

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

OSKAR ASSENHEIMER

**INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM PRÉDIOS  
HOSPITALARES: estudo de caso**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2015

OSKAR ASSENHEIMER

**INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM PRÉDIOS  
HOSPITALARES: estudo de caso**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA  
2015

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

OSKAR ASSENHEIMER

### **INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM PRÉDIOS HOSPITALARES: estudo de caso**

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 8 de dezembro de 2015, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

**Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior**

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

---

**Prof. Dr. Paulo Cícero Fritzen**

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior**  
Orientador – UTFPR

---

**Prof. Esp. José da Silva Maia**  
UTFPR

---

**Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo**  
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso
---

À minha família que sempre me ajudou e acreditou em mim.

A todos os professores que se dedicam ao desenvolvimento da energia fotovoltaica.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a todos que contribuíram de alguma forma a esta pesquisa.

Agradeço em especial ao nosso Professor Orientador Jair Urbanetz Junior, por toda sua dedicação e por ter proporcionado o acesso ao seu vasto conhecimento na área de energia fotovoltaica.

Agradeço a minha esposa pela paciência e força para a conclusão deste trabalho.

Agradeço ao HC - Hospital de Clínicas da UFPR por nos permitir o estudo no edifício do Hospital, e cedendo documentos para análises.

Agradeço aos colegas de trabalho que contribuíram com nossa pesquisa.

## RESUMO

ASSENHEIMER, Oskar. **Instalação de sistema fotovoltaico em prédios hospitalares: caso de estudo**. 2015. 50f. Monografia de Especialização em Energias Renováveis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Curitiba, 2015

Este trabalho apresenta de maneira sucinta a partir de pesquisa bibliográfica e de sites, as tecnologias criadas que com o passar dos anos evoluíram até a invenção da célula fotovoltaica para geração de energia elétrica renovável e limpa. Discorre sobre os tipos de painéis mais indicados para estas aplicações. Vantagens e desvantagens da utilização da energia solar. O trabalho comenta de uma maneira resumida, o quadro do panorama mundial da tecnologia de energia fotovoltaica existente, para geração de energia elétrica sustentável. Demonstra que o Brasil por ter um vasto território pode sem dúvida dispor desta fonte de energia constante e farta. Mostra também impactos ambientais causados por fontes energias fósseis que devem ser esquecidas no passado. Apresenta uma pesquisa referente ao consumo de energia elétrica e um projeto de geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos aplicável em prédios hospitalares. Como é citado no caso o Hospital de Clínicas da UFPR, de onde são requeridas as informações necessárias para a apresentação dos cálculos, com intenção de instalação dos painéis fotovoltaicos no Anexo H do hospital. Com a finalidade de contribuir com a sustentabilidade, com a geração distribuída e com o sistema elétrico brasileiro. O consumo será demonstrado a viabilidade e provável. Tendo recebida a autorização da gerência da Infraestrutura do hospital contido no anexo.

**Palavras-chave:** Energia Solar; Paineis Fotovoltaicos; Energia Renovável; Edifícios Solares.

## **ABSTRACT**

ASSENHEIMER, Oskar. PV system installation in hospital buildings: 2015. 50p. Monograph of Specialization in Renewable Energy - Federal Technological University of Paraná Curitiba, 2015

This paper presents briefly from literature and websites, the technology that created over the years evolved to the invention of the photovoltaic cell to generate clean and renewable electricity. Discusses the types of panels more suitable for these applications. Advantages and disadvantages of using solar energy. The work comments in a summarized way, the picture of the world panorama of existing photovoltaic technology for generating sustainable electricity. It demonstrates that Brazil for having a vast territory can certainly have this source of constant and abundant energy. It also shows environmental impacts of fossil energy sources that must be forgotten in the past. It presents a research relating to electricity consumption and electricity generation project from photovoltaic panels applicable in hospital buildings. As is mentioned when the Clinicas Hospital of the UFPR, where are required the necessary information for the presentation of calculations, with the intention of installing photovoltaic panels in Annex H of the hospital. In order to contribute to sustainability, with distributed generation and the Brazilian electrical system. Consumption will demonstrate the feasibility and likely. Having received the authorization of the management of hospital infrastructure contained in the Annex.

Keyword: Solar Energy; Photovoltaic panel; Renewable energy; Solar buildings.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL 2012 .....	10
FIGURA 02 - MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA 2014 .....	11
FIGURA 03 - A - LINGOTE DE SILÍCIO POLICRISTALINO B- MÓDULO POLICRISTALINO ....	18
FIGURA 04 - FILME FINO, DISSELENETO DE COBRE-INDIO .....	19
FIGURA 05 - ESTRUTURA CRISTALINA DO SEMICONDUTOR SILÍCIO COM A PRESENÇA DO ÁTOMO DE BORO (LACUNA) E DO FÓSFORO (ELEMENTO LIVRE) COM SUAS RESPECTIVAS LIGAÇÕES ELETRÔNICAS .....	19
FIGURA 06 - DESENHO DE UM CORTE DE CÉLULA FOTOVOLTAICA .....	20
FIGURA 07 - MEDIDOR BIDIRECIONAL DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	23
FIGURA 08 - VISTA AÉREA DO ANEXO H, BLOCO DO HOSPITAL DE CLÍNICAS .....	25
FIGURA 09 - DESENHO TÉCNICO DA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO.....	26
FIGURA 10 - MÓDULO FOTOVOLTAICO, MODELO, JAP72/315/3BB DA JÁ SOLAR.....	28
FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO DA DISTANCIA ENTRE OS MÓDULOS .....	33
FIGURA 12 - ALINHAMENTO DOS MÓDULOS PROJETO 1 .....	34
FIGURA 13 -ALINHAMENTO DOS MÓDULOS PROJETO 2 .....	34
FIGURA 14 - TELA INICIAL DO PROGRAMA RADIASOL.....	35
FIGURA 15 - TERCEIRA TELA DO RADIASOL CONTENDO DADOS FILTRADOS DE RADIAÇÃO, PROJETO 1.....	36
FIGURA 16 - TELA PARA INSERIR DADOS DE IRRADIAÇÃO .....	36
FIGURA 17 - TERCEIRA TELA DO RADIASOL CONTENDO DADOS FILTRADOS DE RADIAÇÃO, PROJETO 2.....	37
FIGURA 18 - SISTEMA FOTOVOLTAICO, UTILIZANDO UM MEDIDOR BIDIRECIONAL.....	40
FIGURA 19 - DIAGRAMA UNIFILAR DE UM STRINGS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	42
FIGURA 20 - ESCALA DE CORES PARA ANOS DE RETORNO .....	43



## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - VALORES DE CONSUMO FATURADOS NO PERÍODO DO ESTUDO.....	26
TABELA 02 - VALORES DAS FATURAS DO CONSUMO DO PERÍODO DO ESTUDO .....	27
TABELA 03 - PARÂMETROS MECÂNICOS E ELÉTRICOS.....	29
TABELA 04 - PARÂMETROS DE CONDIÇÕES DE TRABALHO.....	30
TABELA 05 - IRRADIAÇÃO INCIDENTE EM CURITIBA NO PLANO HORIZONTAL (LAT. - 25,43°, LONG. -49,26°).....	35
TABELA 06 - VALORES DE IRRADIAÇÃO, FILTRADOS NO RADIASOL COM E SEM DESVIO AZIMUTAL .....	38
TABELA 07 - DADOS PARA CONFIGURAÇÃO DOS INVERSORES .....	41
TABELA 08 - ANOS PARA RETORNO DO INVESTIMENTO .....	43
TABELA 09 - VALORES DE CONSUMO REGISTRADO PELA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA EM COMPARAÇÃO, COM A POTÊNCIA GERADA NO PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	44
TABELA 10 - LEVANTAMENTO DE CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO SFVCR .....	44

## SUMÁRIO

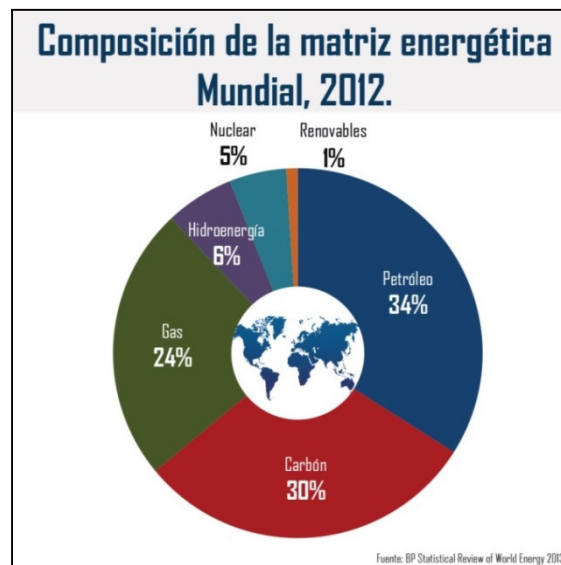
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 TEMA.....	10
1.1.1 <i>Delimitação do Tema</i> .....	10
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	12
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 <i>Objetivo Geral</i> .....	13
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	13
1.4 JUSTIFICATIVA.....	13
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	14
1.6 ESTRUTURAS DO TRABALHO .....	14
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS .....	16
2.2 A CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	17
2.1.1 <i>Semicondutores</i> .....	19
2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO .....	19
2.3 OUTROS TIPOS DE CELULAS FOTO VOLTAICAS.....	20
2.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	21
2.5 GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE.....	22
2.6 INVERSORES CONECTADOS AO SFVCR.....	24
<b>3 PROJETO DE IMPLANTAÇÃO .....</b>	<b>25</b>
3.1 ÁREA DE IMPLANTAÇÃO .....	25
3.2 CONSUMO DO LOCAL.....	26
3.3 DIMENSIONAMENTO .....	28
3.4 PREVISÕES DE GERAÇÃO DE ENERGIA E CUSTOS DO PROJETO DE ESTUDO DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA UFPR.....	42
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

### 1.1.1 Delimitação do Tema

Conforme Montóia (2012) “os combustíveis fósseis respondem por 81% da matriz de energia global, mas o mundo já sabe que, no futuro, vai depender de fontes alternativas”. Sem fonte de energia é impossível o desenvolvimento da sociedade. Razão esta, que desde o século XIX o petróleo tem sido o carro chefe na geração de energia, uma vez que o seu potencial é duas vezes maior que o carvão mineral. Mas que não serve apenas para geração de energia, pois a indústria petroquímica desenvolveu os seus derivados a partir da fração do petróleo. A Figura 01 descreve a atual matriz energética mundial descrita por CASTRO (2012).



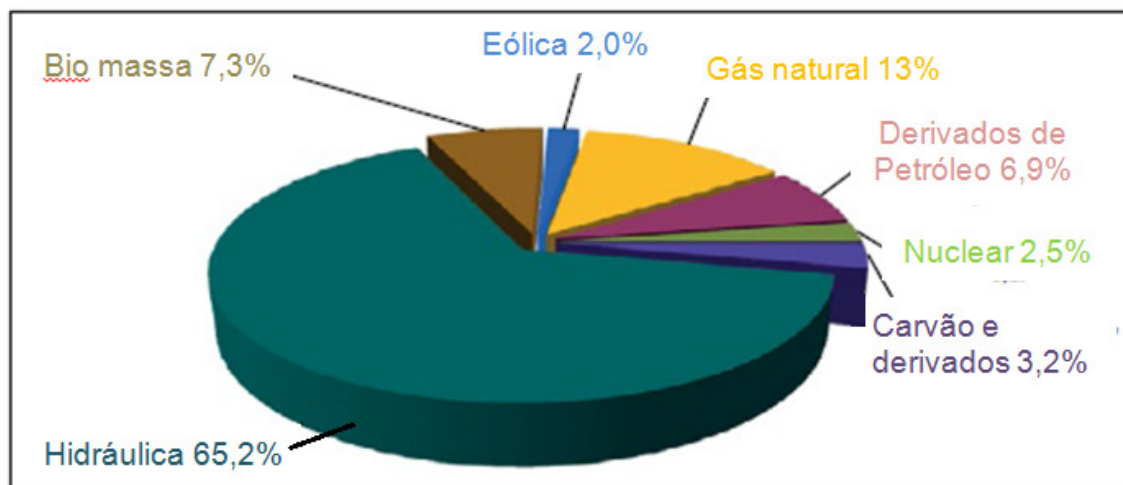
**Figura 01 - Matriz energética mundial 2012**  
**Fonte: Recope (2015).**

Ainda de acordo com Montóia (2012) os combustíveis fósseis tem cooperado para o aquecimento global. O que tem feito com que as nações repensem o modelo de suas matrizes energéticas. Por esse motivo o tema

energia renovável tem se tornado cada vez mais relevante e viável a matriz energética mundial.

Conforme o relatório World Energy Outlook (2015) da IEA (International Energy Agency) mesmo com um aumento de 20% aproximadamente do consumo de petróleo, as fontes renováveis são cruciais para a manutenção da matriz energética mundial, contribuindo com cerca de 25% da matriz energética mundial até 2040. Evitando um provável colapso no sistema energético além de reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) evitando assim alterações climáticas ambientais.

No Brasil a matriz energética é constituída basicamente por hidrelétricas chegando a 65,2%, porém seus impactos ao meio ambiente são negativos devido ao alagamento de áreas cultiváveis e a geração de metano (CH<sub>4</sub>) proveniente da decomposição da matéria orgânica (PEREIRA *et al.*, 2006, p. 10). O Relatório do BEN (2015) informa que eletricidade gerada a partir da fonte eólica foi de 12.210 GWh em 2014. A fabricação nacional de etanol foi de



**Figura 02 - Matriz energética brasileira 2014**  
 Fonte: BEN (2015).

28.526m<sup>3</sup>. O Brasil conta com 590,5 TWh originado de fonte hidráulica. A geração térmica a gás natural transformada em energia elétrica atingiu o nível de 81,1 TWh. A produção nacional de petróleo foi de 2,25 milhões de barris no ano de 2014. Como mostra em porcentagem a Figura 02.

A Base atual da matriz energética do Brasil é hidrotérmica. O Ministério de Minas e Energia pretende aumentar a participação das fontes de energia que possam garantir segurança no fornecimento. A diversificação das fontes renováveis busca melhorar o fornecimento da matriz energética brasileira.

O Ministério de Minas e Energia (MME) lançou, nesta terça-feira (15/12), o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), para ampliar e aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores, com base nas fontes renováveis de energia (em especial a solar fotovoltaica). O Programa pode movimentar pouco mais de R\$ 100 bilhões em investimentos, até 2030. A portaria que cria o ProGD foi assinada durante cerimônia pelo ministro de Minas e Energia, Eduardo Braga. A geração distribuída traz benefícios para o consumidor e para o setor elétrico: está no centro de consumo, o que reduz a necessidade de estrutura de transmissão elétrica e evita perdas. Até 2030, 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas, entre residência, comércios, indústrias e no setor agrícola, o que pode resultar em 23.500 MW (48 TWh produzidos) de energia limpa e renovável, o equivalente à metade da geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Com isso, o Brasil pode evitar que sejam emitidos 29 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> atmosfera.

Conforme (RÜTHER, 2004), as edificações urbanas servem como base para as estruturas dos módulos fotovoltaicos, se tornando assim os edifícios solares. Prontos para a microgeração de energia elétrica.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Após análise das faturas de energia elétrica do Hospital das Clínicas da UFPR, percebeu-se que o consumo de energia elétrica é elevado, gerando um custo considerável ao hospital. Diante deste problema, optou-se por desenvolver um estudo para implantar uma fonte de energia sustentável a fim

de colaborar com a economia de energia elétrica e que o mesmo contribua com o sistema de distribuição energético brasileiro.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Elaborar um estudo para implantar um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica em um prédio do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar referencial teórico do SFVCR.
- Efetuar o levantamento de cargas e consumo Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná;
- Analisar o local adequado de implantação do sistema fotovoltaico;
- Elaborar o projeto fotovoltaico conectado a rede;
- Dimensionar do projeto fotovoltaico;
- Concluir análise dos resultados.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

O motivo de escrever este trabalho foi originado na observação da quantidade de energia elétrica consumida pelo Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná. Principalmente no período diurno quando há utilização constante dos equipamentos médicos hospitalares, dos equipamentos laboratoriais de análises clínicas, da constante iluminação dos corredores e salas, do uso incessante dos equipamentos da infraestrutura, dos muitos equipamentos de informática localizados em postos de serviço, do custo da energia fornecida à instituição, uma vez que a energia elétrica é primordial para o bom funcionamento da estrutura. Baseado nos documentos cedidos pela instituição, como as faturas explicativas dos momentos mais agudos do

consumo da energia elétrica e do texto retirado da **Revista do Hospital 50 anos** edição especial.

O Hospital de Clínicas da UFPR, possui 63 mil m<sup>2</sup> de área construída, por onde circulam cerca de 11 mil pessoas diariamente. Para garantir assistência à comunidade, o hospital conta com 510 leitos e 261 consultórios, além de uma força de trabalho composta por mais de 2.900 funcionários que trabalham para manter uma assistência de 24 horas por dia, 365 dias por ano. **Para manter o funcionamento do Hospital são gastos por mês cerca de 291MWh de energia** (Revista do hospital, 2011, p. 16).

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na primeira etapa será feita uma revisão bibliográfica sobre os temas: energias renováveis, fontes alternativas de energia, componentes de um sistema fotovoltaico, contexto histórico do desenvolvimento da geração fotovoltaico.

Na segunda etapa serão levantados, através de pesquisa de campo, o consumo de energia elétrica do hospital, os valores das tarifas da energia elétrica contidos nas faturas enviadas da concessionária para o hospital. Reunião com o Setor de Infraestrutura para ciência e o aval na liberação da documentação para o desenvolvimento do projeto.

Na terceira etapa será realizada a escolha da localização da área destinada para a implantação do sistema SFVCR. Dimensionamento do SFVCR.

Após estes procedimentos será possível concluir qual a potência de energia gerada no projeto do SFVCR do HC da UFPR. Os valores de custo de implantação do SFVCR.

## 1.6 ESTRUTURAS DO TRABALHO

No capítulo 1 é apresentada uma introdução sobre o assunto a ser abordado de uma maneira resumida e as justificativas que levaram a elaborar

este trabalho, transformando-o em um projeto de interesse do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná.

O capítulo 2 apresenta o embasamento teórico para se ter aonde alicerçar os fundamentos técnicos, bem como apresentar as tecnologias relacionadas ao trabalho.

O capítulo 3 destina-se ao estudo de caso do dimensionamento do projeto designado a gerar energia elétrica a partir de células fotovoltaicas para o Hospital de Clínicas da UFPR. Apresenta o local a ser efetuada a instalação dos painéis bem como os equipamentos inversores, cabos, conectores e a instalação na rede elétrica. Neste capítulo também estão incluídos os cálculos referentes ao projeto fotovoltaico.

O capítulo 4 trata das conclusões do trabalho com um enfoque na tecnologia aplicada em construções futuras em hospitais escola e que tenham as mesmas características.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Pacheco (2006, p. 4-11), define que as energias renováveis são aquelas originadas de ciclos naturais da conversão da radiação solar, fonte primária de quase todas as energias disponíveis na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não altera a temperatura do planeta formando um conjunto de fontes de energia que podem ser chamadas de não convencionais, ou seja, aquelas que não são combustíveis fósseis e de grandes hidroelétricas. As energias renováveis são: a Energia Solar provinda do sol e pode ser utilizada diretamente para o aquecimento de água, do recinto e para produção de eletricidade, possibilitando reduzir em até 70% o consumo de energia convencional. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica.

Energia Hídrica de água dos rios, que fluem de altitudes elevadas para os mares. Sabendo-se que a energia hídrica deriva do aproveitamento da água para produção de eletricidade. Pequenas centrais hidroelétricas (PCHs) as chamadas mini-hídricas, estão sendo mais utilizadas devido ao fato de causarem menor impacto ambiental, produzindo energia superior a 1MW e igual ou inferior a 30MW (ANEEL, 2015a).

Energia Eólica provem das massas de ar (ventos) geradas pelo aquecimento diferente na superfície do globo terrestre. Aqui no Brasil, essa fonte de energia é uma solução excelente na procura de formas de geração de energia elétrica, salientando-se a região Nordeste (ANEEL, 2015b).

As Biomassas provem de plantas, animais e seus derivados como: Madeira, produtos e resíduos agrícolas, resíduos florestais, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleos animais, óleos vegetais, gás pobre, biogás são formas de biomassa utilizadas como combustível (CARDOSO, 2012).

## 2.2 A CÉLULA FOTOVOLTAICA.

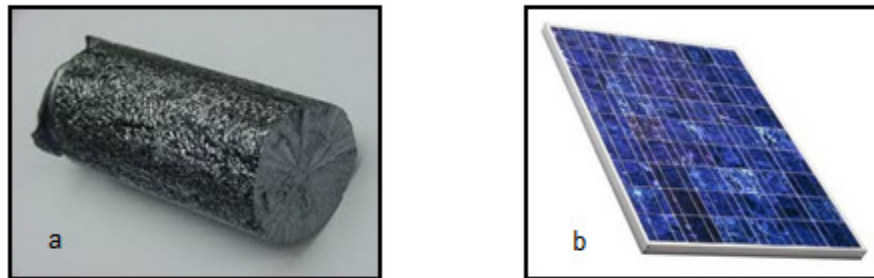
As primeiras experiências que deram origem a dispositivos fotovoltaicos surgiram no ano de 1839 com Bequerel, um físico cientista francês, quando verificou uma tensão elétrica resultante da incidência da luz em um eletrodo metálico que estava imerso em uma solução química. Passado algumas décadas em 1877, Adams e Day cientistas ingleses notaram que em outras matérias diferentes ocorriam algo similar. Posteriormente diversos pesquisadores e cientistas desenvolveram experimentos neste seguimento. Já em 1905, Albert Einstein explica o efeito fotoelétrico o qual possui forte relação com o efeito fotovoltaico. Já em 1918 Czochralski desenvolveu uns métodos para fabricar cristais de silício, que são hoje a base da indústria fotovoltaica, após este grande passo diversos cientistas aperfeiçoaram e desenvolveram os primeiros módulos fotovoltaicos nas décadas de 1970 a 1990, utilizado na indústria aeroespacial e posteriormente em aplicações terrestres (BRAGA, 2008).

O Silício empregado na fabricação das células fotovoltaicas é extraído do minério de quartzo. O Brasil é um dos principais países que extraem este tipo de minério. Mas a purificação do silício, não é feita em nosso país, assim como a produção das células solares. Recentemente desenvolveram-se diversos processos para fabricar células e módulos fotovoltaicos. As tecnologias mais comuns encontradas no mercado são a do silício monocristalino, a do silício policristalino e a do filme fino de silício (VILLALVA, 2014, p. 69).

As células fotovoltaicas produzidas com Silício podem ser monocristalinas (m-Si) ou policristalinas (p-Si). A primeira é obtida pelo método *Czochralski* (Si-Cz) ou pela técnica zonal flutuante (Si-Zf). O Silício policristalino em vez de se formar um único cristal, o material é solidificado em forma de bloco composto de pequenos cristais, com dimensão na ordem de centímetros. A partir do corte de um bloco de m-Si tipo Si-Cz ou Si-FZ, são obtidas lâminas nas quais são fabricadas as células fotovoltaicas (PINHO; GALDINO, 2014).

Após estudos em laboratório constatou-se que o sol irradia  $1000\text{W}/\text{m}^2$ . Isto significa que em um  $\text{m}^2$  poderia-se obter mil watts de energia elétrica caso existisse células com 100% de eficiência. Mas na realidade as células

comercializadas na atualidade possuem apenas no máximo 18% de eficiência, para a células de silício monocristalino e de 12% para as células de silício policristalino, Figura 03 - a e Figura 03 - b. Isto é, que para 1000W irradiado, apenas 180W será gerado nas células fotovoltaicas de silício cristalino.



**Figura 03 - a - lingote de silício policristalino b- módulo policristalino**

**Fonte: Paineis fotovoltaicos (2015).**

Os filmes finos são feitos a partir de processos da vaporização dos resíduos do corte do silício cristalino, Figura 04. Os mesmos consomem menos energia e são menos complexos para serem fabricados, contudo sua produção de energia elétrica é menor. Os filmes finos prometem reduzir os custos de produção dos módulos fotovoltaicos, através do uso de materiais de baixo custo e da redução da quantidade de energia utilizada. Na soma dos módulos também nas conexões das células nos módulos. Podem ser aplicados em substratos de baixo custo como vidros, aço e plástico. Por esta razão, podem ser usados nas construções civis, devido a durabilidade, flexibilidade, leveza e transparência. Mas existem algumas desvantagens, pois alguns materiais são raros. Baixa eficiência em produção de energia elétrica em comparação com as demais tecnologias, ocupando mais espaço em  $m^2$ . A perda de eficiência em curto espaço de tempo (Efeito Staebler-Wronski) (OLIVEIRA, 2008).

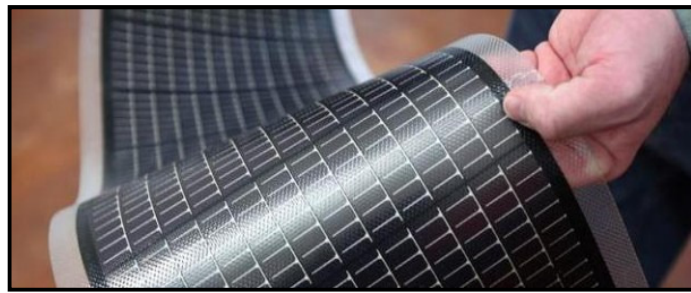


Figura 04 - Filme fino, disseleneto de cobre-indio

Fonte: Portal solar (2015).

### 2.1.1 Semicondutores

O princípio da construção do semicondutor de Silício tipo P acontece quando nele é inserido um material como o Boro que é trivalente. Então o mesmo apresenta uma lacuna na estrutura cristalina do silício que é tetravalente. Já o semicondutor tipo N ocorre quando se acresce Fósforo. Este que possui cinco elétrons na camada de valência forma assim um cristal de Silício com excesso de elétrons. Este processo é chamado de dopagem do semicondutor (Figura 05) (MALVINO, 2008, p. 9).

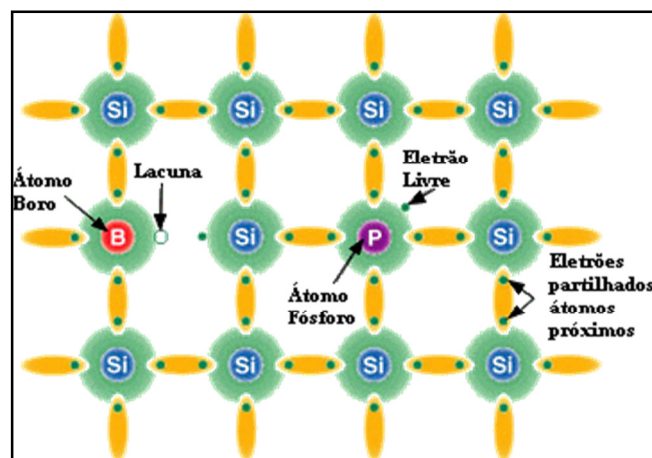


Figura 05 - Estrutura cristalina do semicondutor silício com a presença do átomo de Boro (lacuna) e do Fósforo (elemento livre) com suas respectivas ligações eletrônicas

Fonte: Eletronica (2015).

## 2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico se apresenta no momento em que a luz solar incide sobre a superfície da célula fotovoltaica gerando uma diferença de potencial

elétrico. O fóton lançado pelo Sol excita o elétron livre da camada N que é atraído para a camada P. Esta atração gera uma diferença de potencial. Então os elétrons livres tentam passar da camada N para a camada P e são barrados pela camada defletora. Porém como há excesso de elétrons livres na camada N, único o caminho que pode ser percorrido é por meio dos fios condutores onde é mais fácil para chegarem a camada P. O movimento de elétrons criado pela diferença de potencial elétrico origina uma corrente elétrica. Assim esta corrente elétrica passa por uma carga gerando um trabalho ou até mesmo pode fornecer energia elétrica para a concessionária (Figura 06) (CARNEIRO, 2010).

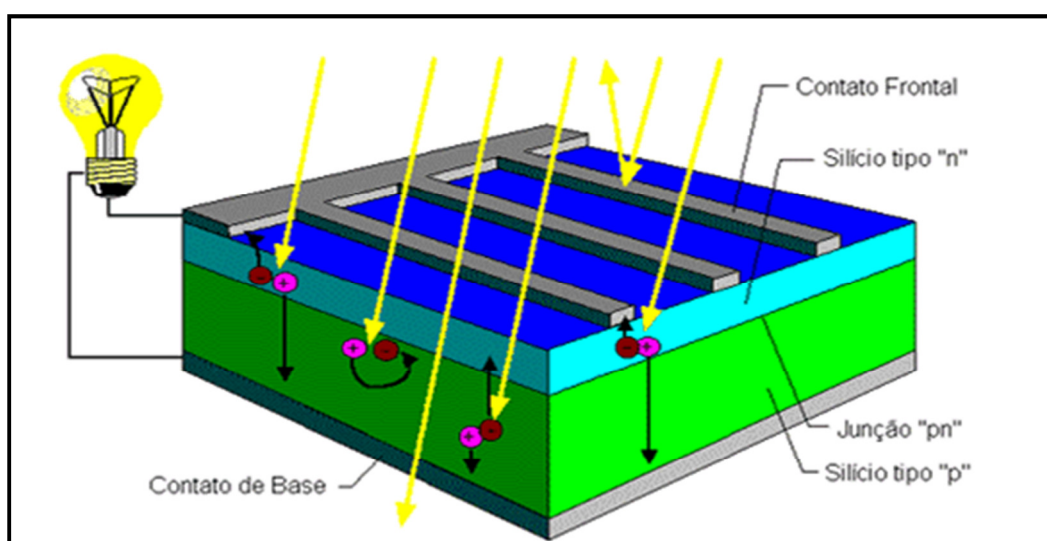


Figura 06 - Desenho de um corte de célula fotovoltaica

Fonte: Pinho e Galdino (2014).

### 2.3 OUTROS TIPOS DE CELULAS FOTO VOLTAICAS

A fim de se obter alta eficiência em energia elétrica vários outros materiais surgiram com a promessa de grandes vantagens de se produzir filmes finos. Tolueto de Cadmio (CdTe), Disselto de Cobre e Índio (CIS), Arceneto de Gálio (GaAs) propõe reduzir a quantidade de material e consequentemente o custo de produção. As células de CdS/CdTe, são produzidas com 16,5% de eficiência elétrica. As células de GaAs tem eficiência de 27,6%. Já as células CIGS possuem em sua composição (Cobre, Índio, Gálio e Selênio), são tão estáveis e resistentes a radiação solar terrestre como também suportam as

radiações do espaço. Possuem uma eficiência elétrica de 19,2% (FALCÃO, 2005).

As próximas pesquisas apontam para um novo componente chamado de Grafeno. Sua capacidade de produzir energia a partir de um fóton é muito grande. Enquanto o fóton excita um elétron do Silício, o mesmo fóton no Grafeno excita vários. Estudos revelam que o próximo passo será o desenvolvimento da absorção dos elétrons por ele excitado (IFSC, 2015).

## 2.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A célula fotovoltaica é a peça básica do módulo fotovoltaico. É nesta peça que se dá o processo de conversão da energia radiante do Sol em energia elétrica. A célula tem a forma de pequenos discos ou retângulos e são produzidas em grande escala. São extremamente frágeis e geram individualmente uma pequena quantidade de energia. Geralmente em tensões na ordem de 0,5 V. Uma célula fotovoltaica típica medindo 152 x 152 mm, produz uma corrente: 6,5 A, potência: 3,2 Wp e eficiência: 14%. O conjunto de células fotovoltaicas formam o módulo fotovoltaico, que é a unidade básica do subsistema de geração de eletricidade. O módulo é formado de uma estrutura montada em um quadro, geralmente de alumínio e de aproximadamente doze células fotovoltaicas que são ligadas eletricamente entre si em paralelo ou em série. Cobertas por uma camada transparente que protege as mesmas e suas conexões da ação do tempo e dos eventuais impactos. Normalmente esta camada pode ser de vidro, plástico ou resina de silicone, mais um encapsulante, normalmente EVA. Todos esses revestimentos, em conjunto com o quadro de alumínio, resultam em uma estrutura rígida e resistente ao manuseio e as intempéries. Estes cuidados são importantes para que as células possam manter suas características ao longo de sua vida útil. Cuidados especiais devem ser tomados na limpeza e no manuseio para não quebrar o vidro e não furar os módulos. Nos terminais positivo e negativo na saída de cada módulo tem-se a soma da energia produzida por cada célula, resultando em um montante energético mais significativo e já adaptado às características elétricas que se quer trabalhar. O número de células em série determina as

características da tensão elétrica de saída do módulo (SOLENERG ENGENHARIA, p. 1).

Módulos com tensão nominal de 12V, com 36 células em série, são utilizados para carregar bateria e podem ser associados em série para sistemas de 24V ou 48V em corrente contínua. Para outras aplicações, é comum encontrar módulos com tensões nominais diferentes, com maior ocorrência entre 30V e 120V (PINHO; GALDINO, 2014).

## 2.5 GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE.

Sistemas conectados a rede são aqueles em que a potência produzida pelo gerador fotovoltaico é entregue diretamente a rede elétrica, para isso é utilizado um inversor, que satisfaça as exigências da distribuidora, para que não haja uma degradação do sistema elétrico ao qual se conecta o gerador fotovoltaico.

A norma 482 de abril de 2012, disposta pela ANEEL, rege as condições para o acesso da microgeração e minigeração distribuída, ao sistema de distribuição de energia elétrica. Atualmente a regulamentação não permite a operação ilhada desses sistemas, pois na falta de energia da distribuidora o sistema fotovoltaico conectado a rede, para de funcionar, por segurança. Os sistemas de microgeração e minigeração devem atender aos procedimentos de distribuição (PRODIST), e as normas de acesso das distribuidoras locais. A resolução 482/2012, estabelece as condições gerais para o acesso ao sistema de distribuição de energia elétrica e a forma de compensação de energia sobressalente, cujas definições são:

Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

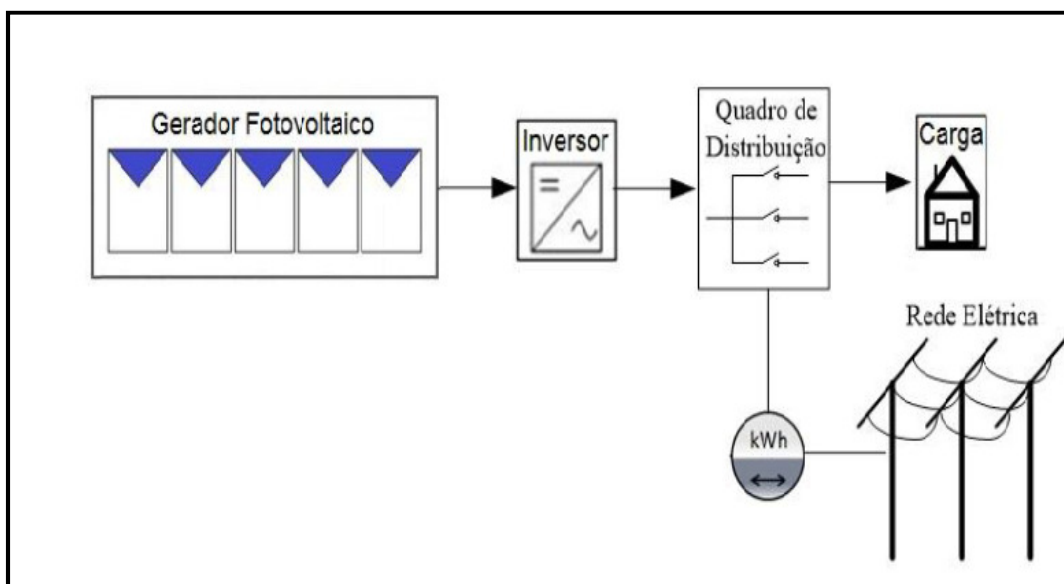
Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fonte com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL,

conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora com a mesma titularidade, onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo cadastro de pessoa física (CPF) ou cadastro de pessoa jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.

(PINHO; GALDINO, 2014).

O trabalho utiliza o sistema de medição bidirecional de registros independentes, Figura 07, ou seja, a energia consumida e a energia injetada na rede de distribuição são registradas separadamente pelo medidor bidirecional. A cada instante apenas o registro em um sentido será realizado, dependendo da diferença instantânea entre a demanda e a potência gerada. (PINHO; GALDINO, 2014).



**Figura 07 - Medidor bidirecional de um sistema fotovoltaico**

Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 291).



## 2.6 INVERSORES CONECTADOS AO SFVCR

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 216), inversores são equipamentos eletrônicos, que tem por finalidade a conversão em corrente contínua em corrente alternada de fonte de energia elétrica, sendo sua fonte podendo ser: bateria, células a combustível.

Características que deve possuir um inversor de um SFVCR;

- Alta eficiência de conversão, tanto na carga nominal quanto em cargas parciais;
- Alta confiabilidade e baixa manutenção;
- Operação em uma faixa ampla de tensão de entrada;
- Boa regulação na tensão de saída;
- Forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico;
- Baixa emissão de ruído audível;
- Baixa emissão de interferência eletromagnética;
- Tolerância aos surtos de partida de cargas a serem alimentadas;
- Segurança tanto para as pessoas quanto para instalação;
- Grau de proteção IP adequado ao tipo de instalação;
- Garantia de fábrica de pelo menos 2 anos.

### 3 PROJETO DE IMPLANTAÇÃO

#### 3.1 ÁREA DE IMPLANTAÇÃO

Como o trabalho tem o objetivo de aplicar o conhecimento adquirido, na disciplina de Energia Fotovoltaica do curso de Especialização Energia Renováveis, foi decidido desenvolver um projeto de geração de energia fotovoltaico conectado a rede, o projeto será desenvolvido em um dos prédios do Hospital de Clínicas da UFPR, sendo escolhido o bloco Anexo H, composto por cinco andares, que possui melhores características para instalação dos módulos fotovoltaicos. O referido bloco tem privilegiada localização com ótimas características de absorção de irradiação solar sem momentos de sombreamento. Segue a Figura 08 e Figura 09, contendo o prédio do Anexo H do Hospital de Clínicas.

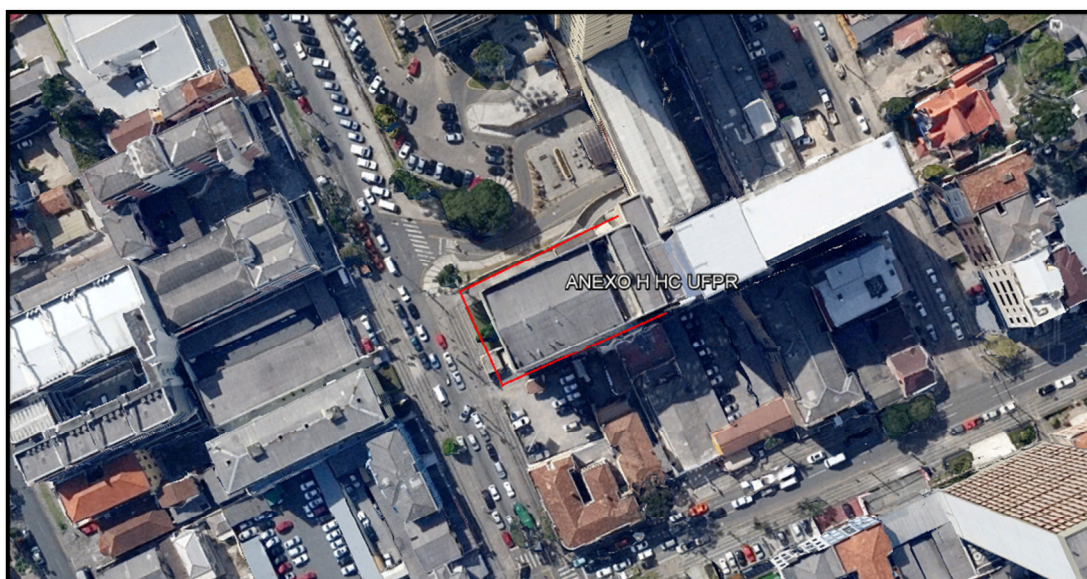
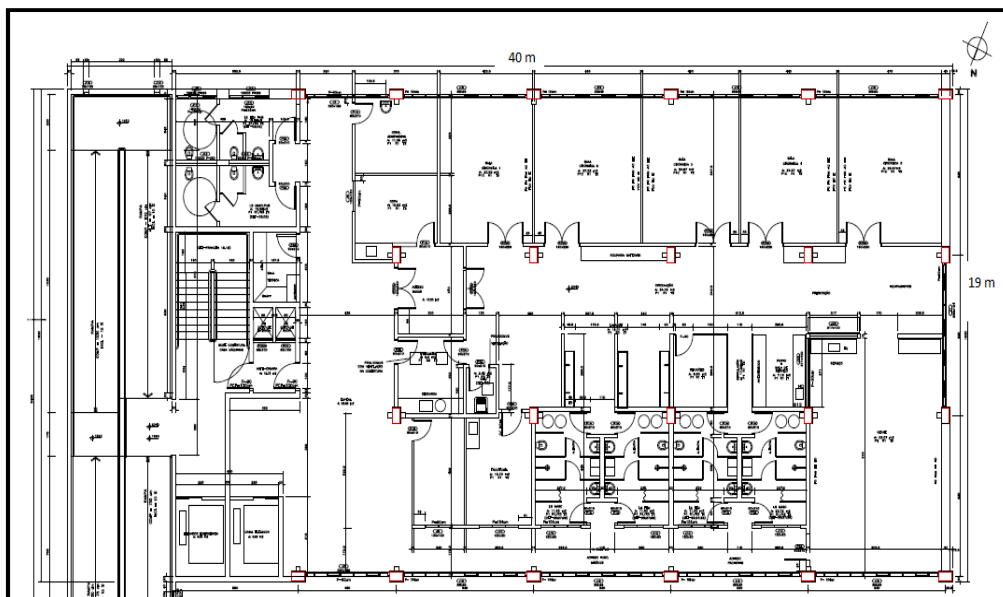


Figura 08 - Vista Aérea do Anexo H, bloco do Hospital de Clínicas

Fonte: Google Earth (2015).



**Figura 09 - Desenho técnico da área de implantação**

Fonte: Autor do estudo.

### 3.2 CONSUMO DO LOCAL

Após definição do local, elaborou-se a pesquisa documental e uma análise do consumo mensal, Conforme a Tabela 01.

**Tabela 01 - Valores de consumo faturados no período do estudo**

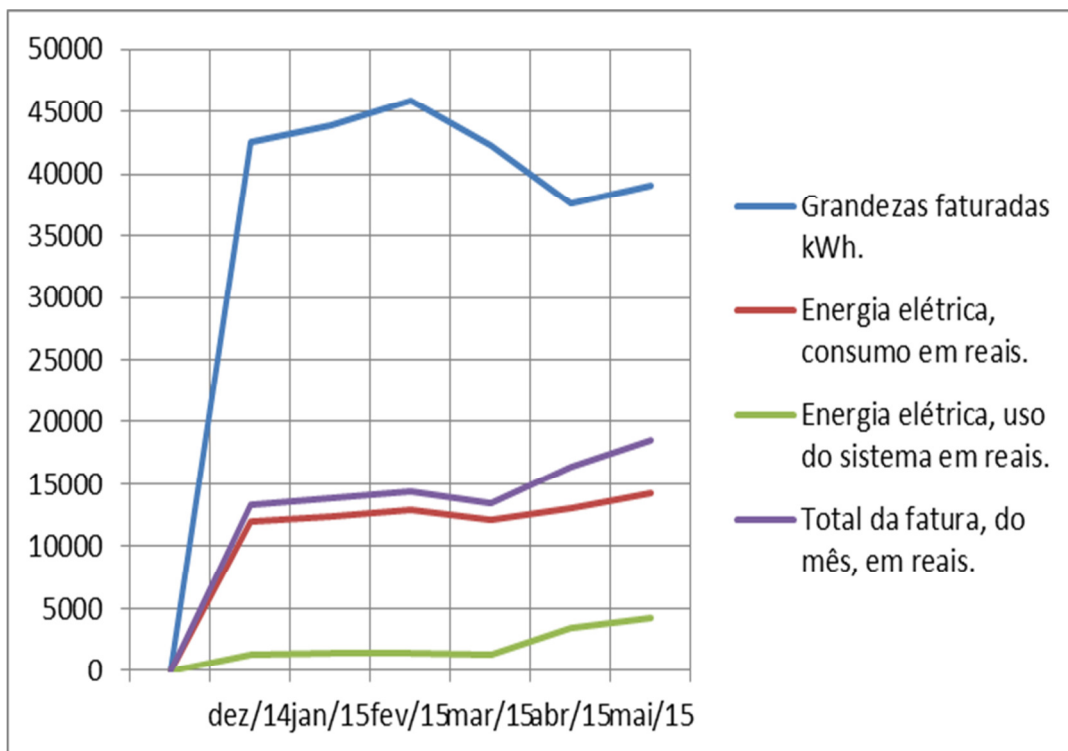
Período analisado (mês).	Energia faturadas kWh.	Energia elétrica, consumo, em reais.	Uso do sistema em reais.	Total do mês em reais.
Dez/14	42,5	R\$ 12.018,68	R\$ 1.347,42	R\$ 13.366,10
Jan/15	43,8	R\$ 12.396,92	R\$ 1.389,83	R\$ 13.786,74
Fev/15	45,9	R\$ 12.967,81	R\$ 1.453,83	R\$ 14.421,64
Mar/15	42,2	R\$ 12.134,13	R\$ 1.360,35	R\$ 13.494,48
Abr/15	37,6	R\$ 13.001,26	R\$ 3.433,99	R\$ 16.435,25
Mai/15	39,0	R\$ 14.249,41	R\$ 4.298,69	R\$ 18.548,10

Fonte: Autor do estudo.

A Tabela 02 evidencia alteração do valor da fatura, no semestre analisado, o motivo, foi reajuste concedido pelo governo em meados do mês de dezembro do ano de 2014, esses valores são referente ao consumo do prédio anexo H do Hospital de Clínicas – UFPR.

O Gráfico 1 demonstra o aumento da energia elétrica a linha em azul representa as grandezas faturada no período, já as linhas abaixo representa o valor em reais do consumo. A média diária de consumo ficou em 1.396,07 kWh conforme tabela 2.

**Gráfico 01 - Grandezas faturadas e seus valores correspondentes**



Fonte: Autor do estudo.

**Tabela 02 - Valores das faturas do consumo do período do estudo**

Período analisado (semestre)	Grandezas faturadas kWh
Nov/14	43.825
Dez/14	42.547
Jan/15	43.886
Fev/15	45.907
Mar/15	42.268
Abr/15	37.606
Mai/15	39.079
<b>Total do semestre kWh</b>	<b>295.118,00</b>
<b>Média Mensal kWh</b>	<b>42.159,71</b>
<b>Média diária kWh</b>	<b>1.405,32</b>

Fonte: Autor do estudo.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO

A partir das médias encontradas com a pesquisa documental, foi dimensionado um projeto fotovoltaico que irá conseguir suprir parte da necessidade do consumo do bloco anexo H, pois a área disponível para implantação é restrita, sendo utilizado para o projeto os módulos fotovoltaico JA Solar Holdings Co.,Ltd. Modelo JAP72/315/3BB com as seguintes dimensões: 1956×991×45 mm o que resulta em uma área de 1,93 m<sup>2</sup> para cada módulo, de acordo com a Figura 10.

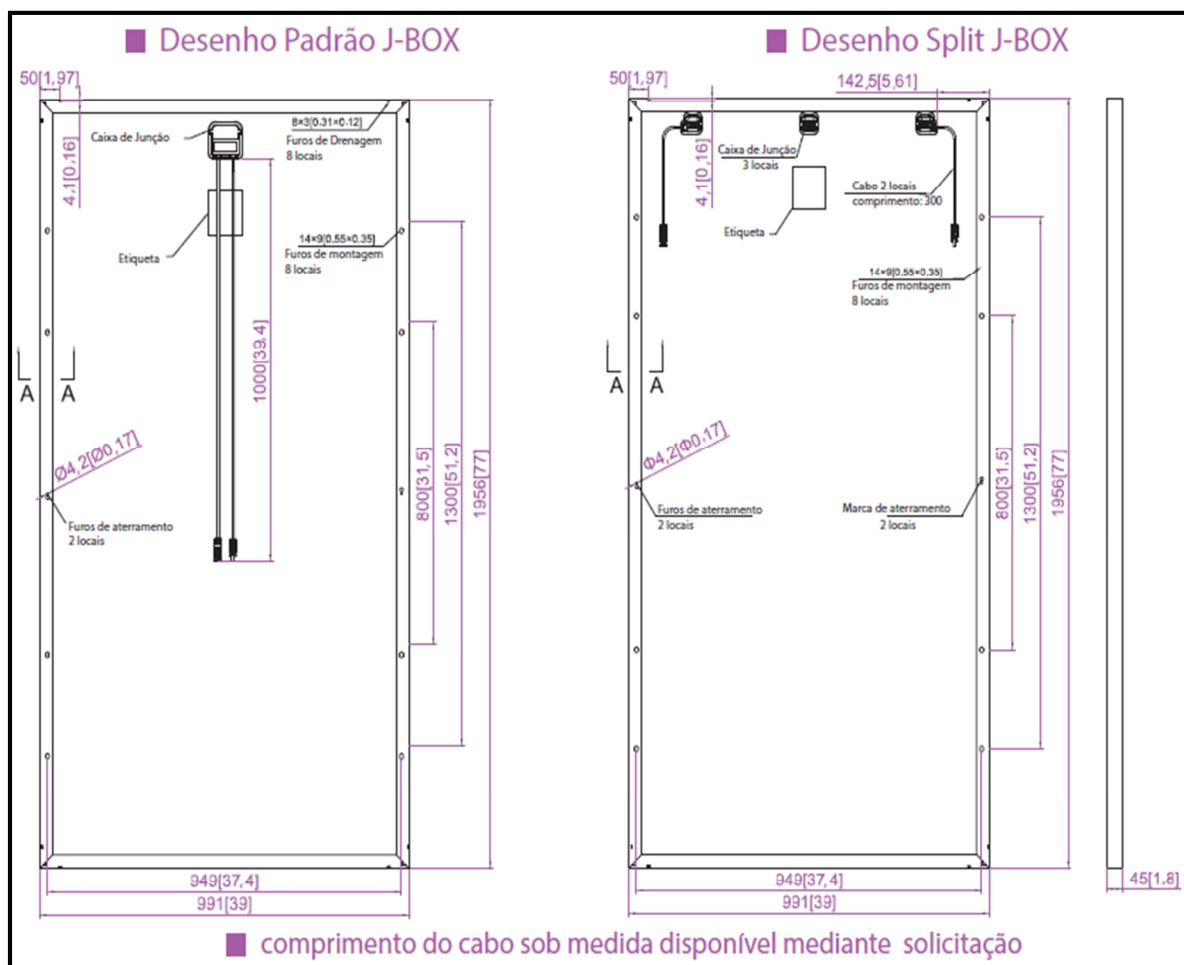


Figura 10 - Módulo Fotovoltaico, modelo, JAP72/315/3BB da JÁ Solar

Fonte: Real solar (2015).

Os dados técnicos do módulo a ser utilizado no projeto, parâmetros mecânicos e elétricos estão descritos nas tabelas Tabela 03 e Tabela 04:

Tabela 03 - Parâmetros mecânicos e elétricos

PARÂMETROS MECÂNICOS		
Célula (mm)	Poly 156x156	
Peso (kg)	22,5 (aprox.)	
Dimensões (CxLxA) (mm)	1956x991x45	
Tamanho da Seção Transversal do Cabo (mm <sup>2</sup> )	4	
Nº de Células e Conexões	72 (6x12)	
Caixa de Junção	IP67, 3 diodos	
Conector	Compatível com MC4	
Configuração da Embalagem	23 Por Palete	

PARÂMETROS ELÉTRICOS		
TIPO	JAP6 72-310/3BB	JAP6 72-315/3BB
Potência Nominal Máxima a STC (W)	310	315
Tensão de Circuito Aberto (Voc/V)	45,45	45,60
Tensão de Potência Máxima (Vmp/V)	37,00	37,28
Corrente de Curto Circuito (Isc/A)	8,85	8,91
Corrente de Potência Máxima (Imp/A)	8,38	8,45
Eficiência do Módulo [%]	15,99	16,25
Tolerância da Potência (W)		-0--+5W
Coefficiente de Temperatura de Isc ( $\alpha_{Isc}$ )		+0.058%/°C
Coefficiente de Temperatura de Voc ( $\beta_{Voc}$ )		-0.330%/°C
Coefficiente de Temperatura de Pmax ( $\gamma_{Pmp}$ )		-0.430%/°C
STC	Irradiação 1000W/m <sup>2</sup> , Temperatura do Módulo 25 °C, Massa de Ar 1,5	

Fonte: Jasolar (2015).

Parâmetros de condições de trabalho do módulo no sistema para que funcione adequadamente.

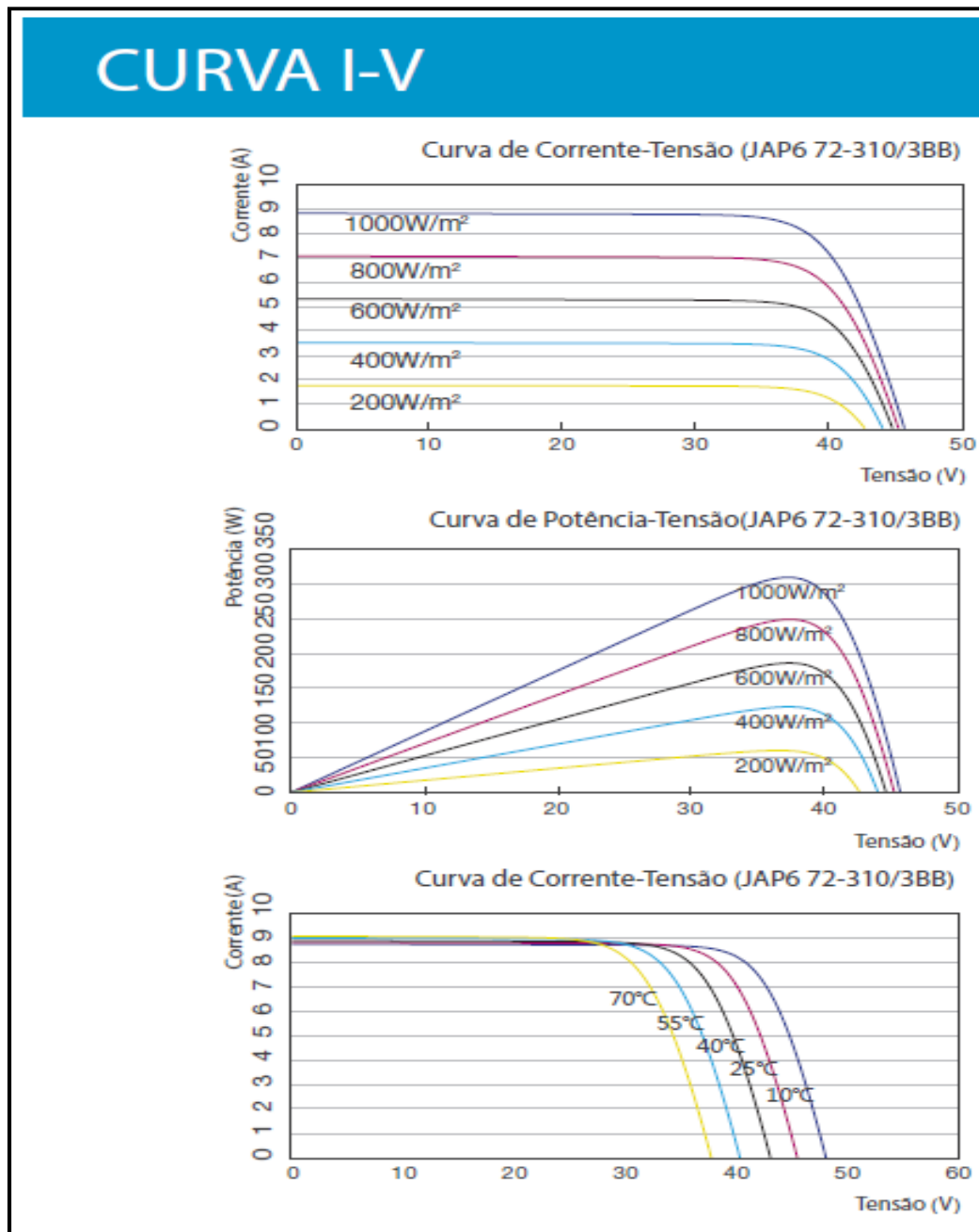
**Tabela 04 - Parâmetros de condições de trabalho**

CONDIÇÕES DE TRABALHO		
Tensão Máxima do Sistema	CC 1000V (IEC)	
Temperatura Operacional	-40 °C ~ +85 °C	
Série Máxima de Fusíveis	15A	
Carga Estática Máxima, Frontal (por ex., neve e vento)	5400Pa (551Kg/mq)	
Carga Estática Máxima, Posterior (por ex., vento)	2400Pa (245 Kg/mq)	
NOCT (Temperatura nominal de funcionamento)	45±2 °C	
Classe de Aplicação	Classe A	
NOCT		
TIPO	JAP6 72-310/388	JAP6 72-315/388
Potência Máx. (P <sub>máx.</sub> ) [W]	225,06	228,69
Tensão de Circuito Aberto (V <sub>oc</sub> ) [V]	42,58	42,63
Tensão de Potência Máxima (V <sub>mp</sub> ) [V]	34,05	34,08
Corrente de Curto Circuito (I <sub>sc</sub> ) [A]	6,99	7,06
Corrente de Potência Máxima (I <sub>mp</sub> ) [A]	6,61	6,71
Condição	Sob Temperatura da Célula de Operação Normal, Irradiação de 800 W/m <sup>2</sup> , espectro AM 1,5, temperatura ambiente 20 °C, velocidade do vento 1 m/s	

Fonte: Jasolar (2015).

O Gráfico 2, representam a geração, de acordo com a faixa de tensão, corrente e temperatura, onde se pode trabalhar a melhor faixa para se obter uma melhor performance.

Gráfico 02 - Curvas de potência



Fonte: Jasolar (2015).



Foi decidido desenvolver dois projetos de implantação, sendo que no primeiro projeto os módulos serão dispostos acompanhando o desvio azimutal do telhado, representado na Figura 12, já o segundo projeto os módulos serão ajustados de forma que seja corrigido o desvio azimutal, (Figura 13) dessa maneira será possível fazer uma análise comparativa, para encontrar a melhor possibilidade para instalação do SFVCR.

Existe a necessidade de calcular a distancia entre os módulos para não haver sombreamento entre eles, para isso será utilizado como base o material da literatura o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, (PINHO; GALDINO, 2014, p. 354). A distância entre os módulos é encontrada a partir da equação a seguir:

$$d = Fe(h_{ob} - h_i)$$

onde:

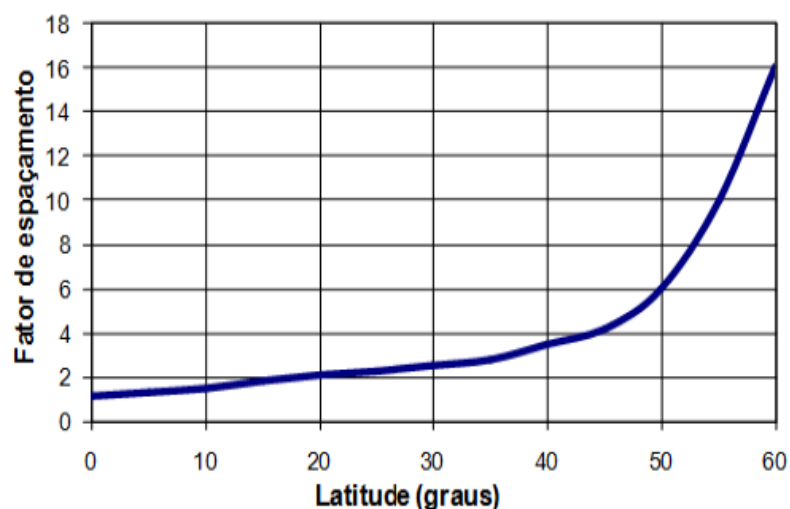
$d$  - distância mínima a ser mantida entre o gerador fotovoltaico e o obstáculo (m);

$Fe$  - fator de espaçamento obtido pela curva

$h_{ob}$  - altura do obstáculo (m);

$h_i$  - altura de instalação do gerador fotovoltaico (m).

**Gráfico 03 - Fator de espaçamento**



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

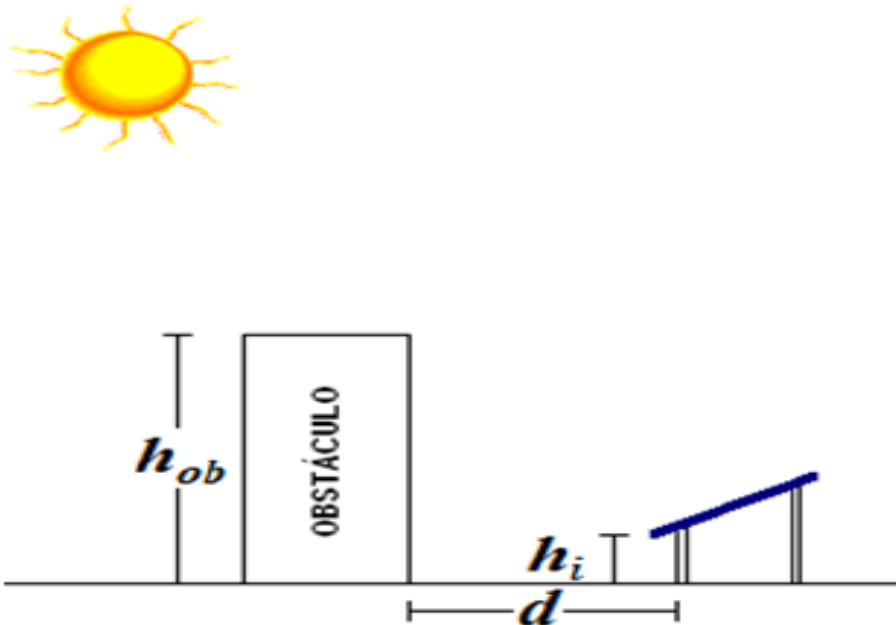


Figura 11 - representação da distancia entre os módulos

Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Substituindo os valores na formula, encontraremos os valores descritos em seguida, sendo necessário uma distância de 0,85 metros, entre os módulos.

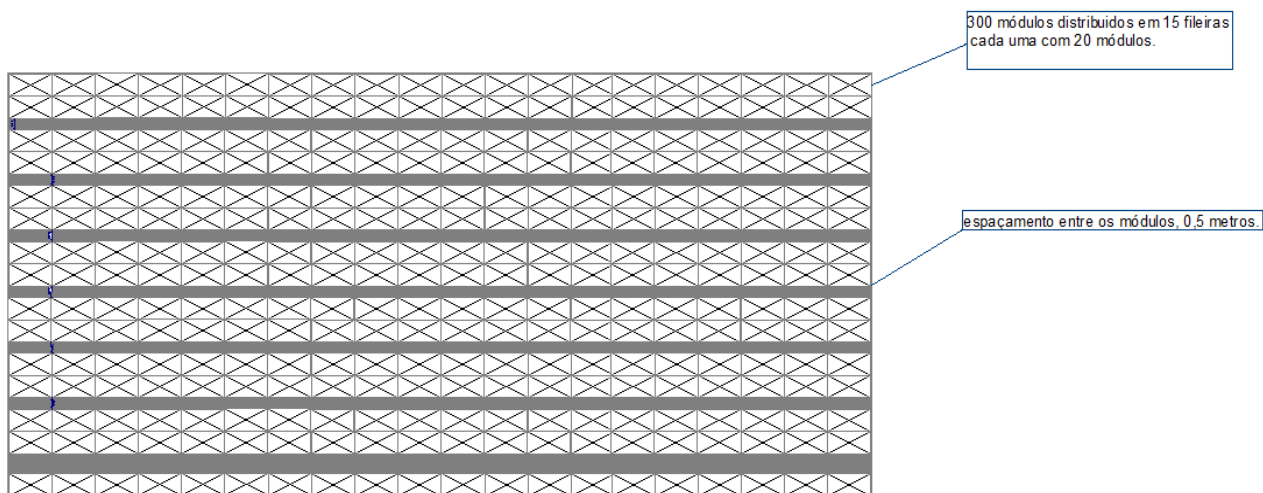
$d = fe * (hob - hi)$  Equação 1 – distância entre os módulos.

$$d = 2 * (1 * sen25)$$

$$d = 0,85 m$$

O SFVCR terá duas variáveis muito importantes, o índice irradiação no local de implantação do SFVCR, e o número de módulos instalados em cada um dos projetos, sendo que essas duas variáveis serão cruciais para análise da eficiência. O projeto se iniciará com análise da quantidade de módulos possível a serem instalados na área selecionada para implantação do projeto.

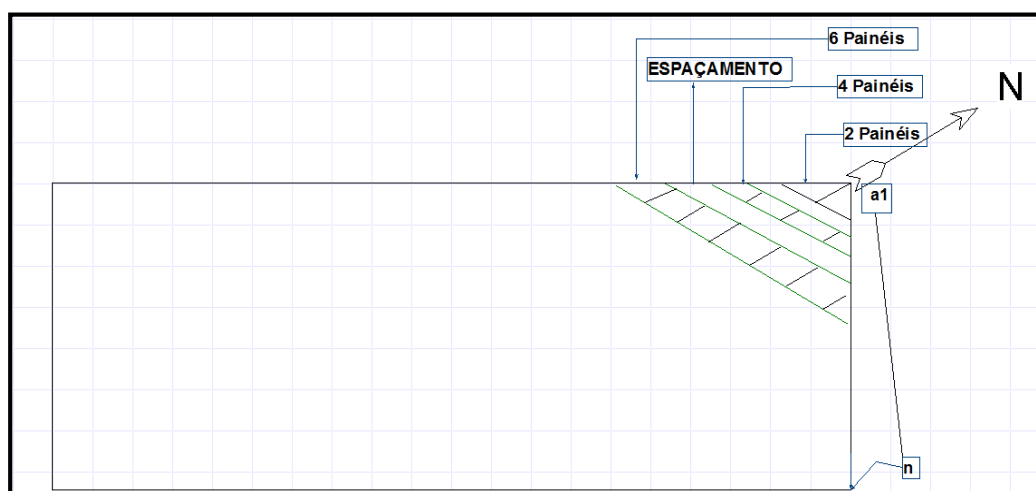
Na Figura 12 está representado como ficaria os módulos instalados acompanhado o alinhamento do telhado, projeto 1, sendo possível a instalação de 300 módulos JAP72, com as especificações descritas acima.



**Figura 12 - Alinhamento dos módulos projeto 1**

**Fonte: Autor do estudo.**

Já na Figura 13 representa como ficariam os módulos instalados, mas com a correção do desvio azimutal de  $24^\circ$  para oeste, e com a distância necessária entre os módulos para evitar o sombreamento, para essa estimativa foi utilizado um desenho em escala sendo assim possível estimar a quantidade de módulos, que seria de apenas 170 módulos JAP72, com as especificações descritas na página 30, 31 E 32.



**Figura 13 - Alinhamento dos módulos projeto 2**

**Fonte: Autor do estudo.**

Para que seja possível estimar a potência gerada em cada sistema será necessário os valores históricos de irradiação global no plano horizontal do banco de dados do atlas brasileiro de energia solar (PEREIRA *et al.*, 2006) que estão descritos na Tabela 05. Esses valores são encontrados a partir da latitude e longitude. Os valores filtrados na Tabela 05 serão manipulados no programa Radiasol, esse por sua vez nos dará os valores de irradiação sem o desvio azimutal e com o desvio azimutal e inclinação necessária neste projeto. Somente dessa maneira será possível a análise da melhor opção para instalação dos módulos.

**Tabela 05 - Irradiação incidente em Curitiba no plano horizontal (Lat. -25,43°, long. -49,26°)**

LONGITUDE	LATITUDE	JANEIRO	FEVEREIRO	MARCO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	ANUAL
-49,28	-25,34	5,69	5,58	5,10	4,09	3,29	3,08	3,31	4,22	4,33	5,04	5,95	5,96	4,64
-49,18	-25,33	5,63	5,50	5,08	4,09	3,29	3,08	3,31	4,18	4,28	4,99	5,97	5,92	4,61
-49,27	-25,43	5,67	5,47	5,05	4,12	3,29	3,08	3,28	4,21	4,30	5,02	5,97	5,92	4,61
-49,18	-25,42	5,63	5,46	5,05	4,10	3,26	3,07	3,27	4,16	4,29	4,96	5,95	5,90	4,59
-49,27	-25,52	5,66	5,38	4,99	4,15	3,31	3,04	3,26	4,19	4,29	5,03	6,01	5,91	4,60
-49,17	-25,51	5,70	5,42	4,98	4,11	3,27	3,06	3,26	4,17	4,27	4,94	6,08	5,87	4,59

Fonte: Autor do estudo.

O Radiasol é um programa gratuito desenvolvido pela UFRGS, que permite a análise dos valores de irradiação, sendo possível variar valores de desvio azimutal e inclinação dos módulos, assim podemos simular diversas situações do cotidiano de um SFVCR, antecipando variações e erro no momento da instalação do sistema. A Figura 14 representa a tela inicial do Radiasol.



Figura 14 - Tela inicial do Programa Radiasol

Fonte Autor do estudo.

A segunda tela, Figura 16, do Radiasol na qual foram inseridos os dados, do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2006), esses foram filtrados a partir da localização, latitude e longitude do prédio anexo H do Hospital de Clínicas da UFPR.

**Selecione um país e uma estação**

País:

Estação:

OK Editar Sair

Latitude:  N/S:  Longitude:  E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,67	5,47	5,05	4,12	3,29	3,08	3,28	4,21	4,30	5,02	5,97	5,92

Radiação em kWh/m<sup>2</sup>

Figura 16 - Tela para inserir dados de irradiação

Fonte Autor do estudo.

RADIASOL

Arquivo Opções Copiar Estocásticos Menu ?

Brasil Lon 49,27 W Menu  
ANEXO H HC Lat 25,42 s

8:30	222	296	314	375	452	450	338
9:30	353	448	450	515	601	589	477
10:30	457	568	556	623	715	696	586
11:30	515	634	615	682	778	755	646
12:30	515	634	615	682	778	755	646
13:30	457	568	556	623	715	696	586
14:30	353	448	450	515	601	589	477
15:30	222	296	314	375	452	450	338
16:30	90	141	171	226	290	298	191
17:30	0	5	43	88	138	152	64
18:30	0	0	0	0	10	28	5
19:30	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	3274	4184	4298	5018	5968	5936	4611

Jan Feb Mar Abr Mai Jun Jul Ago Set Out Nov Dez Todo Ano

DATA: Típico

Laboratório de Energia Solar  
GESTE - PROMEC - UFRGS

Figura 15 - Terceira tela do Radiasol contendo dados filtrados de radiação, projeto 1

Fonte Autor do estudo.

A Figura 15 é resultado dos dados inseridos na tela anterior do Radiasol, onde será possível estimar a radiação com as características do projeto 1.

A média de radiação anual encontrada, nesse caso foi de 4,611 kW/dia, que será comparado com o índice do projeto 1 posteriormente.

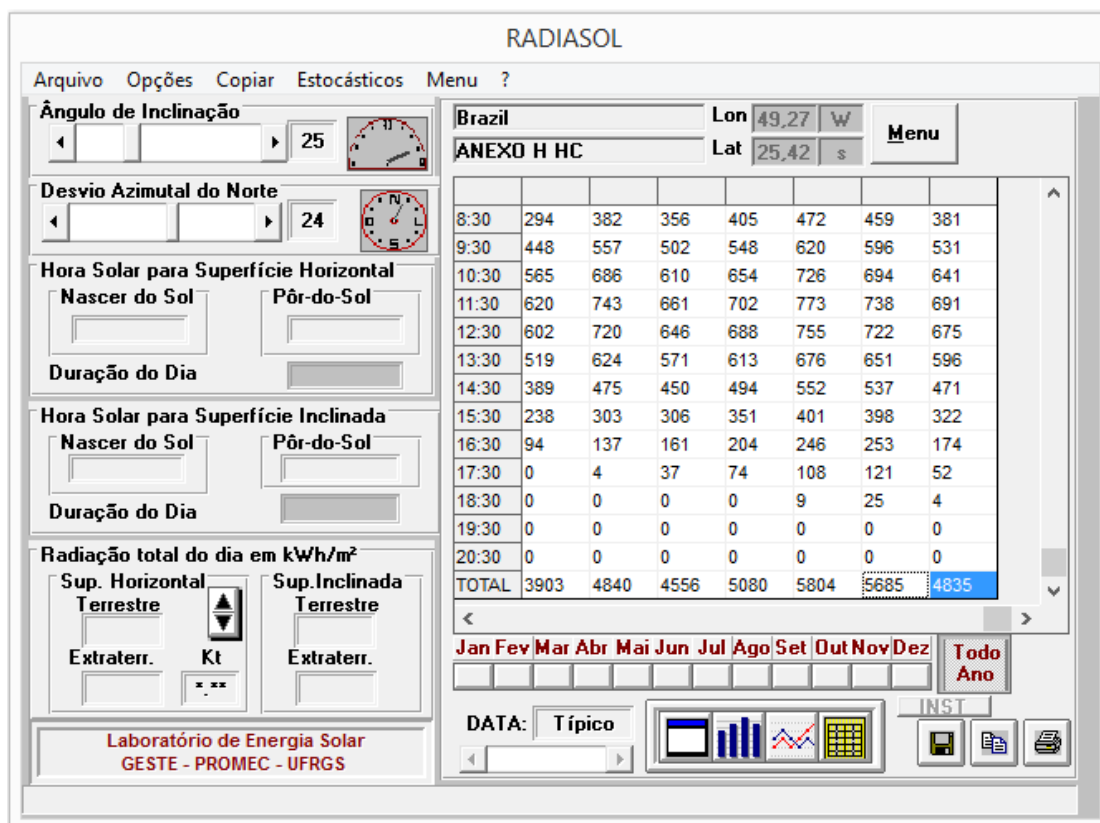


Figura 17 - Terceira tela do Radiasol contendo dados filtrados de radiação, projeto 2

Fonte Autor do estudo.

A Figura 17 retrata as características do projeto 2, A média de radiação anual encontrada, nesse caso foi de 4,835 kW/dia.

A Tabela 06 descreve os valores mês a mês de irradiação no plano horizontal com desvio azimutal de 24° para oeste e plano inclinado 25° sem desvio azimutal.

Tabela 06 - Valores de irradiação, filtrados no Radiasol com e sem desvio azimutal

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Méd. An.
<i>Global horizontal com desvio azimutal de 24° kWh/m²</i>	5,67	5,47	5,05	4,12	3,29	3,08	3,28	4,21	4,30	5,02	5,97	5,92	4,61
<i>Plano Inclinado 25° no Radiasol Sem desvio azimutal</i>	5,48	5,44	5,29	4,56	3,81	3,75	3,97	4,91	4,58	5,09	5,79	5,67	4,83

Fonte Autor do estudo.

Após encontrar os valores de irradiação para aplicação será possível calcular a potência pico gerada em cada um dos projetos, somente assim poderá ser escolhido o projeto que apresentar maior eficiência e potência. Para isso será utilizado a Equação 2.

$$P_{FV} = P_{Mód.} \cdot x N_{Mód.}$$

Equação 2 – Potencia pico gerada.

Substituindo os valores na equação 2:

Projeto 1

$$P_{FV} = P_{Mód.} \cdot x N_{Mód.}$$

$$P_{FV} = 315 \times 300$$

$$P_{FV} = 94,5 \text{ kWp}$$

Projeto 2

$$P_{FV} = P_{Mód.} \cdot x N_{Mód.}$$

$$P_{FV} = 315 \times 170$$

$$P_{FV} = 53,5 \text{ kWp}$$

Baseado no valor de irradiação, média anual do total diária e na potencia de pico instalada é possível estimar a geração de energia elétrica diário. Substituindo os valores na Equação 3.

$$PFV = \frac{E \times G}{H_{TOT} \times PR} \quad E = \frac{PFV \times H_{TOT} \times PR}{G}$$

Equação 3 - Potência fotovoltaica dos módulos (kWp).

Onde:

**E** - energia demandada pelas cargas diariamente (kWh/dia);

**P<sub>FV</sub>** – Potência fotovoltaica dos módulos (kWp)

**G** – irradiância nas condições STC (1kW/m<sup>2</sup>);

**H<sub>TOT</sub>** - irradiação solar incidente no plano dos módulos FV (kWh/m<sup>2</sup>.dia);

**PR** é Taxa de Desempenho ou Performance Ratio do SFCR, tipicamente entre 70 e 80%.

Valores referente às características do Projeto 1:

$$E = \frac{P_{FV} \times H_{TOT} \times PR}{G} \quad E = \frac{94,5 \times 4,61 \times 0,75}{1} \quad E = 326,7 \text{ kWh/dia}$$

Valores encontrados para o projeto 2, a partir da equação xx3:

$$E = \frac{P_{FV} \times H_{TOT} \times PR}{G} \quad E = \frac{53,5 \times 4,83 \times 0,75}{1} \quad E = 193,8 \text{ kWh/dia}$$

Observando-se os valores gerados de energia elétrica diária média a partir dos dados característicos de cada projeto, agora será possível definir a melhor opção de projeto. Como a variação do índice de irradiação solar incidente no plano dos módulos fotovoltaicos foi pequena comparando-se o plano com desvio azimutal com plano com a correção do desvio azimutal, será utilizado o projeto1 para aplicação nesse trabalho, pois a quantidade de módulos a serem



instalado na mesma área será superior, gerando mais energia elétrica a cada dia.

Após a definição do modelo do projeto ser definido será dimensionado os equipamentos de condicionamento de potência, que no caso do SFVCR se restringe aos inversores para integração com a rede. A figura 18 demonstra de forma simplificada o SFVCR.

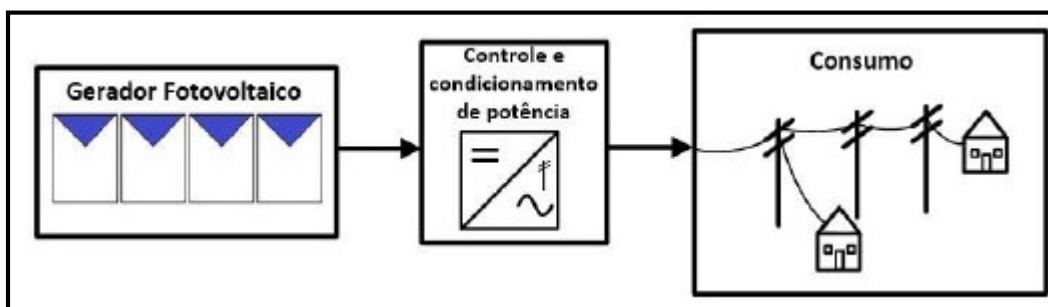


Figura 18 - Sistema Fotovoltaico, utilizando um medidor bidirecional

Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 29).

Foi pesquisado vários modelos de inversores entre esses modelos o SE7K Solaredge, por apresentar uma configuração de entrada, que facilita a instalação do sistema, foi escolhido esse modelo, sendo necessário 14 inversores cada um deles com potência de 7 kWp, isso para que não exceda a potência máxima gerada nos módulos. Toda descrição técnica e normas necessária para instalação segue na Tabela 07.

Tabela 07 - Dados para configuração dos inversores

solar <span style="color: red;">edge</span>		SolarEdge Three Phase Inverters									
		SE4K - SE17K									
	SE4K*	SE5K	SE7K	SE8K	SE9K	SE10K	SE12.5K	SE15K	SE16K	SE17K	
<b>OUTPUT</b>											
Rated AC Power Output	4000	5000	7000	8000	9000	10000	12500	15000	16000	17000	VA
Maximum AC Power Output	4000	5000	7000	8000	9000	10000	12500	15000	16000	17000	VA
AC Output Voltage - Line to Line / Line to Neutral (Nominal)	380 / 220 ; 400 / 230										Vac
AC Output Voltage - Line to Neutral Range	184 - 264.5										Vac
AC Frequency	50/60 ± 5										Hz
Maximum Continuous Output Current (per Phase)	6.5	8	11.5	13	14.5	16	20	23	25.5	26	A
Residual Current Detector / Residual Current Step Detector	300 / 30										mA
Grids Supported - Three Phase Utility Monitoring, Islanding Protection, Configurable Power Factor, Country Configurable Thresholds	3 / N / PE ; 230 / 400										V
	Yes										
<b>INPUT</b>											
Recommended Maximum DC Power** (Module STC)	5000	6250	8750	10000	11250	12500	15600	18750	20000	21250	W
Transformer-less, Ungrounded	Yes										
Maximum Input Voltage	900										Vdc
Nominal DC Input Voltage	750										Vdc
Maximum Input Current	7	8.5	12	13.5	15	16.5	21	22	23	23	Adc
Reverse-Polarity Protection	Yes										
Ground-Fault Isolation Detection	1MΩ Sensitivity										
Maximum Inverter Efficiency	98										%
European Weighted Efficiency	97.3	97.3	97.3	97.5	97.5	97.6	97.7	97.6	97.7	97.7	%
Nighttime Power Consumption	< 2.5										W
<b>ADDITIONAL FEATURES</b>											
Supported Communication Interfaces	RS485, RS232, Ethernet, Zigbee (optional)										
<b>STANDARD COMPLIANCE</b>											
Safety	IEC-62103 (EN50178), IEC-62109										
Grid Connection Standards	VDE 0126-1-1, VDE-AR-N-4105, AS-4777, RD-1663, DK 5940										
Emissions	IEC61000-6-2, IEC61000-6-3, IEC61000-3-11, IEC61000-3-12, FCC part15 class B										
RoHS	Yes										
<b>INSTALLATION SPECIFICATIONS</b>											
AC Output	Cable Gland - diameter 15-21										mm
DC Input	2 MC4 pairs										
Dimensions (HxWxD)	540 x 315 x 260										mm
Weight	33.2										kg
Operating Temperature Range	-20 - +60 (M40 version -40 - +60)										°C
Cooling	Fan (user replaceable)										
Noise	< 50										dB(A)
Protection Rating	IP65 - Outdoor and Indoor										

Fonte: Real watt (2015).

O arranjo SFVCR, será composto por 14 painéis, sendo cada um com 22 módulos, esses 22 módulos estarão ligados em *strings* de 11 módulos e cada painel a um inversor. Segue o diagrama unifilar na Figura 19.

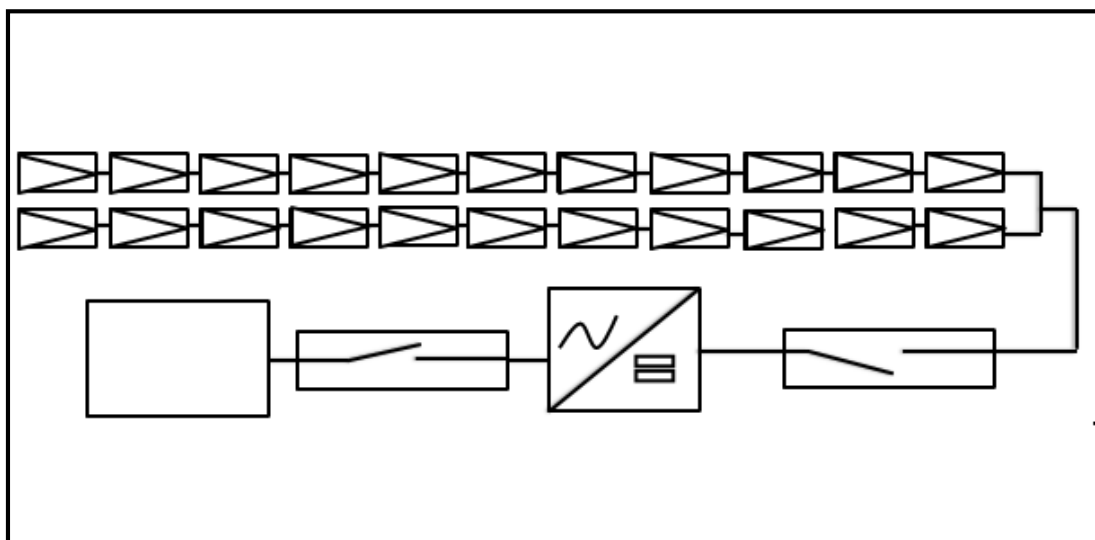


Figura 19 - Diagrama unifilar de um strings do sistema fotovoltaico

Fonte: Autor do estudo.

### 3.4 PREVISÕES DE GERAÇÃO DE ENERGIA E CUSTOS DO PROJETO DE ESTUDO DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA UFPR

Com a conclusão da etapa de dimensionamento agora será analisado os resultados do projeto, valores de energia gerados no sistema fotovoltaico, projetado no trabalho. A Tabela 08 evidencia os valores consumidos ao longo de um semestre, em comparação com a energia que poderia ser gerada com aplicação da tecnologia fotovoltaica, na planta do anexo H do Hospital de Clínicas mês a mês. Com este sistema de geração distribuída, seria possível uma economia aproximadamente de 25% do consumo mensal da planta, portanto se torna viável a implantação, tendo um custo de instalação de aproximadamente de R\$ 7,21 por Wp, com um total de aproximadamente de R\$ 682.000,00 mil reais. Com um período para retorno do investimento de dezessete anos. Esse valor pode ser confirmado analisando a tabela 08 retirado do trabalho Estudo de viabilidade econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia para diferentes regiões no estado do Paraná (TOYAMA *et al.*, 2014, p. 94).

Tabela 08 - Anos para retorno do investimento

Média	Região					
	A	B	C	D	E	F
1kWp	25	25	26	26	27	27
2kWp	23	24	24	25	25	26
3kWp	22	22	22	23	23	24
4kWp	21	21	22	22	23	23
5kWp	20	21	21	22	22	23
10kWp	19	19	20	20	21	21
10k-20kWp	18	19	19	20	20	21
20k-40kWp	18	18	19	19	20	20
40k-80kWp	18	18	19	19	20	20
80k-160kWp	18	18	18	19	19	20
160k-300kWp	17	18	18	19	19	20
300k-720kWp	17	17	18	18	19	19
720k-1000kWp	16	16	17	17	18	18

Fonte: Toyama *et al*, (2014, p. 94).



Figura 20 - Escala de cores para anos de retorno

Fonte: Toyama *et al*, (2014, p. 94).

Na Tabela 09 foi possível comparar os valores de consumo em kWh mês, entregue, utilizando os valores de irradiação mês a mês com ajuda do Radasol no qual foi inseridos os dados, do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al*, 2006,).

**Tabela 09 - Valores de consumo registrado pela distribuidora de energia em comparação, com a potência gerada no projeto do sistema fotovoltaico**

Período analisado (mês).	Consumo Copel kwh/mês.	Potência gerada no Sist. Fotovoltaico kWh/dia.	Potência gerada no Sist. Fotovoltaico kWh/mês.
Dez/14	42.547,00	402,57	12.077,10
Jan/15	43.886,00	389,10	11.673,11
Fev/15	45.907,00	384,85	11.545,54
Mar/15	42.268,00	372,09	11.162,81
Abr/15	37.606,00	319,65	9.589,39
Mai/15	39.079,00	265,78	7.973,44

Fonte: Autor do projeto.

Os valores orçados para a instalação do SFVCR, do Projeto 1 estão listados na Tabela 10, esses valores podem sofrer variações em decorrência do cambio, por serem importados.

**Tabela 10 - Levantamento de custo para implantação do SFVCR**

Descrição	Quantidade	Preço unitário	Subtotal R\$
Módulos fotovoltaicos JAP 6	300	R\$980,00	R\$294.000,00
Inversores SE7K	10	R\$5.600,00	R\$78.400,00
Custo de instalação e estrutura de fixação			R\$309.800,00
Total			R\$682.200,00

Fonte: Autor do projeto.

Dedução do valor de custo de cada kWp, segundo o site, Portal Solar (2015).

Custo= Valor do custo de implantação/Pot. Inst.(kWp).

Custo = R\$ 682.200,00/94,5kWp.

Custo = R\$ 7.219,00 por kWp.

## 4 CONCLUSÃO

Analisando o aumento do consumo da energia elétrica no Brasil, para o uso doméstico, comercial e industrial, as fontes de energia renováveis se tornam cada vez mais necessárias para completar a matriz energética brasileira.

As fontes alternativas como Solar, eólica e Biomassa começam ser necessárias e viáveis para complementação da matriz energética, pois com as projeções de 49% de aumento do consumo de energia elétrica no Brasil até 2023, segundo Plano Decenal de Expansão de Energia.

Tendo em vista os reajustes futuros das tarifas de energia elétrica. Os sistemas fotovoltaicos se tornam economicamente viáveis, sendo que o período de retorno do investimento tende a cair com o aumento da potência instalada e com o desenvolvimento tecnológico.

O Brasil possui excelentes características físicas para implantação dessas novas fontes de energia renováveis. Razão esta que a instalação deste projeto torna-se viável para geração de energia elétrica. É o que foi comprovado através dos cálculos e planilhas deste estudo de caso. O projeto trás uma alternativa para suprir o crescimento do consumo de energia elétrica do Anexo H do HC, tendo como base a geração distribuída em construções hospitalares já existentes.

O trabalho apresentou duas opções de instalação dos módulos fotovoltaicos, pois a área disponível para implantação do projeto possui um desvio azimutal em relação ao norte, esse por sua vez poderia trazer algumas perdas na geração de energia, pois os módulos devem sempre que possível ser orientados para o norte com uma inclinação correspondente a latitude do local, para que tenham um melhor aproveitamento da irradiância diária.

No projeto 1 os módulos foram alinhados acompanhado o alinhamento do telhado, ou seja, possui desvio azimutal, nessa configuração os módulos devem estar com uma inclinação levemente inferior, pois dessa forma o aproveitamento é maior. Utilizando o programa Radiasol da UFRGS, no qual foi possível simular a irradiação no local, Anexo H do HC, possibilitando inserção dos valores de irradiação do banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia

Solar (PEREIRA *et al.*, 2006), do desvio azimutal e inclinação dos módulos, nos fornecendo os valores de irradiação anual levando em conta o desvio azimutal. O número de módulos máximo de módulos que seria possível de serem instalados no projeto 1 seria de 300 módulos com a configuração descrita na figura 10.

No projeto 2 os módulos foram alinhados de forma a ser corrigido o desvio azimutal, ou seja em relação ao alinhamento do telhado eles estão deslocados 24º para oeste, nesta configuração os módulos teriam que estar com uma distância mínima um do outro para não haver sombreamento, e inclinados 24º, neste caso o posicionamento dos módulos seriam ideais mas o número de módulos reduziram em aproximadamente 40%. Com ajuda novamente do Radiasol, foi encontrada as médias mensal e anual.

Após a análise dos projetos 1 e 2 foi possível definir de forma técnica a melhor opção, a ser implantada. O valor de irradiação dos projetos foram similares, foi constatado que o desvio azimutal desse caso altera pouco a irradiação, mas o número de módulos do projeto 1 foi superior, por causa da disposição dos módulos, o que levou a uma geração maior de energia e a sua escolha.

Os valores de retorno de investimentos alcançaram as médias de outros estudos, de 18 anos para a potência de 94 kWp. Sendo necessário um valor de R\$ 682.200,00 para toda a implantação.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de Abril de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia\\_eolica\(3\)](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3))> Acesso em: 25/11/2015b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap3.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf)> Acesso em: 25/11/2015a.

BRAGA, Renata Pereira; **Energia solar fotovoltaica fundamentos e aplicações**. 2008 TCC para Eng. Elétrica Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008. p.2 e p3.

CARDOSO, Bruno Monteiro; **Uso da biomassa como alternativa energética**. 2012. TCC para Eng. Elétrica Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012. p8 – p36.

CARNEIRO, Joaquim; **Semicondutor - modelo matemático da célula fotovoltaica**; Mestrado integrado em engenharia civil Universidade do Minho Portugal, 2010. p.19-21.

ELETRONICA. Disponível em: <<http://www.electronica-pt.com>> Acesso em: 25/11/2015.

FALCÃO, Vivieni Denise; **Fabricação de células solares Cds/CdTe**. Dissertação de (Mestrado). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro – RJ. 2005. p.29.

HONORATO, Fernanda Pelegrini Proença. **Tecnologia para texturização hemisférica Suave de células solares fotovoltaicas**. Honorato Proença. – Belo Horizonte: Escola de Engenharia, 2007.

<http://www.real-watt.com.br/pdf/260-265.pdf> Acesso em 10/03/2015

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. Disponível em: <<http://www.ifsc.usp.br>> Acesso em: 25/11/2015.

JASOLAR, **JAP6 Módulo de Silício Policristalino**, Disponível em:

JASOLAR. Disponível em <[www.jasolar.com/](http://www.jasolar.com/)>. Acesso em 20/05/2015.

KASTRUP, Luiz F.C; 2006. 117 f. **Tecnologia de geração energia limpa a serviço da promoção da saúde**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Saúde Publica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2006.

MALVINO, Albert Paul. **Semicondutores**, Eletrônica básica. Editora Pearson. 2009.cap 2 .p.9 a p.19



MONTÓIA, Paulo: <http://www.planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/conteúdo/394303>

NASCIMENTO, Cassio Araújo do; **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**; Monografia Universidade Federal de Lavras, Lavras Minas Gerais, 2004.p.

OLIVEIRA, Hallyson E; **Tecnologia fotovoltaica em filmes finos (películas delgadas)**, 2008. 46 f. Monografia (Especialização). Departamento de Engenharia da Universidade de Lavras. Lavras-MG, 2008.

PACHECO, FERNANDA: **Conjuntura e Planejamento**, Salvador: SEI, n.149, [http://www.ieham.org/html/docs/Conceitos\\_Energias\\_renováveis.pdf](http://www.ieham.org/html/docs/Conceitos_Energias_renováveis.pdf)

PAINES FOTOVOLTAICOS. Disponível em: <http://www.painisfotovoltaicos.com/policristalinos.php> Acesso em: 2

PATTERSON, W. NATURE. Fifty years of hopes and fears. October. p. 664, 2007.

PINHO, João Tavares e GALDINO, Marco Antonio; **Manual engenharia para sistemas fotovoltaicos**: Grupo de Estudos Trabalho de energia Solar – GETS – CEPEL – DTE – CECRESBEp128, 2007.

PORTAL SOLAR, **Quanto Custa A Energia Fotovoltaica No Brasil**, Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html> Acesso em: 27/11/2015

PRGRAMA GOOGLE EARTH. Disponível em <http://https://www.google.com/earth/>. Acesso em 18/05/2015.

REAL SOLAR. Disponível em <http://www.real-solar.com/>. Acesso em 20/05/2015.

REAL WATT. Disponível em <http://www.real-watt.com.br/inversores.php>. Acesso em 20/05/2015.

RECOPE. Disponível em: <http://www.recope.go.cr/petróleo> Acesso em: 25/11/2015

RÜTHER, Ricardo; **Edifícios solares fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**, 1ª edição. 114 f. Editora UFSC/ Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC 2004.

SILVA, Alex de Lima e; **Protótipo de um sistema fotovoltaico auxiliar com armazenamento de energia elétrica**, 2014. Dissertação (Mestrado). Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento/ Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba-PR, 2014.

SOLENERG ENGENHARIA E COMÉRCIO LTDA – Disponível em: <[www.solenerg.com.br/conceitos](http://www.solenerg.com.br/conceitos)>. Acesso em: 10maio 2015.

TELECOMUNICAÇÕES, Programa de Educação Tutorial Engenharia de :**Tutorial de célula solar**. Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ Março / 2008.p.3-6. Disponível em: [www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/energias/TutPetTeleCelSol.pdf](http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/energias/TutPetTeleCelSol.pdf)

TOYAMA Alain Heizo *et al*; **Estudo de viabilidade econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados á rede elétrica de energia para diferentes regiões do estado do Paraná**, 2014. Trabalho de conclusão de curso de graduação de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba PR.

UFPR - **Revista do hospital 50 anos**. Agosto de 2010.p.16

URBANETZ JUNIOR, JAIR, **Apostila do curso de especialização em energia renováveis da UTFPR**. 2014. p.8 – 12.

URBANETZ JUNIOR, JAIR, **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas [tese]: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010.

VILLALVA, Marcelo G; Gazoli, Jonas R; **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1º edição. 224 f. Editora Érica. São Paulo-SP 2012.