ele também garante que não haja conflitos entre as duas fontes de energia, através de uma precisa sincronização e proteções elétricas necessárias. Isso acontece, pois, caso houvesse uma manutenção na rede da concessionária, o operador poderia ser eletrocutado com a energia produzida pelo sistema fotovoltaico.

2.3.4 – Baterias

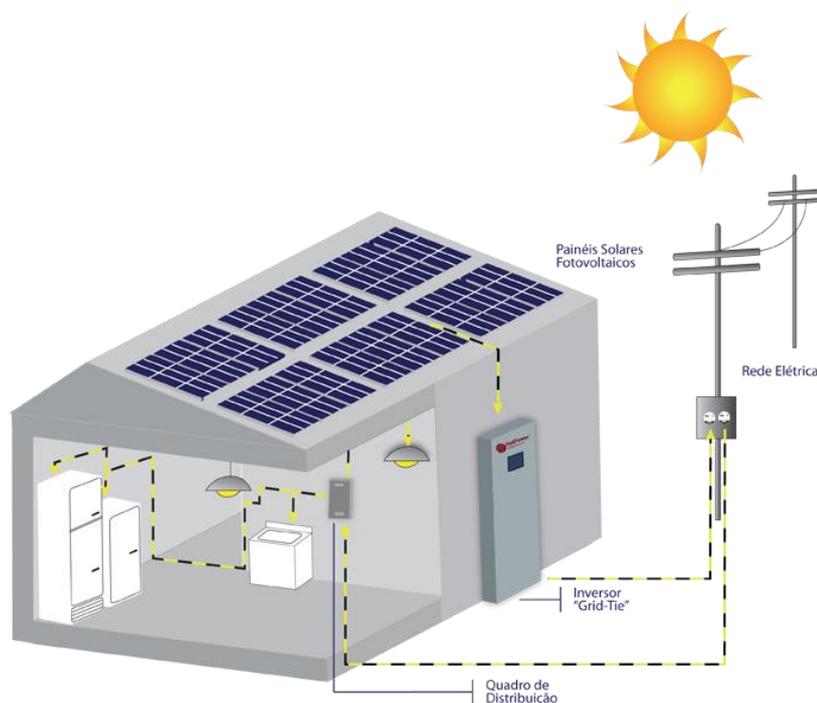
Um banco de baterias armazena a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos. As características ideais de uma bateria para uso solar são alta capacidade e descarga em ciclo profundo. As baterias que atendem esses requisitos são chamadas baterias estacionárias e são, em sua maioria, feitas de chumbo-ácido. Já as baterias usadas em carros, se caracterizam por uma alta descarga que duram alguns segundos e um período longo de carregamento.

O banco de baterias é constituído de baterias de 2, 6 ou 12 volts conectados em série para produzir cadeias de 12, 24 ou 48 volts. Essas cadeias são conectadas em paralelo para formar o banco de baterias.

A decisão de selecionar um banco de 12, 24 ou 48 volts é determinada pela tensão de entrada do inversor, o tipo de bateria selecionada e a quantidade de energia armazenada requerida.

2.4 – Funcionamento do Sistema Fotovoltaico

Os painéis fotovoltaicos captam a energia solar e a transformam em corrente elétrica contínua (DC). Posteriormente a corrente é enviada aos inversores que transformam a corrente contínua em corrente alternada (AC), a mesma fornecida pelas concessionárias. Os inversores por sua parte enviam a corrente alternada para o painel central elétrico que alimenta os equipamentos elétricos da instalação. O excedente de energia produzido é devolvido à rede elétrica local. A inserção de energia na rede causa a regressão do relógio medidor o que implica na redução do consumo e consequentemente do valor da conta de luz.



Figura

2.7 – Funcionamento do sistema fotovoltaico

FONTE: http://optpower.com/entenda_integra.php?id=2

2.5. – Principais Parâmetros de um painel Fotovoltaico

Os fabricantes de painéis fornecem as especificações dos principais parâmetros de um módulo solar considerando a condição padrão de teste (“standard test condition” ou STC), definida pela norma IEC 61215: 1000 W/m² de radiação solar e temperatura das células de 25 °C. Estes parâmetros são:

- Corrente de curto-circuito (I_{sc}): É o valor máximo da corrente de carga, igual, portanto, à corrente gerada por efeito fotovoltaico.
- Tensão de circuito aberto (V_{oc}): É o máximo valor da tensão nos terminais do módulo fotovoltaico, quando nenhuma carga está conectada a ele.
- Ponto de Máxima Potência (MPP): Para cada ponto na curva I-V, o produto corrente versus tensão representa a potência gerada para aquela condição de operação. Em um módulo fotovoltaico, para uma dada condição climática, só existe um ponto na curva I-

V onde a potência máxima pode ser alcançada. Este ponto corresponde ao produto da tensão de potência máxima e corrente de potência máxima.

- Tensão de Máxima Potência (V_{max}): Corresponde à tensão no ponto de máxima potência.
- Corrente de Máxima Potência (I_{max}): Corresponde à corrente de máxima potência.
- Temperatura Normal de Operação (NOCT): devido a que o módulo trabalha exposto ao sol, o fabricante fornece também a temperatura de operação normal da célula (normal operating cell temperature), medida com 800 W/m² de radiação solar, temperatura ambiente de 20° C.
- Fator de Forma (FF): É definida como a relação entre a potência no MPP e o produto da corrente de curto-circuito vezes a tensão de circuito aberto. Valores usuais para células solares ficam entre 70 e 80%.

2.6 – Metodologias para dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Os sistemas atuais de geração elétrica solar fotovoltaica podem ser conectados à rede elétrica (ON-GRID) ou autônomos (OFF-GRID). O dimensionamento de sistema autônomo (OFF-GRID) é simples, quando aplicado a uma só tensão (voltagem) de trabalho e alguns pontos de consumo. Os conceitos de dimensionamento aplicados a esses sistemas são simples.

De outra forma, quando a aplicação requer várias tensões ou pontos de consumo de características diferentes, recomendamos que essa análise seja feita por pessoa especializada e experiente em implantação de sistemas fotovoltaicos.

Para um dimensionamento o conhecimento de alguns valores e grandezas é necessário:

- Volts (V) é a grandeza usada para medir Tensões;
- Ampère (I) é a grandeza usada para medir a Corrente e

- Watt (W) é a medida da potência e também é o produto da tensão pela corrente.

$$[W] \text{ Watt} = [V] \text{ Volts} \times [I] \text{ Ampère}$$

Para iniciar um dimensionamento é preciso saber o quanto será consumido. Para isso, faça a relação com a quantidade de todos os equipamentos, luzes, etc..., que se pretende ligar ao sistema solar. Verifique o consumo individual (em Watts) e posteriormente faça uma estimativa de horas que cada equipamento ou conjunto ficará ligado por dia. Multiplique os valores totais de consumo pelas horas de uso e some os resultados, obtendo a demanda diária de energia, ou seja, o valor em Watt x dia.

O resultado obtido para sua necessidade de geração deve ser dividido pelo tempo médio de insolação do local (veja o mapa de insolação abaixo).

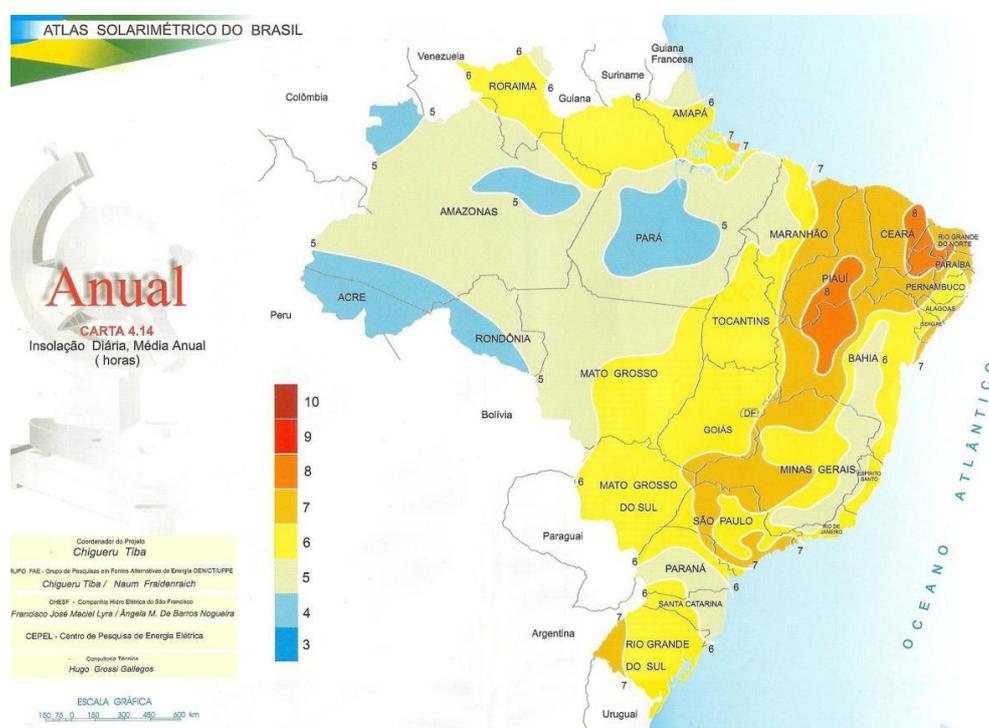


Figura 2.8 – Média diária de Incidência solar em horas

FONTE: <http://plenosol.com/2010/09/20/290/carta-solar-radiacao-solar-global-diaria-media-anual2-2/>

Obtém-se assim, o valor aproximado por hora a ser gerado pelo(s) painéis solares para sua necessidade. Para obter tal quantidade de energia, faz-se a associação de vários painéis que, uma vez interligados, fornecerão a potência necessária.

2.6.1 – Painel Solar

Na escolha do painel a opção pela tecnologia do painel, área ocupada, durabilidade, etc... São opções relativas a cada aplicação. Em um mesmo sistema, com mais de um painel, é altamente recomendável que tenham características semelhantes de potencia (Wp).

→ Associação de painéis solares

Os painéis solares geram eletricidade em corrente contínua (igual ao que é gerado em automóveis) e fornecem a energia polarizada, ou seja, um polo é POSITIVO (+) e o outro polo é NEGATIVO (-). Em sua grande maioria, são fabricados para atender a uma tensão de 12 ou 24 Volts nominais. A associação de painéis obedece à Lei de Ohm, ou seja:

- I) Se conectarmos um painel a outro em PARALELO- (positivo com positivo e negativo com negativo), a cada painel adicionado, a tensão se mantém e as correntes se somam;
- II) Se conectarmos um painel a outro em SÉRIE - (positivo de um painel com o negativo do outro), a cada painel adicionado a corrente se mantém e as tensões se somam.

→ Instalação dos painéis solares

O painel deve ser instalado na direção do Norte geográfico, para localidades que estão no hemisfério sul do nosso planeta. O local deve ser seguro, evitando o acesso de animais e pessoas. Evite instalar onde haja sombreamento, mesmo que durante parte do dia e esteja o mais próximo do consumo. Os painéis podem ser fixados em telhados, lajes, postes.

2.6.2 – Controlador de Carga

O controlador de carga é definido pela tensão de trabalho do sistema e pela maior corrente exigida. A capacidade do controlador deve superar a corrente dos painéis ou as de consumo, naquele em que for maior o valor. Calcule ambas (corrente dos painéis e a ser consumida) e decida pela mais alta. O total de corrente é o consumo dividido pela tensão de trabalho do equipamento. Para os painéis, baseie-se na corrente discriminada na tabela do produto. Caso estejam ligadas em paralelo, a corrente do sistema será a soma das correntes máximas geradas pelo(s) painel(is)

solar(es). Obtenha o total, levando em consideração a associação dos painéis conectados. Defina assim, o controlador pelo maior valor encontrado (painel ou consumo).

→ Tipos de Controladores de Carga

Existem vários tipos de controladores, para sua aplicação. Os modelos são:

- SLC : Em 12V ou 24V ou Auto (12/24V). Aplicável em sistema solar autônomos, em instalações compactas e simplificadas.
- LZP : Em 12V ou 24V. Aplicável em sistema solar autônomo, em instalações para iluminação ou similares; Possuem função fotos-sensora: - só liberam energia se for escuro, ou vice-versa.
- CCS: Em 12V ou 24V. Aplicável em sistema solar autônomo, em instalações mais complexas e monitoradas.
- CSH: Em 12V ou 24V. Para sistema solar e energia da rede (híbrido), em instalações de alta confiabilidade.

2.6.3 – Baterias

Com o total da corrente produzida pelo(s) painel(is), multiplique pelas horas diária de insolação e utilize um fator de segurança. Como um acumulador "ideal" não existe até o momento, temos que optar por uma das melhores tecnologias existentes:

⇒ Se sua escolha for por uma bateria "estacionaria" multiplique a necessidade por 2 e arredonde.

⇒ Se sua escolha for por uma bateria SpiralCell, multiplique por 1,5 e arredonde. Quanto maior a quantidade de baterias, maior será a autonomia de seu sistema e isso é muito conveniente, para dias chuvosos e nublados.

2.6.4 – Inversor

Como a energia proveniente dos painéis e baterias é em corrente contínua (CC) e muitos dos equipamentos que utilizamos são fabricados para corrente alternada (AC) os inversores são utilizados para modificar a tensão de entrada (Ex.: 12 Volts) em tensões de saída 110 ou 220 Volts, assim como a corrente contínua em alternada (senoidal). A

capacidade do inversor deve superar a potência em Watts do maior consumo do equipamento.

3.6.5 – Fiação

Utilize somente fiação de qualidade comprovada e dentro das normas da ABNT. Fios de baixa qualidade ou fora de especificação irão comprometer o rendimento do sistema, provocando perda de energia, aquecimento e mau contato. Veja na tabela abaixo a bitola de fio a ser utilizado aplicando-se a distância e a corrente do sistema. Os dados são para fio flexível, singelo com perda máxima até 5% da tensão em 12 Vdc. Para sistemas em 24 Vdc multiplique a distância por 2.

TABELA DE ESPESSURA DE FIO PARA SISTEMA SOLAR A 12 Vdc											
Bitola mm ²	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95
Ampères	Distância em metros										
1	32	51	81	130	205	325	517	652	822	1308	1650
2	16	26	40	64	102	163	259	326	411	654	825
4	8	13	20	33	51	81	129	163	205	327	412
6	5	8	14	22	34	54	86	109	137	218	275
8	4	6	10	16	26	41	65	82	103	164	206
10	3	5	8	13	20	33	52	65	82	131	165
15	2	3	5	8	14	22	34	43	55	87	110
20	-	2	4	6	10	16	26	33	41	65	83
25	-	-	3	5	8	13	21	26	33	52	66
30	-	-	2	4	7	11	17	22	27	44	55
35	-	-	-	3	6	9	15	19	23	37	47
40	-	-	-	-	5	8	13	16	20	33	41
45	-	-	-	-	4	7	11	14	18	29	37
50	-	-	-	-	3	6	10	13	17	26	33

Figura 2.8 – Espessura de fio para sistema solar

FONTE: <http://www.osol.com.br/dimensionamento-de-sistema-solar-autonomo-off-grid/>

2.7 - Compatibilidade dessa energia com iluminação em LED

Os LED's (diodos emissores de luz) são semicondutores que tem a propriedade de transformar a corrente elétrica em luz. Antigamente, os LED's eram empregados apenas como sinalizadores on/off de equipamentos. Seu fluxo luminoso era insuficiente para outras aplicações. Com o passar dos anos, devido à evolução tecnológica, tornou-se possível a utilização destes em substituição às lâmpadas tradicionais, graças ao aumento do seu fluxo luminoso. Um LED pode ser vermelho, azul, branco, verde, laranja ou infravermelho (invisível) e possui um tamanho bastante reduzido (SILVA, 2004).

Os LED's possuem longa durabilidade (de até 100.000 horas, alta eficiência) cerca de 80 lm/W, pequena dissipação de calor, luz dirigida, alta resistência a choques e vibrações e várias opções de cor (SILVA, 2004).

3- ESTUDO DE CASO

3.1- Descrição da aplicação

O sistema fotovoltaico implantado na residência consiste em 25 painéis para captação de energia solar para ser convertida em energia elétrica através das células fotovoltaicas. A Figura 3 mostra a disposição desses painéis na residência. (Latitude: -20.3881137° , Longitude: -43.5024493°)



Figura 3.1 – Sistema de painel fotovoltaico implantado

A energia captada por estes painéis é enviada para o inversor, onde a corrente contínua gerada será transformada em corrente alternada de forma que haja máxima transferência de potência e posteriormente para o transformador que proporciona uma tensão compatível com a da rede. A Figura 4 mostra o inversor, o transformador e o relógio que contabiliza a energia solar já captada e transformada em elétrica.



Figura 3.2 – Equipamentos acoplados aos painéis de captação de energia solar.

É importante ressaltar, que Ouro Preto, por se tratar de uma cidade histórica, e conseqüentemente algumas Repúblicas estarem situadas em seu centro histórico, cujos telhados compõem o conjunto arquitetônico tombado, carece de um estudo mais detalhado de melhor localização para implantação do sistema fotovoltaico.

3.2- Consumo de Energia da República

O watt-hora (Wh) é a medida de energia usualmente utilizada em eletrotécnica. Um Wh é a quantidade de energia utilizada para alimentar uma carga com potência de 1 watt pelo período de uma hora. 1 Wh é equivalente a 3.600 joules.

Para análise de consumo mensal da República, foi considerado o valor de consumo de energia do local, no período de 12 meses e posteriormente foi calculada uma média desses valores, como mostra abaixo:

Mês/Ano	Consumo kWh	Média kWh/Dia	Dias de Faturamento
JUL/14	756	25,20	30
JUN/14	787	24,74	31
MAI/14	716	23,10	31
ABR/14	569	21,07	27
MAR/14	1.198	39,93	30
FEV/14	737	23,03	32
JAN/14	594	22,39	31
DEZ/13	802	25,87	31
NOV/13	1.026	33,10	31
OUT/13	728	25,10	29
SET/13	1.013	31,66	32
AGO/13	810	26,13	31
JUL/13	744	26,57	28

Atendimento CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMIG
Distribuição S.A.

Unidade de Leitura
01041715

83690



Figura 3.3 – Histórico de consumo de energia

Após esse cálculo, obtém-se uma média de consumo mensal, de 818 kWh/mês ou 818.000 Wh/mês. A fim de obter o valor de consumo diário, basta dividir esse valor pelo número de dias do mês:

$$818.000 / 30 = 27.267 \text{ Wh/dia.}$$

3.3- Especificação dos componentes do sistema

3.3.1 - Painel Fotovoltaico

O painel fotovoltaico utilizado nesse sistema, foi o de Silício-Policristalino de 230W, modelo SSP-230W, conforme especificações da figura 3.4:

Model		SSP-230W
Maximum Power		230W
Maximum Power Voltage	(Vmp)	30.0V
Maximum Power Current	(Imp)	8.00A
Open Circuit Voltage	(Voc)	36V
Short Circuit Current	(Isc)	8.59A
Nominal Operating Cell Temp. (NOCT)		47±2 °C
Maximum System Voltage		DC1000V
Weight		22.5Kg
Dimension		1655*992*45mm
Standard Test Conditions		
AM=1.5	IRRADIANCE=1000W/m ²	Temp.=25 °C
Guidelines on the application of council Directive 73/23EEC		
YUEQING SANDI ELECTRIC CO.,LTD		

Figura 3.4 – Especificações do Pannel fotovoltaico

3.3.2 - Inversor

Foi utilizado um inversor Austríaco da marca Fronius, modelo IG Plus 60 V-3 do tipo “**Grid Tie**” e trabalha em sincronia com a rede elétrica reduzindo a conta de energia da unidade consumidora. As especificações técnicas se encontram na tabela 3.1.

DADOS DE ENTRADA	Fronius IG Plus 60 V-3
Potência CC máxima para $\cos \phi=1$	6300 W
Máx. corrente de entrada	41,3 A
Máx. tensão de entrada	600 V
Faixa de tensão MPP	230 - 500 V
DADOS DE SAÍDA	
Potência CA máxima para $\cos \phi=1$	6000 W
Potência de saída máx.	6000 VA
Máx. corrente de saída	8.7 A
Máx. grau de eficiência	95.9 %
Máx. grau de eficiência	95.0 %
Europ. Grau de eficiência	> 99.9 %
Grau de eficiência de adaptação MPP	3~NPE 400 V / 230 V
Frequência	50 Hz / 60 Hz
Fator de distorção	< 3 %
Fator de potência	0.85 - 1 ind. / cap.
Consumo noturno	< 1 W
DADOS GERAIS	
Dimensões (altura x largura x profundidade)	1263 x 434 x 250 mm
Peso	49.2 kg
Grau de proteção	IP 54*
Conceito de retificador	Transformador AF
Resfriamento	Refrigeração de ar controlado
Montagem	Montagem interna e externa
Faixa de temperatura ambiente	de -20 °C até +55 °C
Umidade relativa permitida	0 % to 95 %
DISPOSITIVOS DE	

Tabela 3.1– Especificações do Inversor

3.3.3 - Transformador

O transformador utilizado foi o da marca Omega, de 7 KVA trifásico, que opera em uma frequência de 60Hz, na conversão 380V/220V.

3.4 - Análise financeira

Visando atingir o objetivo de consumo energético na residência, a instalação do equipamento foi finalizada e este começou a operar no dia 20 de setembro de 2014. Portanto, a partir desse dia, a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos foi utilizada no consumo interno da casa.

Para efeito comparativo, é feita a análise de cinco situações, visando uma ampla possibilidade de implantações e seus respectivos resultados.

3.4.1 - CASO 1 – Sistema fotovoltaico atual

Essa análise considera como parâmetro, a atual situação em que o sistema está implantado, onde ele está posicionado em uma altura abaixo do nível do telhado, onde se tem a presença de sombra sobre o sistema durante algumas partes do dia, devido a algumas árvores no local.

Para analisar esse primeiro caso, foi feita, uma comparação do consumo entre Novembro de 2013 até Maio de 2014, período em que o sistema ainda não estava implantado, com relação a Novembro de 2014 até Maio de 2015 com o sistema em funcionamento. Os resultados foram:

Média de Kw de Novembro de 2013 até Maio de 2014 = 818,19 kWh/mês

Média de Kw de Novembro de 2014 até Maio de 2015 = 448,57 kWh/mês

Concluindo, tem-se uma economia de 369,62 kWh/mês

Fazendo uma análise financeira, o valor de tarifa cobrado pela CEMIG, empresa energética fornecedora, o valor é de R\$0,86204676/KW. Considerando a previsão de economia calculada acima, isso levaria a uma economia de R\$318,63 por mês.

Estimando o custo de instalação do equipamento em R\$35.000,00, e considerando o IGPM (Índice geral de preço de mercado) em 8%, conforme mostrado na tabela 3.2.

Investimento	R\$ 35.000,00
Economia painel/ano 60% de eficiência	R\$ 3.840,00
Economia LED/ano	
IGPM - Estimado ano	8%
Nº periodo meses	116
Nº periodo anos	9,666666667
TIR	8,310%
VPL	R\$ 514,40

Tabela 3.2 – Dados e resultados do CASO 1

A tabela 3.3 mostra o de fluxo de caixa:

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Investimento	(35.000,00)									
Manutenção										
Economia total	3.840,00	4.147,20	4.478,98	4.837,29	5.224,28	5.642,22	6.093,60	6.581,09	7.107,57	7.676,18
Economia painel	3.840,00	4.147,20	4.478,98	4.837,29	5.224,28	5.642,22	6.093,60	6.581,09	7.107,57	7.676,18
Economia led										
Total	(31.160,00)	4.147,20	4.478,98	4.837,29	5.224,28	5.642,22	6.093,60	6.581,09	7.107,57	7.676,18
Total acumulado	(31.160,00)	(27.012,80)	(22.533,82)	(17.696,53)	(12.472,25)	(6.830,03)	(736,44)	5.844,65	12.952,22	20.628,40

Tabela 3.3 – Fluxo de caixa do CASO 1

A tabela 3.4 mostra o saldo de investimento corrigido:

Mês	Investimento	Economia	Saldo	Saldo corrigido	Nº de meses
jan/14	35000	320	34680	(R\$ 34.913,33)	1
jan/15	R\$ 33.921,01	345,6	33575,40641	(R\$ 33.801,55)	13
jan/16	R\$ 32.433,74	373,248	32060,49078	(R\$ 32.276,72)	25
jan/17	R\$ 30.478,81	403,10784	30075,70528	(R\$ 30.278,90)	37
jan/18	R\$ 27.989,88	435,3564672	27554,52032	(R\$ 27.741,12)	49
jan/19	R\$ 24.892,87	470,1849846	24422,68196	(R\$ 24.588,63)	61
jan/20	R\$ 21.105,19	507,7997833	20597,39457	(R\$ 20.738,10)	73
jan/21	R\$ 16.534,85	548,423766	15986,42157	(R\$ 16.096,65)	85
jan/22	R\$ 11.079,39	592,2976673	10487,09636	(R\$ 10.560,96)	97
jan/23	R\$ 4.624,92	639,6814807	3985,23465	(R\$ 4.016,07)	109
fev/23	R\$ 4.016,07	639,6814807	3376,385943	(R\$ 3.403,16)	110
mar/23	R\$ 3.403,16	639,6814807	2763,478246	(R\$ 2.786,17)	111
abr/23	R\$ 2.786,17	639,6814807	2146,484496	(R\$ 2.165,06)	112
mai/23	R\$ 2.165,06	639,6814807	1525,377456	(R\$ 1.539,81)	113
jun/23	R\$ 1.539,81	639,6814807	900,1297012	(R\$ 910,40)	114
jul/23	R\$ 910,40	639,6814807	270,7136284	(R\$ 276,78)	115
ago/23	R\$ 276,78	639,6814807	-362,8985516	R\$ 361,05	116
set/23	(R\$ 361,05)	639,6814807	-1000,734813	R\$ 1.003,14	117
out/23	(R\$ 1.003,14)	639,6814807	-1642,823316	R\$ 1.649,51	118
nov/23	(R\$ 1.649,51)	639,6814807	-2289,192409	R\$ 2.300,19	119
dez/23	(R\$ 2.300,19)	639,6814807	-2939,870629	R\$ 2.955,21	120

Tabela 3.4 – Saldo de investimento corrigido do CASO 1

3.4.2 - CASO 2 – Sistema fotovoltaico atual, com lâmpadas de LED

Semelhante ao primeiro caso, essa análise considera como parâmetro, a atual situação em que o sistema está implantado, onde ele está posicionado em uma altura abaixo do nível do telhado, com a presença de sombra sobre o sistema durante algumas partes do dia, devido a algumas árvores no local. Com a diferença da troca das lâmpadas atuais por lâmpadas de LED

Foi feito um levantamento de dados, com relação ao número de lâmpadas existente na república, o consumo de cada lâmpada e o tempo médio de utilização delas, por dia, ver tabela 3.5.

Cômodo	Nº de Lâmpada	Consumo unitário (W)	Horas de uso/dia	Consumo por dia (W.h/dia)
Quartos	10	20	5	1000
Corredores	4	25	6	600
Cozinha	2	20	10	400
Sala	2	20	10	400
Banheiros	6	20	5	600
Área externa	20	15	3	900
TOTAL	44	-	-	3900

Tabela 3.5 – Dados de lâmpadas atuais da residência

Através da tabela 3.5, nota-se que o consumo médio diário é de 3900 Watts. Na tabela 3.6 é feito o mesmo levantamento, levando em consideração lâmpadas de LED

Cômodo	Nº de Lâmpada	Consumo unitário (W)	Horas de uso/dia	Consumo por dia (W.h/dia)
Quartos	10	7	5	350
Corredores	4	10	6	240
Cozinha	2	7	10	140
Sala	2	7	10	140
Banheiros	6	7	5	210
Área externa	20	5	3	300
TOTAL	44	-	-	1380

Tabela 3.6 – Análise de lâmpadas de LED para residência

Nesse caso, o consumo médio diário é de 1380 Watts. Sendo assim, conclui-se uma redução de 2520 Watts por dia, que significa 75,6 kWh/mês, além da economia devido à implantação do sistema fotovoltaico. Concluindo:

Economia total = (Economia com iluminação em LED + Economia do sistema fotovoltaico)

$$\text{Economia total} = (75,6 + 369,62) = 445,22 \text{ kWh/mês}$$

Utilizando como base o valor de tarifa cobrado pela CEMIG, de R\$0,86204676/KW. E considerando a previsão de economia calculada acima, isso levaria a uma economia de R\$383,80 por mês.

Sendo assim, o tempo de recuperação do investimento, seria de:

Investimento	R\$ 35.000,00
Economia painel/ano 60% de eficiência	R\$ 3.840,00
Economia LED/ano	R\$ 840,00
IGPM - Estimado ano	8%
Nº periodo meses	95
Nº periodo anos	7,91666667
TIR	12,411%
VPL	R\$ 7.716,05

Tabela 3.7 – Dados e resultados do CASO 2

Observação: Não foi incluído o custo das lâmpadas de LED.

A tabela 3.8 mostra o fluxo de caixa:

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Investimento	(35.000,00)									
Manutenção										
Economia total	4.680,00	5.054,40	5.458,75	5.895,45	6.367,09	6.876,46	7.426,57	8.020,70	8.662,35	9.355,34
Economia painel	3.840,00	4.147,20	4.478,98	4.837,29	5.224,28	5.642,22	6.093,60	6.581,09	7.107,57	7.676,18
Economia LED	840,00	907,20	979,78	1.058,16	1.142,81	1.234,24	1.332,97	1.439,61	1.554,78	1.679,16
Total	(30.320,00)	5.054,40	5.458,75	5.895,45	6.367,09	6.876,46	7.426,57	8.020,70	8.662,35	9.355,34
Total acumulado	(30.320,00)	(25.265,60)	(19.806,85)	(13.911,40)	(7.544,31)	(667,85)	6.758,72	14.779,42	23.441,77	32.797,11

Tabela 3.8 – Fluxo de caixa do CASO 2

A tabela 3.9 mostra o saldo de investimento corrigido:

Mês	Investimento	Economia	Saldo	Saldo corrigido	Nº de meses
jan/14	35000	390	34610	(R\$ 34.843,33)	1
jan/15	R\$ 33.049,51	421,2	32628,31	(R\$ 32.848,64)	13
jan/16	R\$ 30.548,70	454,896	30093,8	(R\$ 30.297,46)	25
jan/17	R\$ 27.420,80	491,2877	26929,51	(R\$ 27.112,32)	37
jan/18	R\$ 23.580,22	530,5907	23049,63	(R\$ 23.206,83)	49
jan/19	R\$ 18.931,55	573,0379	18358,51	(R\$ 18.484,72)	61
jan/20	R\$ 13.368,58	618,881	12749,7	(R\$ 12.838,82)	73
jan/21	R\$ 6.773,14	668,3915	6104,751	(R\$ 6.149,91)	85
jan/22	(R\$ 986,11)	592,2977	-1578,41	R\$ 1.584,99	97
jan/23	(R\$ 8.442,02)	639,6815	-9081,7	R\$ 9.137,98	109
fev/23	(R\$ 9.137,98)	639,6815	-9777,67	R\$ 9.838,59	110
mar/23	(R\$ 9.838,59)	639,6815	-10478,3	R\$ 10.543,86	111
abr/23	(R\$ 10.543,86)	639,6815	-11183,5	R\$ 11.253,83	112
mai/23	(R\$ 11.253,83)	639,6815	-11893,5	R\$ 11.968,54	113
jun/23	(R\$ 11.968,54)	639,6815	-12608,2	R\$ 12.688,01	114
jul/23	(R\$ 12.688,01)	639,6815	-13327,7	R\$ 13.412,28	115
ago/23	(R\$ 13.412,28)	639,6815	-14052	R\$ 14.141,38	116
set/23	(R\$ 14.141,38)	639,6815	-14781,1	R\$ 14.875,33	117
out/23	(R\$ 14.875,33)	639,6815	-15515	R\$ 15.614,18	118
nov/23	(R\$ 15.614,18)	639,6815	-16253,9	R\$ 16.357,96	119
dez/23	(R\$ 16.357,96)	639,6815	-16997,6	R\$ 17.106,69	120

Tabela 3.9 – Saldo de investimento corrigido do CASO

3.4.3 - CASO 3 – Implantação do sistema fotovoltaico no telhado, posicionado para o Norte, e com iluminação de LED na residência.

Essa análise considera como parâmetro, um sistema de painel fotovoltaico implantado no telhado, onde temos a ausência de sombra sobre o sistema durante todo dia. Nesse tipo de caso, a eficiência do sistema pode chegar a 90% . A tabela 3.10 mostra os resultados:

Investimento	R\$ 35.000,00
Economia painel/ano 90% de eficiência	R\$ 5.760,00
Economia LED/ano	R\$ 840,00
IGPM - Estimado ano	8%
Nº periodo meses	67
Nº periodo anos	5,583333333
TIR	20,604%
VPL	R\$ 24.176,95

Tabela 3.10 – Dados e resultados do CASO 3

Observação: Não foi incluído o custo das lâmpadas de LED.

A tabela 3.11 mostra o fluxo de caixa:

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Investimento	(35.000,00)									
Manutenção										
Economia total	6.600,00	7.128,00	7.698,24	8.314,10	8.979,23	9.697,57	10.473,37	11.311,24	12.216,14	13.193,43
Economia painel	5.760,00	6.220,80	6.718,46	7.255,94	7.836,42	8.463,33	9.140,40	9.871,63	10.661,36	11.514,27
Economia LED	840,00	907,20	979,78	1.058,16	1.142,81	1.234,24	1.332,97	1.439,61	1.554,78	1.679,16
Total	(28.400,00)	7.128,00	7.698,24	8.314,10	8.979,23	9.697,57	10.473,37	11.311,24	12.216,14	13.193,43
Total acumulado	(28.400,00)	(21.272,00)	(13.573,76)	(5.259,66)	3.719,57	13.417,13	23.890,50	35.201,74	47.417,88	60.611,31

Tabela 3.11 – Fluxo de caixa do CASO 3

A tabela 3.12 indica o saldo de investimento corrigido:

Mês	Investimento	Economia	Saldo	Saldo corrigido	Nº de meses
jan/14	35000	550	34450	(R\$ 34.683,33)	1
jan/15	R\$ 31.057,52	594	30463,52343	(R\$ 30.670,57)	13
jan/16	R\$ 26.240,03	641,52	25598,5065	(R\$ 25.773,44)	25
jan/17	R\$ 20.431,06	692,8416	19738,21761	(R\$ 19.874,42)	37
jan/18	R\$ 13.501,00	748,268928	12752,73146	(R\$ 12.842,74)	49
jan/19	R\$ 5.305,68	808,1304422	4497,553522	(R\$ 4.532,92)	61
jan/20	(R\$ 4.315,11)	872,7808776	-5187,891983	R\$ 5.216,66	73
jan/21	(R\$ 15.539,32)	942,6033478	-16481,92391	R\$ 16.585,52	85
jan/22	(R\$ 28.564,42)	888,4465009	-29452,86495	R\$ 29.643,29	97
jan/23	(R\$ 41.996,34)	959,522221	-42955,86652	R\$ 43.235,84	109
fev/23	(R\$ 43.235,84)	959,522221	-44195,36437	R\$ 44.483,60	110
mar/23	(R\$ 44.483,60)	959,522221	-45443,12554	R\$ 45.739,68	111
abr/23	(R\$ 45.739,68)	959,522221	-46699,20512	R\$ 47.004,14	112
mai/23	(R\$ 47.004,14)	959,522221	-47963,65856	R\$ 48.277,02	113
jun/23	(R\$ 48.277,02)	959,522221	-49236,54169	R\$ 49.558,39	114
jul/23	(R\$ 49.558,39)	959,522221	-50517,9107	R\$ 50.848,30	115
ago/23	(R\$ 50.848,30)	959,522221	-51807,82218	R\$ 52.146,81	116
set/23	(R\$ 52.146,81)	959,522221	-53106,33307	R\$ 53.453,98	117
out/23	(R\$ 53.453,98)	959,522221	-54413,5007	R\$ 54.769,86	118
nov/23	(R\$ 54.769,86)	959,522221	-55729,38277	R\$ 56.094,52	119
dez/23	(R\$ 56.094,52)	959,522221	-57054,0374	R\$ 57.428,00	120

Tabela 3.12 – Saldo de investimento corrigido do CASO 3

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

A instalação desse sistema de energia com painéis fotovoltaicos deve ser bem estudada e analisada antes de ser colocada em prática. O investimento inicial é alto e qualquer descuido no projeto pode acarretar em um menor potencial de energia solar transformado em energia elétrica.

A primeira questão a ser considerada é a inclinação dos painéis na hora de instalação. Estes devem ser instalados com a melhor inclinação considerando o posicionamento da casa em relação à obtenção de captação de energia solar durante o dia. Como nesse estudo de caso é uma casa antiga, construída sem a intenção de um dia ter um equipamento deste, o imóvel deve ser analisado para que a incidência solar nas placas seja máxima e assim obtenha máximo potencial energético.

Para este projeto as placas foram colocadas na cobertura da área externa da casa, e não no telhado mais alto da casa, o que pode ocasionar uma menor eficiência na captação de energia solar para o sistema. Além disso, observa-se ainda a presença de árvores no entorno das placas, essas irão bloquear a incidência de sol em determinado horário do dia, levando a perdas energéticas para o sistema, o que requer uma manutenção constante no entorno da residência para minimizar essa perda, melhorando o potencial do sistema.

Além disso, observa-se, que nem todas as placas estão apoiadas sobre o telhado, mas sim sobre a estrutura que sustentaria o telhado. Sendo assim, essas placas ficam expostas a maior probabilidade de serem danificadas em casos de fortes ventos ou chuvas de granizo, por exemplo. Sem uma estrutura para fixar completamente as placas, estas poderão ser danificadas muito antes do esperado, o que levará a maiores custos de manutenção.

A manutenção deverá ser feita periodicamente, evitando possíveis manutenções corretivas, que podem levar a gastos exorbitantes e aumentar o custo das placas consideravelmente. A falta de manutenção poderá acelerar o processo de danificação das placas e junto com o problema da estrutura de fixação destas acumular gastos posteriores que inviabilizarão a aquisição do sistema.

Por fim, a potencialização da economia energética deste ou de qualquer sistema energético depende da conscientização dos moradores na utilização consciente de energia. Podendo manter ou diminuir o consumo de energia anterior, para que o novo

sistema seja um fator de redução de gastos e não uma nova fonte para que se possa gastar sem consciência.

5- CONCLUSÃO

Observou-se neste estudo que a aquisição do sistema fotovoltaico apresenta diversas vantagens como fácil e rápida instalação, valorização do imóvel e produção de energia limpa, renovável e inesgotável. Esta última é o fator principal, considerando que a busca por novas fontes de energia é de extrema importância.

Embora se tenha um custo inicial alto, o retorno deste sistema é garantido, mas requer um longo prazo para retornar o investimento realizado. Este pode ser minimizado se a captação de energia for potencializada nos estudos prévios da aquisição do sistema, como projeto de instalação envolvendo inclinação, implantação de lâmpadas de LED, sistema de aquecimento de água para banho e cuidados com os arredores das placas.

Pela análise feita no projeto observou-se uma redução no gasto energético da residência, e mesmo devido ao curto tempo de funcionamento, é possível ter uma estimativa da redução do consumo, com uma eficiência desses painéis chegando a cerca de 60%.

Entre vantagens e desvantagens pode-se chegar à conclusão que, se for feito um projeto inicial para maximizar a captação de energia solar minimizando perdas, o sistema de energia fotovoltaico é totalmente viável, com um retorno em curto prazo e uma boa eficiência na produção de energia limpa e renovável.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. F. **Desenvolvimento de um Sistema de Posicionamento Automático para Painéis Fotovoltaicos**. 2008. 152P (Tese de mestrado com área de Concentração em Energia na agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônômicas Campus de Botucatu. Botucatu-SP, 2008.

ANEEL, Maio 2015. [Online]. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: 03 mai. 2015.

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

BENEFÍCIOS da implantação dos painéis fotovoltaicos. Disponível em: <<http://www.ebes.com.br>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

BRAGA, R. P.. **Energia Solar fotovoltaica: Fundamentos e aplicações**. 2008. 67p. (Formas Alternativas de Geração de Energias Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola Politécnica. Rio de Janeiro, 2008.

BRITO, S. **Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: mai 2015.

CARVALHO, A. A. **Uma Solução Envolvendo Painéis Fotovoltaicos para o Suprimento de Energia ao Lafae Conforme um Sistema de Gestão Ambiental** . 2007. 94p. Monografia (Trabalho final de Curso de Engenharia de Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007

CRUZ, A. A. P. **Usina Solar Fotovoltaica de Juiz de Fora**. 2012. 47p. Monografia (Trabalho final de Curso de Engenharia de Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

DE SÁ, D. A. P. **Sistemas fotovoltaicos para Bombeamento de Água**. 2010. 56p. Monografia (Trabalho final de Curso de Engenharia de Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ENERGIA solar fotovoltaica. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

GERAÇÃO de energia elétrica com energia renovável do sol. Disponível em: <http://www.ecocasa.com.br/energia-fotovoltaica.asp>. Acesso em : 25 mai. 2015

GONZAGA, D. A. **Desenvolvimento e Análise de Desempenho de Sistema Seguidor Solar de Dois Graus de Liberdade**. 2013. 43p. Monografia (Trabalho final de Curso de Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013

GREENPRO, **Energias Fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação**, 1 ed., 2004.

KNIJNIK, R. **Energia e meio ambiente em Porto Alegre: bases para o desenvolvimento**. Porto Alegre, CPEA, 1994.

RIBEIRO, C. H. M.. **Implantação de um Sistema de Geração Fotovoltaica**. 2012. 57p. Monografia (Trabalho final de Curso de Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

RODRIGUES, C. **Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2002. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

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

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

SILVA, L. L. F. **Iluminação pública no Brasil: aspectos energéticos e institucionais**. 2006. 172 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.

SILVA, M. F. V. **Energia Solar Fotovoltaica: Vantagens da sua Utilização em 12Vcc**. 2014. 48p. Monografia (Trabalho final de Curso de Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

TECNOLOGIA de ponta na implantação de painéis solares fotovoltaicos. Disponível em: <<http://www.optpower.com/aplicacoes.php>>. Acesso em: 10 fev. 2015.