

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

DIONI ALEX BRANDT

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
REDUÇÃO DO CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO
PAINEL FOTOVOLTAICO EM UMA UNIDADE ESCOLAR NA REGIÃO
DE CURITIBA.**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2016

DIONI ALEX BRANDT

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
REDUÇÃO DO CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO
PAINEL FOTOVOLTAICO EM UMA UNIDADE ESCOLAR NA REGIÃO
DE CURITIBA**

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
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

DIONI ALEX BRANDT

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA REDUÇÃO DO CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO PAINEL FOTOVOLTAICO EM UMA UNIDADE ESCOLAR NA REGIÃO DE CURITIBA

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 27 de outubro de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi argüido 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. Carlos Henrique Karan Salata
UTFPR

Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo
UTFPR

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo por ter me concedido mais uma conquista.

Ao Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior, pelo empenho e atenção na orientação desta pesquisa.

Agradeço também a minha esposa Raquel, pelo incentivo e ajuda na correção deste trabalho.

Meus agradecimentos também para a Instituição Adventista Sul Brasileira de Educação, pelo incentivo financeiro em realizar este curso.

“A Natureza revela-se como força
potentíssima, majestade inesgotável de
energias que usa de grande variedade na
sua ordem e na criação das coisas.”
(Duarte Pacheco)

RESUMO

BRANDT, Alex, Dioni. **Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica para Redução do Custo de Energia Elétrica Utilizando Painel Fotovoltaico em uma Unidade Escolar na Região de Curitiba**. 2016. 64f. Monografia – Energias Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Curitiba, 2016.

Com a crescente necessidade de utilizar fontes renováveis para produção de energia, o sol tem se tornado um dos grandes aliados de instituições públicas e privadas que procuram unir economia à preocupação com o meio ambiente. Por isso, este trabalho propõe a implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para geração de energia em uma unidade de ensino de São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba. O sistema será capaz de produzir até 50% da eletricidade média consumida no local com base na regulamentação 482 da ANEEL, que trata da geração distribuída por fonte solar. Além disso, os dimensionamentos realizados neste trabalho mostram a viabilidade técnica e econômica do projeto. A pesquisa terá caráter científico, aplicado (estudo de caso), bibliográfico e pesquisa de campo.

Palavras chave: Painéis Fotovoltaicos. Geração de Energia. Sistema Conectado à Rede Elétrica.

ABSTRACT

BRANDT, Alex, Dioni. **Study the Technical and Economic Feasibility for the Reduction of the Electric Energy Cost Using Photovoltaic Panel in a School Unit in Curitiba to Region.** 2016. 64f. Monografia – Energias Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Curitiba, 2016.

With the growing need for renewable sources for energy, the sun has become one of the major allies of public and private institutions seeking to unite economy to concern for the environment. Therefore, this paper proposes the implementation of a Photovoltaic System Connected to the Network for power generation in a teaching unit in São José dos Pinhais, metropolitan region of Curitiba. The system will be capable of producing up to 50% of the middle electricity consumed on site based on regulation 482 of ANEEL, which deals with the distributed generation by solar source. In addition, the sizing performed in this study show the technical and economic feasibility of the project. The research will have scientific character, applied (study of case), bibliographic and field.

Keywords: Photovoltaic panels. Power generation. System Connected to Grid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração de um sistema solar de aquecimento de água	20
Figura 2 - Ilustração de plantas de concentradores parabólicos	21
Figura 3 - Componentes da Radiação Solar	23
Figura 4 - Efeito Fotovoltaico Junção PN	24
Figura 5 - Modulo de Silício monocristalino e policristalino	26
Figura 6 - Célula solar de telureto de cádmio (CdTe).....	27
Figura 7- Célula solar de disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS).....	28
Figura 8 - Sistema fotovoltaico isolado em comunidades distantes	30
Figura 9 - Sistema fotovoltaico isolado.....	30
Figura 10 - Sistema fotovoltaico conectado à rede	31
Figura 11 - Sistema fotovoltaico integrado a edificação	33
Figura 12 - Sistema de compensação	34
Figura 13 - Localização da Unidade Escolar	39
Figura 14 - Telhados selecionados	39
Figura 15 - Pontos de medição de irradiação do projeto SWERA.....	41
Figura 16 - Interface do programa Radasol com os dados inseridos	42
Figura 17 - Desvio Azimutal dos planos de telhado	42
Figura 18 - Resultados Obtidos no Radasol para área 1.....	43
Figura 19 - Resultados Obtidos no Radasol para área 2.....	44
Figura 20 - Disposição dos painéis fotovoltaicos para a unidade escolar	52
Figura 21–Arranjo básico para disposição de cada painel	53
Figura 22 - Rendimento de um determinado investimento no período de um ano	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos sistemas fotovoltaicos	29
Tabela 2 - Histórico de consumo	37
Tabela 3 - Histórico de faturamento	38
Tabela 4 - Irradiação global (kWh/m ² .dia)	41
Tabela 5 - Resultados obtidos no Radiasol para as superfícies em estudo	44
Tabela 6 - Energia mensal e diária consumida na instituição.....	45
Tabela 7 - Especificações Gerais do Modulo Selecionado	47
Tabela 8 - Especificações Técnicas do inversor Selecionado.....	49
Tabela 9 - Energia Gerada x Energia Consumida	55
Tabela 10 - Crescimento da tarifa energética dos últimos 15 anos da concessionária Copel.....	57
Tabela 11 - Cálculo do payback simples e descontado para SFVCR	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultados Obtidos no Radasol para as superfícies em estudo.....	45
Gráfico 2 - Custos estimados de implantação de um SFVCR.....	54
Gráfico 3 - Energia Gerada x Energia Consumida	55

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BCB - Banco Central do Brasil

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

COPEL - Companhia Paranaense de Energia Elétrica

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

DIF - Irradiação Difusa Horizontal

DNI - Irradiação Normal Direta

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FIEP - Federação das Indústrias do Estado do Paraná

GHI - Irradiação Global Horizontal

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

NBR - Norma Brasileira

PIS - Programa de Integração Social

SFIE - Sistema Fotovoltaico Integrado a Edificação

SFV - Sistema Fotovoltaico

SFVCR - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SFVI - Sistema Fotovoltaico Isolado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA	12
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	13
1.3	PROBLEMAS E PREMISSAS.....	14
1.4	OBJETIVOS	14
1.4.1	Objetivo geral.....	14
1.4.2	Objetivos específicos.....	14
1.5	JUSTIFICATIVA	15
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	18
2.1	ENERGIA SOLAR E SEU APROVEITAMENTO	18
2.2	FORMAS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR	19
2.2.1	Aproveitamento térmico	19
2.2.2	Aproveitamento por conversão direta da radiação solar para energia elétrica 22	
2.3	CONCEITOS BÁSICOS DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA	23
2.3.1	Tipos de Células Fotovoltaicas	24
2.3.2	Sistemas Fotovoltaicos (SFV).....	28
2.3.3	Resolução Normativa N° 482.....	33
2.3.4	Análise financeira de um Sistema Fotovoltaico	35
3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE 36	
3.1	INFORMAÇÕES E LEVANTAMENTO DE CONSUMO DO CASO DE ESTUDO.....	36
3.2	DADOS DA IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO DO PAINEL FOTOVOLTAICO.....	38
4	ANÁLISE FINANCEIRA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE 54	
4.1	ESTIMATIVAS DO VALOR DE INVESTIMENTO	54
4.3	ESTIMATIVA DO PERÍODO DE RETORNO DO INVESTIMENTO	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

Nesta seção estão enumerados por ordem o tema, a delimitação do tema, o problema e suas premissas, os objetivos, a justificativa, a metodologia, o embasamento teórico e, por último a estrutura do trabalho descrevendo o assunto de cada capítulo previsto.

1.1 TEMA

De acordo com um levantamento feito pela Federação das Indústrias do Paraná (FIEP), a busca pela redução da conta de energia elétrica tem sido uma das preocupações das empresas no estado (AGÊNCIA FIEP, 2015). Olhando para o panorama mundial, o aumento do consumo de eletricidade está três vezes maior comparado ao início da Revolução Industrial e pesquisas atuais estimam uma tendência de aumento da demanda energética em resultado do avanço econômico dos países em desenvolvimento (PEREIRA *et al.*, 2006).

Além disso, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a demanda por energia crescerá 5,2% ao ano até 2024, o que mostra um cenário nada favorável para a queda das tarifas cobradas atualmente (EPE, 2015)

Para atenuar o uso de eletricidade vinda da concessionária e, conseqüentemente, o custo da energia elétrica consumida, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou a resolução normativa 482 no ano de 2012 com regras que incentivam a microgeração e minigeração de eletricidade usando painéis solares ou mini geradores eólicos instalados diretamente na rede elétrica do prédio(ANEEL - RN 482, 2012). A forma que tem se mostrado uma alternativa para os consumidores é o sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (URBANETZ JR, 2010).

De acordo com Rüter (2004), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede consistem em uma maneira de geração distribuída, ou seja, colaboram produzindo energia no ponto de consumo, diminuindo as perdas ocasionadas pela transmissão e distribuição. Outra vantagem desse sistema é o fato de dispensar o armazenamento de energia em banco de baterias, pois a potência obtida é consumida diretamente pelas cargas locais e o excedente é absorvido pela rede elétrica. Assim, a eletricidade é disponibilizada para outros consumidores,

permitindo a redução da geração pelas fontes convencionais de energia, principalmente as usinas hidrelétricas e térmicas usadas no Brasil (RÜTHER, 2004).

Vale ressaltar também que o sistema fotovoltaico trata-se da transformação de energia proveniente da luz do sol em energia elétrica. Isso acontece por meio do uso de células fotossensíveis que, juntas, formam o painel solar fotovoltaico. Esses painéis funcionam automaticamente, possuem taxa de manutenção baixa e não necessitam da incidência perpendicular do feixe luminoso para converter a luz solar em energia elétrica (RÜTHER, 2004). Em outras palavras, ainda que o dia não esteja ensolarado, o sistema produzirá eletricidade, porém, com menor rendimento (RÜTHER, 2004).

Segundo, Nakabayashi (2014) esta tecnologia tem se tornado mais atrativa para o brasileiro, que percebe quedas nos valores de implantação do sistema ao mesmo tempo em que se depara com a elevação dos custos das fontes convencionais.

O Brasil é abundante em recurso solar e, na maioria das cidades já ocorre a chamada paridade tarifária, graças à equiparação de custos entre a energia elétrica gerada por sistemas fotovoltaicos e a tarifa de energia elétrica convencional. As condições para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica estão cada vez mais favoráveis, visto que a energia solar fotovoltaica apresenta uma trajetória de custos decrescentes ano após ano e, ao mesmo tempo, a energia elétrica gerada pelas fontes convencionais apresenta uma trajetória de custos crescentes. (NAKABAYASHI, 2014, p.15)

Por muito tempo o custo elevado desta tecnologia afastou os investidores, e somente agora o cenário está mudando. Com isso, a energia solar fotovoltaica vem ganhando competitividade econômica em relação às outras fontes, pois seu custo depende basicamente da irradiação solar disponível, desempenho e custo da tecnologia (NAKABAYASHI, 2014).

Assim, este estudo tratará da viabilidade do uso de energia elétrica proveniente de um sistema fotovoltaico interligado à rede da concessionária para redução do custo energético predial.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Diante das informações apresentadas, é possível verificar a possibilidade de investimento em sistemas de produção própria de energia elétrica por meio da microgeração distribuída por painéis solares. Sendo assim, esse trabalho se delimitará ao estudo da viabilidade técnica e econômica para redução do custo de

energia elétrica, utilizando sistema fotovoltaico conectado à rede em uma unidade escolar na região de Curitiba.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

O principal problema encontrado para o desenvolvimento deste estudo é o alto custo de energia gasto na unidade escolar e a falta de uma alternativa de geração própria que seja viável tecnicamente e economicamente para implantação na unidade escolar.

Em decorrência deste problema, a instituição de ensino precisa diminuir seus custos energéticos, mas precisa tomar a decisão correta a respeito de investir, ou não, em um sistema de microgeração de energia próprio utilizando painéis solares fotovoltaicos.

Logo, tem-se a seguinte pergunta de pesquisa: É viável a implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) numa instituição de ensino para auxiliar na redução do custo de energia elétrica?

Possivelmente haja viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Portanto, este trabalho propõe o uso desse sistema com a utilização de painéis solares para geração de energia própria de forma que reduza a energia vinda da concessionária.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Desenvolver um estudo técnico e econômico sobre um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica em uma unidade escolar, buscando a diminuição do custo com energia elétrica proveniente da concessionária.

1.4.2 Objetivos específicos

- Levantar os dados documentais do consumo de energia da unidade escolar no último ano, como faturas, tipo de contrato realizado com a concessionária de energia, entre outras;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico adequado à necessidade da unidade escolar, suprimindo até 50% da sua necessidade energética anual;

- Verificar a viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema fotovoltaico dimensionado.

1.5 JUSTIFICATIVA

O tema do estudo foi escolhido visando aumentar a possibilidade de investimentos em geração de energia própria por meio da microgeração de energia proveniente de fontes limpas. Na maioria das vezes, quando se pensa em uma fonte alternativa de autogeração de energia em escolas, hospitais, supermercados e outros estabelecimentos, o que vem à mente é o uso de geradores a diesel ou a gás como possibilidades mais acessíveis. No entanto, elas usam combustíveis fósseis e acabam contribuindo na emissão de gases causadores do efeito estufa.

Por isso, a energia solar obtida por meio de painéis fotovoltaicos, que é uma fonte de energia renovável, torna-se uma alternativa para quem pretende diminuir o uso de eletricidade proveniente das fontes comuns (NAKABAYASHI, 2014). Os painéis solares fotovoltaicos para a geração de energia elétrica também são instalados facilmente, o que reduz o tempo para implantação do sistema (RUTHER, 2004).

Dentre as formas de sistemas fotovoltaicos destaca-se o sistema conectado à rede, no qual a energia elétrica gerada é injetada na rede elétrica pública. Entre suas características estão a alta produtividade e o fato de se desconectar automaticamente quando ocorre alguma falha, evitando o efeito do ilhamento. No entanto, assim que a rede elétrica for restabelecida, ele voltará a operar automaticamente (URBANETZ JR, 2010).

Outro sistema de destaque é o fotovoltaico aplicado à edificação, que dispensa a criação de novos espaços para sua instalação ao ser aplicado em construções já existentes como telhados ou fachadas. Esse sistema faz parte de uma categoria relativamente nova no Brasil, mas já é comum em vários países do mundo que o utilizam não apenas como fontes de energia, mas como elementos de sombreamento e diferencial arquitetônico da própria construção. Além disso, sua grande vantagem reside no fato de que a energia gerada pode ser totalmente usada na edificação, reduzindo perdas com transmissão e distribuição, além de diminuir o consumo de energia proveniente da rede da concessionária (PINHO; GALDINO, 2014).

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa tem caráter científico, aplicado (estudo de caso), bibliográfico e pesquisa de campo. Os autores usados como apoio são Nakabayashi, Rütther, Urbanetz, Montenegro e Pereira. Além deles, também são usados como apoio para o estudo centros de pesquisas e órgãos como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Primeiramente são apresentadas informações sobre a unidade de ensino e seu consumo energético, usando faturas de energia e contratos de demanda energética feitos com a concessionária. Em seguida, são consultados livros, artigos, internet, normas, dissertações e teses. Essas fontes dão embasamento para o estudo prático.

Com esses dados em mãos e consulta às fontes, foi realizado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede para o caso de estudo, que é uma unidade de ensino, avaliando sua viabilidade técnica.

Por último, este trabalho realiza um estudo financeiro para analisar a viabilidade de implantação do sistema na unidade de ensino. O resultado financeiro é avaliado com base nos dados apresentados através do *Payback* (período de retorno do investimento), que, por sua vez, é baseado nos dados obtidos durante a pesquisa em campo e cálculos de dimensionamento.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos. No primeiro está a Introdução seguida pela apresentação do tema, problemas, objetivos e metodologia da pesquisa.

Já no capítulo dois é apresentado o embasamento teórico para a pesquisa.

No terceiro capítulo estão os dados coletados em campo que são utilizados para desenvolvimento do estudo. Ele também apresenta o dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede para a unidade escolar e a análise da viabilidade técnica de instalação do sistema.

Em seguida, no quarto capítulo, o método conhecido como *PAYBACK* (período de retorno do investimento) é utilizado para analisar a viabilidade financeira do sistema fotovoltaico.

Para encerrar, no último capítulo estão as considerações finais que demonstram a análise do autor em relação aos resultados obtidos em toda a pesquisa, seguida pelas referências.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 ENERGIA SOLAR E SEU APROVEITAMENTO

A energia gerada pelo sol é abundante e inesgotável em nossa dimensão de tempo, além de ser uma fonte interminável de calor e luz. Para se ter uma ideia do que isso significa, o planeta é inundado anualmente com aproximadamente $1,5 \times 10^9$ TWh de energia solar, quantidade que seria suficiente para sustentar a demanda energética atual por cerca de 76 anos¹ se fosse possível armazenar 100% dela. Além disso, o sol é o responsável pela manutenção da vida terrestre e torna possível a geração de muitas outras fontes de energia que se derivam de sua existência (CRESESB, 2004).

De acordo com Urbanetz (2010), radiação solar é a forma de transferência de energia advinda do sol através da propagação de ondas eletromagnéticas. Este astro está localizado aproximadamente 150.000.000 km distante da Terra, e a intensidade da radiação emitida por ele depende da distância em que se encontra. A intensidade média ao atingir a camada externa da atmosfera é conhecida como “constante solar” (G_{AMO}), e é igual a 1.366 W/m^2 . Já na superfície terrestre a intensidade de radiação máxima (G_{HOR}) é cerca de 1.000 W/m^2 .

Segundo Lima (2003), a radiação solar é a maior fonte de energia para a Terra, sendo também a principal responsável pelas variações meteorológicas, pois afeta todos os outros elementos (temperatura, pressão, vento, chuva, umidade, entre outros). A energia solar também é a fonte primária de energia para todos os processos terrestres, desde a fotossíntese, responsável pela produção vegetal e manutenção da vida na presente forma, até o desenvolvimento de furacões e tempestades. Além de sua importância em Meteorologia, a energia radiante do sol ainda é um elemento fundamental em estudos ecológicos e de disponibilidade energética, pois a maior parte da energia disponível na Terra tem origem na radiação solar.

¹ Segundo o anuário de energia elétrica de 2015 (EPE, 2015), o consumo energético global é cerca de 19.710 TWh/ano.

Lima também ressalta que as informações a respeito da radiação solar global têm vastas aplicações em diferentes atividades como a agricultura, arquitetura, hidrologia, meteorologia, biologia e muitas outras (LIMA, 2003).

No entanto, a lista não acaba aí, pois a radiação solar também pode ser utilizada como fonte de energia térmica para aquecimento de fluidos, ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Inclusive, a radiação solar sobre determinados materiais pode ser usada para conversão direta de energia elétrica, com destaque para o termoelétrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2005).

2.2 FORMAS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

2.2.1 Aproveitamento térmico

A energia luminosa proveniente do sol pode ser usada para aquecimento de água, ou seja, fluido. Neste caso, o sistema funciona recebendo a radiação solar em uma placa coletora e transferindo esse calor para a água, que é armazenada no reservatório térmico (RÍSPOLI, 2008).

A transferência de calor solar para um volume de água anteriormente isolado por diferença de densidades usando um coletor solar aquecido é uma técnica utilizada há mais de cem anos. Em 1980, por exemplo, a França já utilizava aquecedores de água movidos a energia solar, semelhantes aos atuais (RÍSPOLI, 2001).

Os aquecedores solares domésticos e seu uso em grandes empreendimentos, tem sido largamente empregados na atualidade para produção de energia térmica solar a baixas temperaturas, esse assunto têm sido objeto de várias pesquisas e estudos desde a década de 1950(RÍSPOLI, 2001).

Para simplificar, as placas termossolares captam a energia solar e aquecem a água enquanto o boiler armazena essa água aquecida, conservando sua temperatura até o momento do consumo. Enquanto isso acontece, a caixa de água fria normal da residência tem a função de alimentar o reservatório térmico do aquecedor solar, mantendo-o sempre cheio. A Figura 1 exemplifica este tipo de sistema.

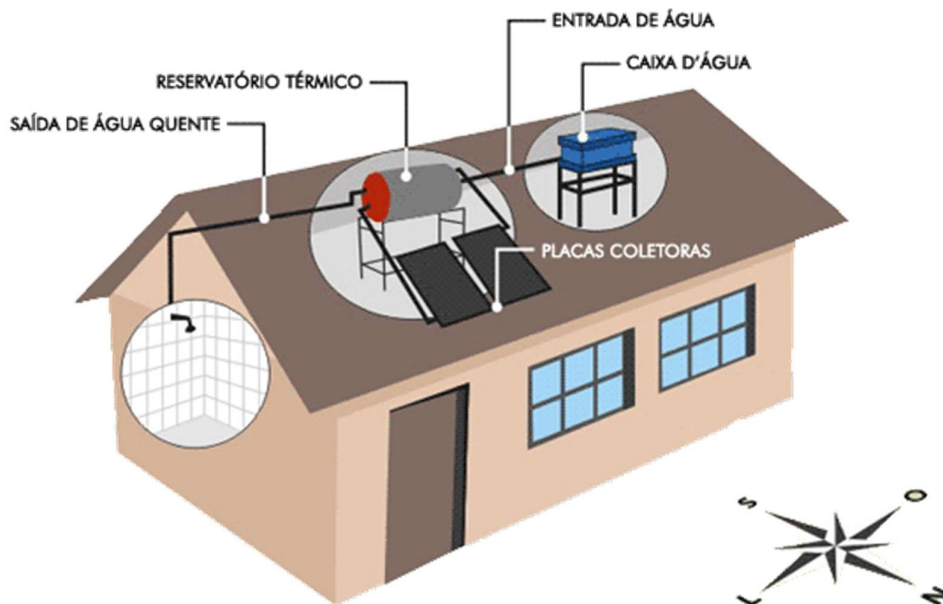


Figura 1 - Ilustração de um sistema solar de aquecimento de água

Fonte: Marsolenergia, 2016

Esse reservatório térmico é como uma caixa de água especial que mantém quente a água armazenada no aquecedor solar. Quando os raios solares atravessam o vidro da tampa do coletor, eles esquentam a tubulação, ou seja, os canos de cobre ou alumínio pintados de cor escura que existem dentro do coletor e que também são conhecidos como aletas. O calor passa, então, das paredes dessa tubulação para a água que está dentro dela. Assim, por meio da troca de calor, a água esquenta e segue para o reservatório do aquecedor solar (MIYAZOTO, 2012).

Outra forma térmica de aproveitamento é feita com concentrador solar conforme é mostrado na Figura 2. Geralmente são sistemas que operam em alta temperatura, pois, dependem da produção de vapor para movimentar as pás de uma turbina acoplada a um gerador elétrico.

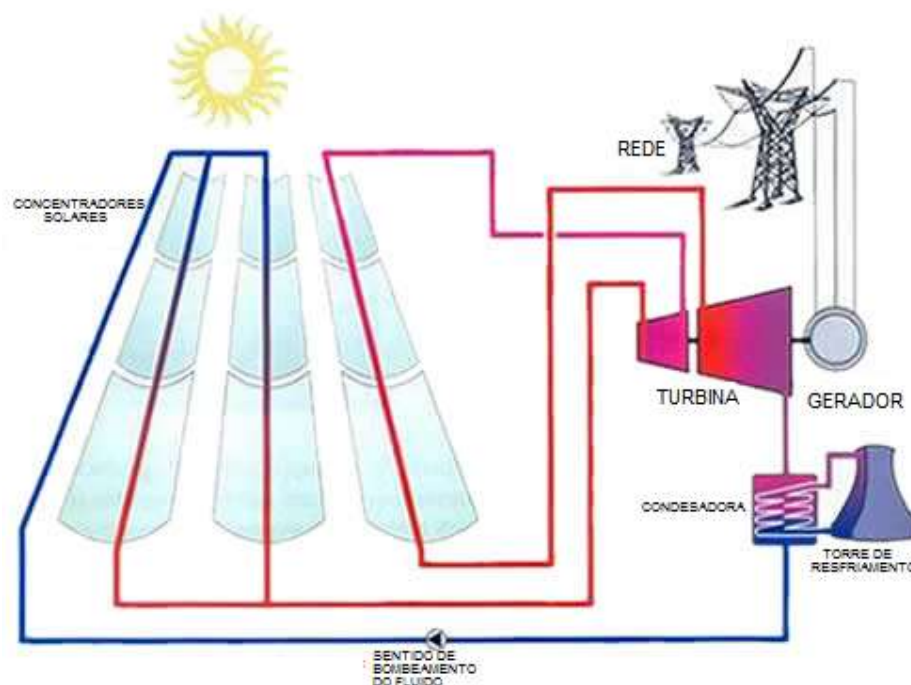


Figura 2 - Ilustração de plantas de concentradores parabólicos

Fonte: Focusolar, 2016

O aproveitamento da energia solar aplicado a sistemas que requerem temperaturas mais elevadas ocorre por meio de concentradores solares, cuja finalidade é captar a energia solar incidente em uma área relativamente grande e concentrá-la em uma área muito menor, de modo que a temperatura desta última aumente substancialmente. A superfície refletora dos concentradores tem forma parabólica ou esférica, de modo que os raios solares que nela incidem sejam refletidos para uma superfície bem menor, denominada foco, onde se localiza o material a ser aquecido. Os sistemas parabólicos de alta concentração atingem temperaturas bastante elevadas e índices de eficiência que variam de 14% a 22% de aproveitamento da energia solar incidente, podendo ser utilizada para a geração de vapor e, conseqüentemente, de energia elétrica. Contudo, a necessidade de focalizar a luz solar sobre uma pequena área exige algum dispositivo de orientação, acarretando custos adicionais ao sistema, os quais tendem a ser minimizados em sistemas de grande porte (ANEEL, 2005).

2.2.2 Aproveitamento por conversão direta da radiação solar para energia elétrica

A conversão direta da radiação solar para energia elétrica pode ser obtida por meio de efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro se caracteriza pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, quando tal junção está a uma temperatura mais elevada do que as outras extremidades dos fios. Embora muito empregado na construção de medidores de temperatura, seu uso comercial para a geração de eletricidade tem sido impossibilitado pelos baixos rendimentos obtidos e pelos custos elevados dos materiais (ANEEL, 2005).

Já o efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre esses materiais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica (GREEN *et al.*, 2000).

Embora a atmosfera seja muito transparente à radiação solar incidente, somente em torno de 25% penetra diretamente na superfície da Terra sem nenhuma interferência da atmosfera, constituindo a radiação direta. O restante é ou refletido de volta para o espaço ou absorvido ou espalhado em volta até atingir a superfície da Terra ou retornar ao espaço. O que determina se a radiação será absorvida, espalhada ou refletida depende em grande parte do comprimento de onda da energia que está sendo transportada, assim como do tamanho e natureza do material que intervém (EPE, 2012).

Para o aproveitamento fotovoltaico, a de maior interesse é a Irradiação Global Horizontal (GHI), que quantifica a radiação recebida por uma superfície plana horizontal, composta pela Irradiação Difusa Horizontal (DIF) e pela Irradiação Normal Direta (DNI), representadas na Figura 3. Em dias nublados, a principal parcela é a DIF, enquanto que em dias claros prevalece a DNI (EPE, 2012).

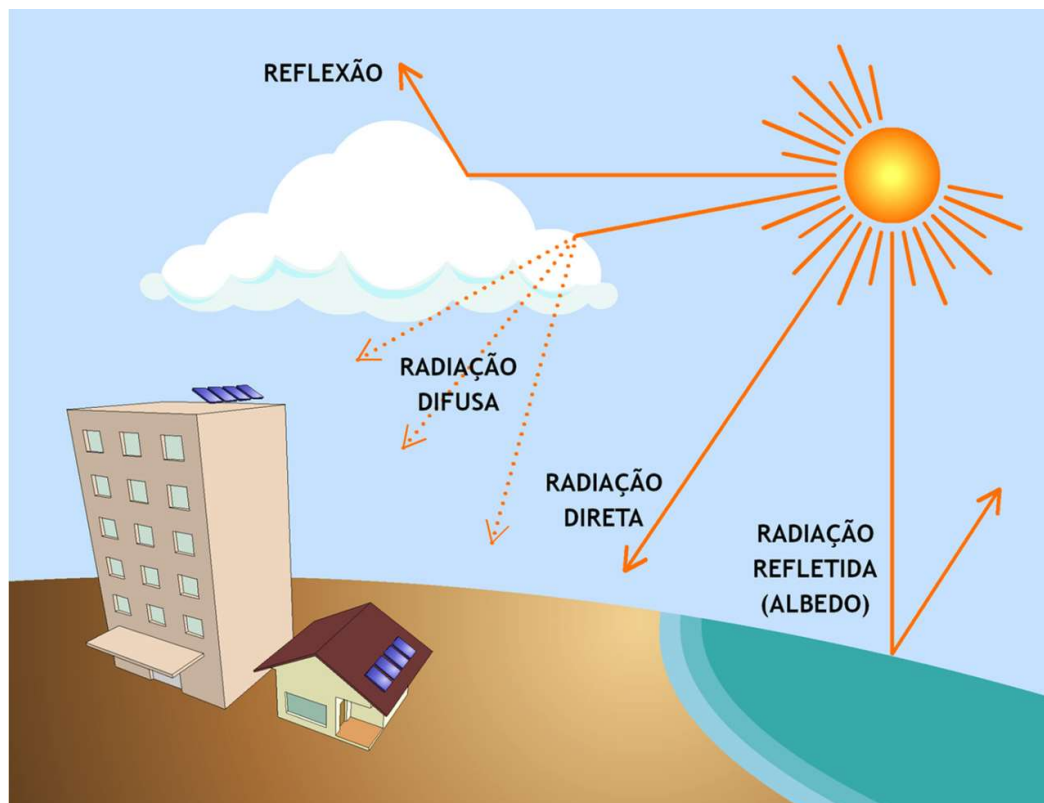


Figura 3 - Componentes da Radiação Solar

Fonte: Focusolar, 2016

2.3 CONCEITOS BÁSICOS DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

No efeito fotovoltaico existe conversão direta de luz em energia elétrica. Isso é possível devido à célula fotovoltaica, elemento que realiza a conversão. A eletricidade é gerada quando há exposição do material semicondutor dopado, geralmente silício, à radiação eletromagnética (NAKABAYASHI, 2014). Assim, a captação da luz é feita pelos módulos solares compostos por células que transformam diretamente em energia elétrica, dispensando o uso de turbinas e geradores, sem poluição e capaz de se renovar (RÜTHER, 2004).

Esse efeito fotovoltaico é caracterizado pela formação de uma diferença de potencial (tensão elétrica) entre os terminais de uma junção PN semicondutora, quando o mesmo é exposto à luz. Dessa forma, os elétrons fotoenergizados são movidos para o material N e as lacunas aparecem no material P. A barreira de potencial mantém elétrons e lacunas afastados. Se for estabelecido um circuito externo, os elétrons poderão circular, o que caracteriza uma corrente elétrica. A Figura 4 demonstra esse efeito.

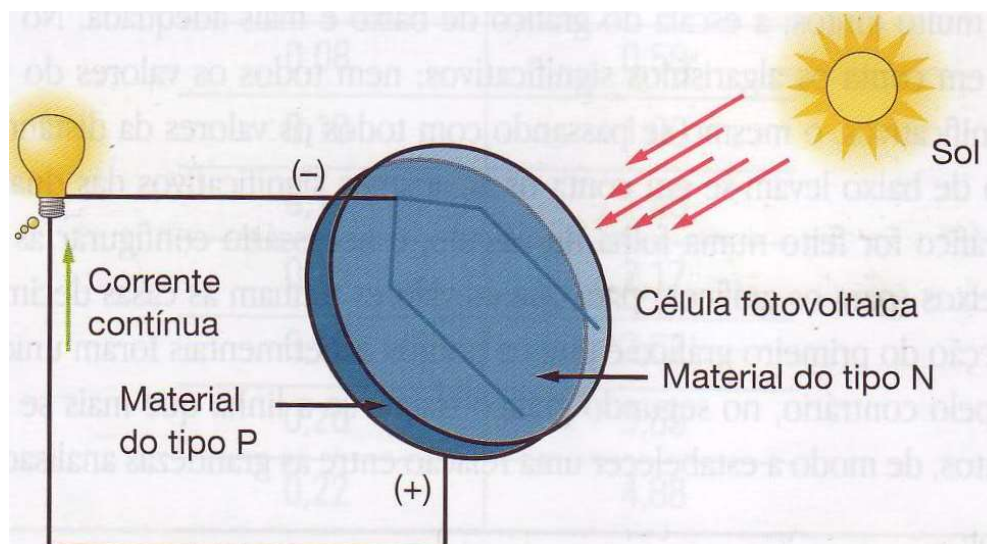


Figura 4 - Efeito Fotovoltaico Junção PN

Fonte: APESF, 2016

Embora esse sistema possua alta tecnologia, ele é fácil de ser utilizado. Além disso, Rütther (2004) afirma que entre as vantagens dessa tecnologia estão os fatos de não poluir o meio ambiente, ser totalmente renovável e livre de ruídos. O autor também destaca que esse produto possui baixa manutenção e não necessita de operadores para que um sistema possa funcionar. Essa tecnologia pode ser instalada desde baixas até altas potências e o material utilizado possui alta confiança e é usado, por exemplo, em satélites de comunicação. Por ser produzido em módulos, essa tecnologia também permite que o sistema possa ser ampliado conforme a necessidade de seu usuário.

2.3.1 Tipos de Células Fotovoltaicas

2.3.1.1 Silício Cristalino (*c-Si*)

A mais tradicional das tecnologias fotovoltaicas e a que ainda hoje apresenta maior escala de produção a nível comercial é o *c-Si* (como é conhecido o módulo de silício cristalino), que se consolidou no mercado fotovoltaico por sua extrema robustez e confiabilidade. No entanto, o custo de produção destes módulos solares é elevado e as possibilidades de reduzi-los já foram praticamente esgotadas, razão pela qual essa opção é desconsiderada por muitos analistas como séria competidora com formas convencionais de geração de potência em

larga escala. Mesmo assim, Rüter garante que o c-Si segue como o líder entre as tecnologias fotovoltaicas para aplicações terrestres em qualquer escala, pois é muito utilizado nos principais mercados mundiais como Japão e Alemanha (RÜTHER, 2004).

Vale ressaltar que existem dois tipos de módulos de Silício Cristalino, o módulo de silício monocristalino (m-Si) e o módulo de silício policristalino (p-Si).

O primeiro é o mais antigo em tecnologia fotovoltaica e possui células com as maiores eficiências em aplicações comerciais. Esta célula é produzida puxando uma espécie de semente de cristal de forma extremamente lenta (da ordem de cm/hora) e uniforme a partir de um banho de silício fundido de alta pureza (Si = 99,99% a 99,9999%) em reatores sob atmosfera controlada. Isso produz um cilindro com duas pontas finas que são cortadas fora e, então, o cristal é partido em seções usando quatro cortes em toda sua extensão. Ao final do processo, ele se transforma em quadrados com as quinas arredondadas e o cristal é cortado em centenas de lâminas (*wafers*) por fios ou serras diamantadas (AMERICA DO SOL, 2016a).

Este será o pré-produto usado na produção das células solares, o qual envolve lapidações, banhos químicos, polimentos, processos de difusão/dopagem e deposição da máscara condutora da eletricidade gerada. Depois de todo o processo, as células serão interconectadas em série para a obtenção do módulo fotovoltaico (AMERICA DO SOL, 2016a).

Já as células de Silício policristalino são formadas por diversos cristais, que são fundidos e posteriormente solidificados direcionalmente, como se observa na Figura 5. Entretanto, as bordas das partículas de cristais fazem com que a eficiência das células de policristalino seja menor que as de monocristalino. Por outro lado, ela custa bem menos para ser produzida, e exige menos material e energia. Isso reflete no custo final das células e faz com que essa tecnologia detenha a maior fatia do mercado de módulos solares a um longo período (AMERICA DO SOL, 2016a).

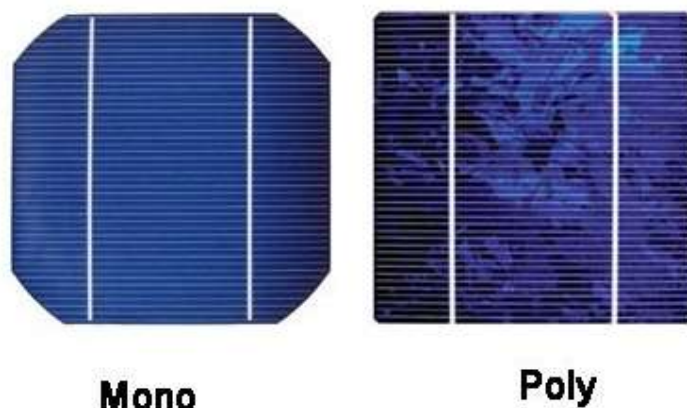


Figura 5 - Modulo de Silício monocristalino e policristalino

Fonte: Sunflower-solar, 2016

Nos últimos anos, o p-Si tem crescido sua participação no mercado fotovoltaico mundial em detrimento do m-Si, e atualmente mais de 50% da produção mundial utiliza o p-Si (MAYCOCK, 2003 *apud* RÜTHER, 2004). Esse módulo atrativo pode ser também produzido sob a forma de tiras ou fitas (*ribbon technology*) a partir de um banho líquido de silício e, neste processo, fica dispensado o fatiamento em lâminas, uma vez que as tiras de p-Si já são produzidas com a espessura final da célula (RÜTHER, 2004).

2.3.1.2 Telureto de Cádmiio (CdTe)

De acordo com Rüter (2004), esses módulos normalmente têm a forma de placas de vidro com tom marrom/azul escuro e apresentam um atrativo estético em comparação ao c-Si. Os custos de produção dos módulos de filmes finos são baixos para produção em grande escala e esta tecnologia tem ótimas chances de despontar como um sério competidor no mercado fotovoltaico para a geração de eletricidade. Além disso, apresentam maior eficiência de conversão da energia solar em energia elétrica.

Entretanto, o fato de o Telureto (Te) e o Cádmiio (Cd) serem elementos raros e tóxicos é um aspecto para ser levado em conta, principalmente se esta tecnologia atingir quantidades mais significativas de produção (da ordem de GWp).

Na Figura 6 é mostrado como um painel fotovoltaico de Telureto de Cádmiio é composto.



Figura 6 - Célula solar de telureto de cádmio (CdTe)

Fonte: HSW, 2016

2.3.1.3 Disseleneto de Cobre gálio e índio (CIS e CIGS)

Painéis solares de CIS e CIGS apresentam, como os seus concorrentes de filmes finos, uma ótima aparência estética e estão surgindo no mercado com grandes superfícies, podendo ser aplicados em projetos arquitetônicos diversos. Porém, assim como no caso do CdTe eles utilizam elementos raros e tóxicos, então esse fato deve ser considerado se esta tecnologia atingir quantidades significativas de produção.

O CIGS é a tecnologia dentre os filmes finos comercialmente disponíveis que apresenta o melhor rendimento fotovoltaico, razão pela qual várias empresas vêm investindo nele (RÜTHER, 2004). Na Figura 7 é possível visualizar uma exemplificação de célula solar de disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) utilizando a chapa metálica.

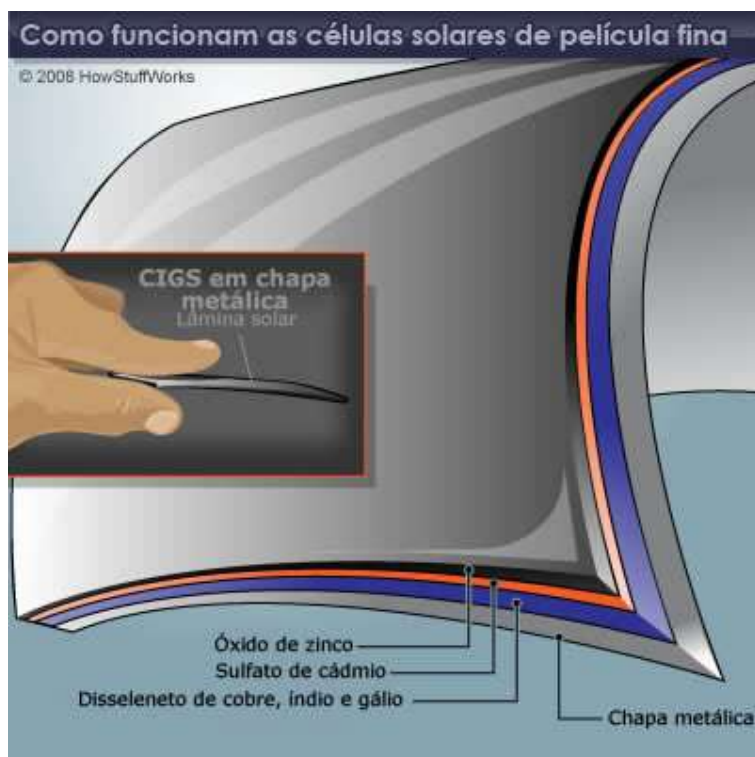


Figura 7- Célula solar de disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)

Fonte: HSW, 2016

2.3.2 Sistemas Fotovoltaicos (SFV)

Os sistemas fotovoltaicos podem ter arranjos distintos de acordo com sua aplicação. Eles podem ser classificados em um sistema conectado à rede elétrica ou no sistema autônomo, que opera isoladamente abastecendo as cargas sem que estas estejam conectadas à rede. No entanto, a utilização de uma das opções depende da necessidade de cada local (PINHO; GALDINO, 2014).

Os Sistemas Isolados são utilizados em locais remotos ou onde o custo de se conectar à rede elétrica é elevado. São utilizados em casas de campo, refúgios, iluminação, telecomunicações, bombeio de água, etc. Já os Sistemas Conectados à rede, substituem ou complementam a energia elétrica convencional disponível na rede elétrica.

É possível classificar os sistemas fotovoltaicos de acordo com a NBR 11704:2008. Nessa norma, os sistemas são diferenciados de acordo com a interligação com a rede de distribuição de energia elétrica e quanto à configuração conforme especificado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Tipo de sistema		Alimentação dos consumidores	Acumulação de energia elétrica	Componentes básicos	Aplicações típicas
Sistemas isolados	Puros	Tensão contínua	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)	Bombeamento, produção de hidrogênio etc.
			Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica etc.
		Tensão alternada	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial etc.
			Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor	Eletrificação rural, bombeamento, telecomunicações, uso industrial, iluminação etc.
	Híbridos	Tensão contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar	Telecomunicações, iluminação, sinalização rodoviária e ferroviária etc.
		Tensão alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar	Iluminação, uso industrial etc.
Sistemas conectados à rede elétrica	Puros	Tensão alternada	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
	Híbridos	Tensão alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
			Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador	Eletrificação rural, uso industrial, suprimento ininterrupto de energia etc.
NOTA Todos os tipos de sistemas possuem gerador fotovoltaico entre os componentes básicos.					

Fonte: NBR 11704, 2008

2.3.2.1 Sistemas fotovoltaicos isolados (SFVI)

O sistema fotovoltaico isolado é normalmente utilizado em lugares sem a presença da rede elétrica da concessionária (Figura8), pois esse sistema armazena a maior parte da eletricidade gerada em baterias. Dessa forma, quando há baixa incidência solar é possível usar a energia elétrica que está armazenada no banco de baterias. A instalação pode ser do tipo individual ou em mini redes. A composição básica desse sistema compreende os seguintes equipamentos: painel fotovoltaico, controlador de carga, baterias e inversor, apresentada na Figura9 (URBANETZ JR, 2010).

Esse tipo de sistema tem custo elevado devido ao uso de armazenadores de carga. Além disso, dependendo da necessidade, as baterias podem representar até 40% do custo total do sistema (LAMBERTS, *et al.*, 2010).



Figura 8 - Sistema fotovoltaico isolado em comunidades distantes

Fonte: IEE, 2016

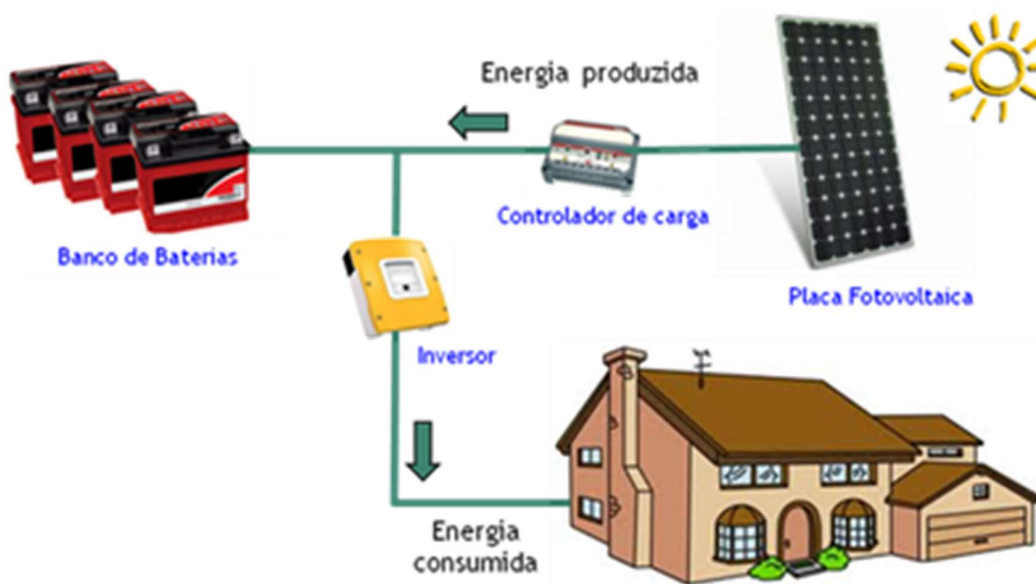


Figura 9 - Sistema fotovoltaico isolado

Fonte: Sunflower-solar, 2016

2.3.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR)

Já no sistema conectado à rede, a energia elétrica gerada é injetada na rede elétrica pública (Figura10). Entre suas características estão a alta produtividade e o fato de se desconectarem automaticamente quando ocorre uma falha na rede, evitando o efeito do ilhamento. Quando a rede elétrica é restabelecida, automaticamente o sistema volta a operar (URBANETZ JR, 2010).

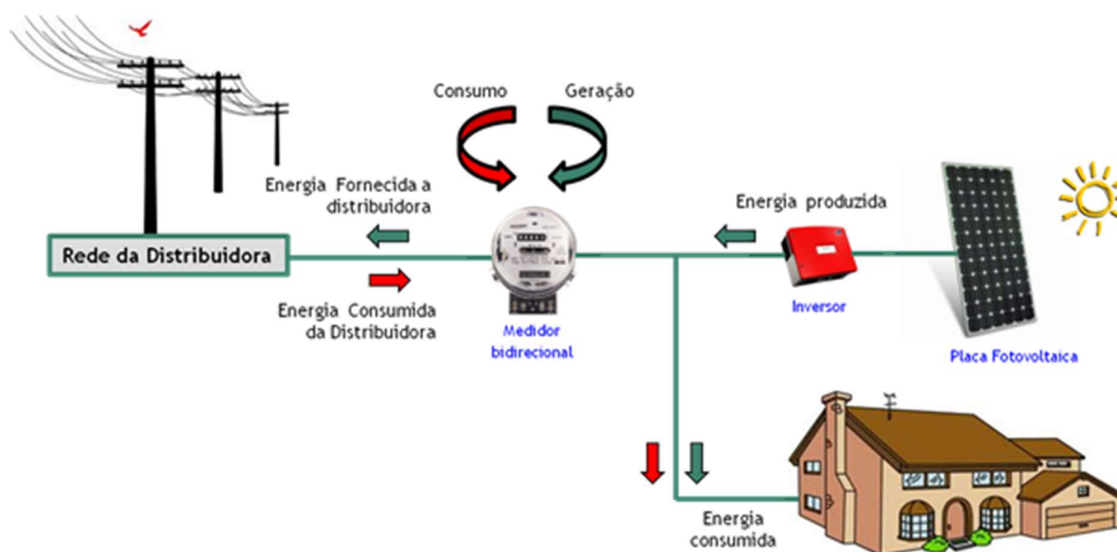


Figura 10 - Sistema fotovoltaico conectado à rede

Fonte: Sunflower-solar, 2016

Essa tecnologia é composta por apenas dois equipamentos: o painel fotovoltaico e o inversor. Entretanto, para atender aos requisitos das concessionárias de energia elétrica, devem ser instalados ainda dispositivos de manobra e proteção, e também um medidor de energia bidirecional, que mede a energia elétrica injetada na rede pública e também a consumida (URBANETZ JR, 2010).

De acordo com a NBR 11704:2008, o SFVCR pode ser classificado como puro ou híbrido. No primeiro, o gerador fotovoltaico é o provedor de energia elétrica, enquanto neste último existe a associação do gerador fotovoltaico com outros tipos de geradores de energia elétrica.

Além disso, o sistema conectado à rede depende do gerador de energia elétrica fotovoltaica e da concessionária. Assim, sempre que houver sol sobre o painel fotovoltaico, existirá produção de energia elétrica e ela será injetada na rede elétrica do próprio consumidor. Se a energia gerada for maior que a demanda

elétrica própria da edificação, a mesma é enviada à rede elétrica abastecendo a concessionária. Já em ocasiões na qual não existe incidência solar, a noite, por exemplo, quem atende à demanda energética do consumidor é a companhia de energia (URBANETZ JR *et al.*, 2014).

Dentro da geração distribuída podem ser utilizados os Sistemas Fotovoltaicos Conectados às Redes, pois eles contribuem com a disponibilidade de energia junto ao ponto de consumo, minimizando as perdas com transmissão e distribuição. Como se não bastasse, eles também dispensam o uso de banco de baterias, pois a potência gerada é consumida diretamente pelas cargas locais e o excedente é absorvido pela rede elétrica. Essa, por sua vez, disponibiliza a energia para outros consumidores, permitindo a redução da geração pelas fontes convencionais de energia, no caso do Brasil, principalmente as usinas hidrelétricas e térmicas (URBANETZ JR *et al.*, 2014).

Vale ressaltar também que o desempenho de um sistema fotovoltaico é afetado por uma série de fatores ligados à qualidade dos componentes, à configuração escolhida, às condições meteorológicas, à correta instalação e manutenção do sistema e às condições da rede elétrica, que impõem uma série de perdas ao sistema. De maneira geral, essas perdas provocam a redução da eficiência dos componentes dos sistemas fotovoltaicos, afetando diretamente a produção de energia e os parâmetros de desempenho, sendo importante conhecê-las a fim de evitá-las ou reduzi-las ao máximo (ALMEIDA, 2012).

Dentre as formas de sistemas conectados à rede se destaca o Integrado à Edificação (SFIE). Ele faz parte de uma categoria relativamente nova no Brasil, mas que já é utilizada em vários países do mundo. Entre seus atrativos está o fato de os SFIEs dispensarem a criação de novos espaços para sua instalação (Figura 11), pois podem ser aplicados em edificações já existentes como os telhados ou fachadas, servindo não apenas como fontes de energia, mas como elementos de sombreamento e diferencial arquitetônico da própria construção. Porém, sua grande vantagem reside no fato de que a energia gerada pode ser totalmente usada na edificação, reduzindo perdas com transmissão e distribuição, além de diminuir o consumo de energia proveniente da rede da concessionária (PINHO; GALDINO, 2014).



Figura 11 - Sistema fotovoltaico integrado a edificação

Fonte: Marsolenergia, 2016

2.3.3 Resolução Normativa N° 482

A Resolução Normativa 482 da ANEEL publicada em 17 de abril de 2012 no seu Artigo 1º garante o estabelecimento das condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica no modelo de compensação de energia elétrica, entre outras providências.

No Brasil, os SFVCRs podem ser enquadrados na classificação de micro (até 75 kWp) ou minigeração (até 5 MWp), conforme a resolução ANEEL na normativa 482/2012 (atualizada pela REN 687/2015), ou ainda na categoria de autoprodutores de energia, obedecendo, portanto, ao Decreto Federal 2003/1996 que dispõe sobre a produção de energia por produtores independentes e autoprodutores.

Esta resolução permite ainda que a energia gerada a partir de fontes renováveis em pequenos ou grandes consumidores se integre à rede elétrica. Desta forma, a conexão de sistemas fotovoltaicos é facilmente conectada à rede de uma concessionária de energia, atendendo ao consumo demandado. Além disso, caso seja gerada energia excedente, ela pode ser injetada à rede, gerando créditos (Sistema de Compensação), o que pode ser visto na Figura 13. Neste caso, é possível reduzir a conta de energia elétrica a apenas o custo de disponibilidade da rede mais os impostos sobre a energia consumida e a bandeira tarifária.



Figura 12 - Sistema de compensação

Fonte: Solar é, 2016, Adaptada pelo Autor

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica, o sistema de compensação de energia segue a seguinte diretriz, a partir da Resolução 482:

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 de mesma titularidade da unidade consumidora 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. (ANEEL, 2012, p. 02)

Nakabayashi (2014) explica que “a compensação é realizada a partir da energia ativa injetada pelo micro ou minigerador, a qual gera créditos de energia equivalentes para serem consumidos em um período de até 60 meses”. Ainda de acordo com o Artigo 2º da normativa 482, o crédito gerado pode ser utilizado por outra unidade consumidora.

Essas informações deveriam estimular o crescimento dos SFVCRs no Brasil. No entanto, segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), mesmo com as normativas que possibilitam a microgeração, o custo para aquisição e instalação destes sistemas ainda inibem o seu desenvolvimento no país (PINHO; GALDINO, 2014).

2.3.4 Análise financeira de um Sistema Fotovoltaico

Para avaliar a viabilidade do projeto de um sistema fotovoltaico é possível implantar os mesmos métodos utilizados na avaliação de investimentos, independente de qual seja a dimensão dele.

Segundo Motta e Caloba (2010), a análise de investimentos busca por meio de técnicas avançadas, com o auxílio da Estatística e da Matemática Financeira, uma solução eficiente para determinada situação ou problema. Dessa forma, é necessário dominar o conceito e a aplicação de indicadores para modelar uma estrutura que forneça os dados otimizados.

Já o autor Montenegro (2013) garante que a melhor forma de analisar economicamente e financeiramente um sistema fotovoltaico é realizar a análise do período de retorno do investimento (*PAYBACK*).

3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE

Este capítulo apresentará o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para o estudo de implantação do sistema em uma determinada unidade escolar na região metropolitana de Curitiba.

A escola em questão está localizada na cidade paranaense de São José dos Pinhais – PR. possui área construída de seis mil e quinhentos metros quadrados e atende cerca de mil e trezentos alunos. Para isso, tem investido em conforto para seus alunos e funcionários usando equipamentos como condicionadores de ar, servidores de internet e rede, computadores e outros equipamentos que tem gerado um alto consumo de energia elétrica. No entanto, com o objetivo de diminuir este custo, a instituição tem mostrado interesse em investir em alternativas que possam lhe trazer economia nesta área.

3.1 INFORMAÇÕES E LEVANTAMENTO DE CONSUMO DO CASO DE ESTUDO

De acordo com Urbanetz Jr (2013), para iniciar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica deve ser estimado o consumo médio diário, mensal ou anual de energia que pode ser obtido com a composição do quadro de previsão de cargas ou a fatura dos últimos doze meses. Neste caso foram obtidas as faturas dos últimos doze meses como base. As faturas foram fornecidas pela instituição e as Tabelas 2 e 3 mostram o histórico de consumo em kWh e de faturamento em reais (R\$) que servirão como base no dimensionamento do SFVCR e sua viabilidade econômica.

Ainda segundo o autor, além disso, também é necessário definir o percentual de consumo a ser suprido, o montante a ser investido ou ainda a área a ser coberta pelos módulos fotovoltaicos escolhidos. Para este estudo, o objetivo é suprir até 50% do consumo energético da instituição de ensino por meio da instalação do SFVCR.

Atender somente 50% da energia consumida da uma margem para trabalhar com a eficiência energética do prédio, substituindo equipamentos elétricos menos eficientes por mais eficientes, pois investir em eficiência energética é mais barato que investir em um SFVCR. Outro aspecto que limita a instalação é o que está estabelecido na resolução 482/12 da ANEEL, que diz que o sistema de energia solar

fotovoltaica não pode ter uma potência maior que a demanda contratada. A unidade escolar possui uma demanda contratada de 56 kW.

A Tabela 2 exibe o consumo de energia em kWh, tanto fora de ponta como em ponta, ao longo de um ano. A unidade escolar está na no grupo A - tarifa verde.

Tabela 2 - Histórico de consumo

HISTÓRICO DE CONSUMO (GRUPO A – TARIFA VERDE)		
Mês	Ponta (kWh)	Fora-Ponta (kWh)
08/2015	606	7.827
09/2015	743	9.549
10/2015	978	12.536
11/2015	585	12.087
12/2015	705	13.558
01/2016	338	5.345
02/2016	436	6.133
03/2016	785	14.381
04/2016	798	14.309
05/2016	801	12.032
06/2016	742	10.126
07/2016	795	11.416
Média Mensal	693	10.775
Média Diária	23	359
50% Média Diária	11	180
	Total Ponta e F. de Ponta	191

Fonte: Autor, 2016

Já a Tabela 3 demonstra os custos com energia que a instituição teve durante o ano, na qual é possível notar que boa parcela da fatura é referente aos impostos.

Tabela 3 - Histórico de faturamento

Histórico de Faturamento					
Mês	Total da Energia	PIS/COFINS	ICMS	Outros Lançamentos	Total da Fatura
08/2015	R\$ 4.183,51	R\$ 366,23	R\$ 1.828,58	R\$ 72,10	R\$ 6.450,42
09/2015	R\$ 5.003,14	R\$ 378,58	R\$ 2.189,94	R\$ 72,10	R\$ 7.643,76
10/2015	R\$ 6.987,30	R\$ 529,33	R\$ 3.070,16	R\$ 72,10	R\$ 10.658,89
11/2015	R\$ 6.390,95	R\$ 543,83	R\$ 2.832,48	R\$ 72,10	R\$ 9.839,36
12/2015	R\$ 7.340,68	R\$ 828,40	R\$ 3.336,64	R\$ 72,10	R\$ 11.577,82
01/2016	R\$ 2.837,82	R\$ 324,08	R\$ 1.229,15	R\$ 79,45	R\$ 4.470,50
02/2016	R\$ 3.226,56	R\$ 401,89	R\$ 1.458,80	R\$ 79,45	R\$ 5.166,70
03/2016	R\$ 7.921,03	R\$ 972,25	R\$ 3.632,45	R\$ 79,45	R\$ 12.605,18
04/2016	R\$ 7.207,43	R\$ 819,06	R\$ 3.278,39	R\$ 79,45	R\$ 11.384,33
05/2016	R\$ 5.950,52	R\$ 630,26	R\$ 2.687,93	R\$ 79,45	R\$ 9.348,16
06/2016	R\$ 4.669,93	R\$ 482,22	R\$ 2.104,38	R\$ 79,45	R\$ 7.335,98
07/2016	R\$ 5.336,75	R\$ 498,61	R\$ 2.383,45	R\$ 79,45	R\$ 8.298,26
Total Anual	R\$ 67.055,62	R\$ 6.774,74	R\$ 30.032,35	R\$ 916,65	R\$ 104.779,36

Fonte: Autor, 2016

3.2 DADOS DA IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Para descobrir a localização da unidade escolar foi usado o programa Google Earth, que mostra as informações de latitude e longitude, dados necessários para o dimensionamento do SFVCR. Na Figura 13 é possível visualizar a localização do empreendimento.



Figura 13 - Localização da Unidade Escolar

Fonte: Google Earth, 2016, adaptado pelo autor

As coordenadas aproximadas fornecidas pelo aplicativo Google Earth foram para a latitude igual a $-25,546098^\circ$ e para longitude igual a $-49,202159^\circ$.

Existem vários telhados na edificação, porém, foram previamente escolhidos dois locais que possibilitam a melhor implantação e também manutenção do sistema fotovoltaico. Essas duas áreas de telhado estão apoiadas sobre lajes de concreto e não possuem grandes obstáculos que possam ocasionar sombras durante o período mais intenso de sol. A Figura 14 mostra os locais escolhidos, a área disponível para implantação do SFVCR e sua posição em relação ao norte.

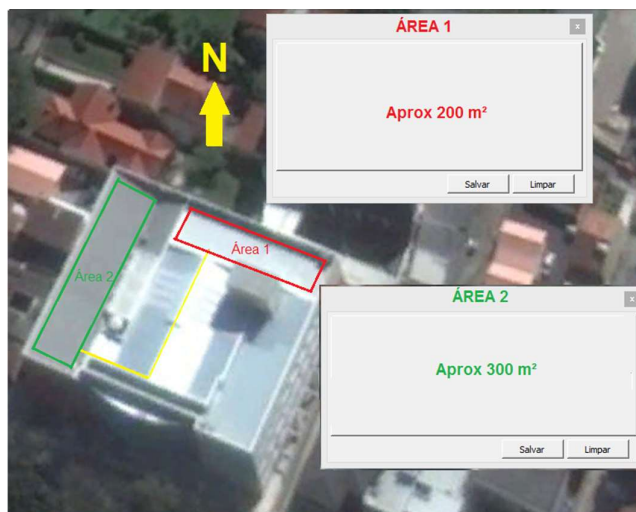


Figura 14 - Telhados selecionados

Fonte: Google Earth, 2016, adaptado pelo autor

Com a localização obtida, este trabalho buscou no Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2006) informações mais precisas que estão dentro do banco de dados de irradiação. O objetivo principal do SWERA foi compilar e tornar disponível para acesso público informações confiáveis sobre o recurso solar e eólico em diversas partes do mundo em desenvolvimento, não somente para auxiliar no planejamento e desenvolvimento a nível governamental do setor de energia, mas também para atrair o capital privado para a área de energias renováveis. Os produtos do projeto SWERA incluem uma série de informações que são de grande utilidade dentro do contexto apresentado, estando disponíveis desde mapas das diversas componentes da radiação solar até dados detalhados de infraestrutura e parâmetros socioeconômicos para algumas regiões do planeta. No Brasil este projeto estimou a irradiação solar na resolução de 10km x 10km do território brasileiro, o que auxilia na análise de dados para instalação positiva do sistema. As coordenadas mais próximas do ponto de implantação são lançadas no Google Earth e, em seguida, é escolhido o ponto mais próximo da edificação em estudo.

Conforme mostra a Figura15, o ponto P2 se destaca como mais próximo da edificação e está a uma distância de aproximada 5,6 km do local de implantação.

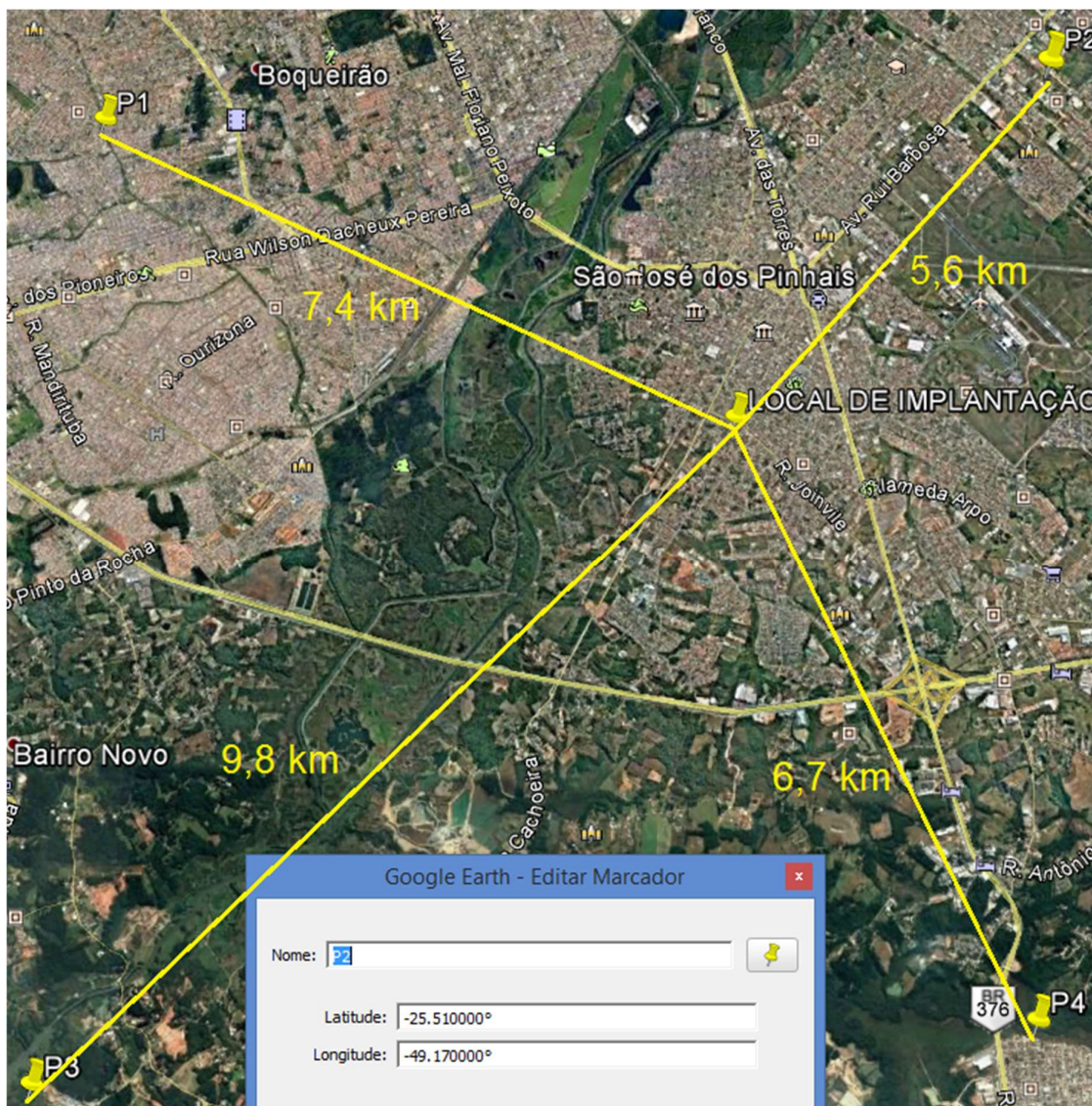


Figura 15 - Pontos de medição de irradiação do projeto SWERA

Fonte: Google Earth, 2016, adaptado pelo autor

Os dados de irradiação obtidos para o ponto P2 podem ser visualizados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Irradiação global (kWh/m².dia)

IRRADIAÇÃO GLOBAL (kWh/m ² .dia)														
LONG	LAT	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
-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, 2016

Os dados obtidos no Atlas Brasileiro de Energia Solar e inseridos no programa RADIASOL são apresentados na Figura 16.

The screenshot shows the RADIASOL software interface. At the top, it says "Selecione um país e uma estação". Below this, there are dropdown menus for "País" (Brazil) and "Estação" (UNIDADE ESCOLAR). To the right is a 3D map of Brazil with a location marker. Below the dropdowns are buttons for "OK", "Editar", and "Sair".

The interface also displays coordinates: Latitude 25,51, N/S: S, Longitude 49,00, E/W: W. Below this is a table of monthly solar radiation values in kWh/m²:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,70	5,42	4,98	4,11	3,27	3,06	3,26	4,17	4,27	4,94	6,08	5,87

Below the table, it says "Radiação em kWh/m²".

Figura 16 - Interface do programa Rádiasol com os dados inseridos

Fonte: Rádiasol, 2016

Este programa foi desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e é usado para determinação da radiação solar em diferentes ângulos de inclinação.

Neste caso, será usada a inclinação e direção dos telhados da edificação, ou seja, em 12° (doze graus). Será usada esta inclinação e, desta forma, serão dispensadas instalações adicionais para posicionamento do sistema.

Além da inclinação, também é necessário encontrar o desvio azimutal do plano dos telhados, e esses desvios são mostrados na Figura 17, obtida do aplicativo Google Earth.



Figura 17 - Desvio Azimutal dos planos de telhado

Fonte: Google Earth, 2016, adaptado pelo autor

Em uma segunda etapa, o programa Radasol permite que seja informada a inclinação e o desvio azimutal. Com esses dados, ele calcula por meio de modelos matemáticos o efeito da inclinação da superfície receptora e da anisotropia da radiação solar em seus componentes de maneira direta e difusa.

Após a escolha de como será a distribuição da radiação chega o momento de obter os dados de radiação que acontecerão durante o ano em determinada superfície. Neste estudo existem duas áreas com inclinações iguais, porém, com desvios azimutais diferentes. A área 1, destacada em vermelho na Figura17, possui um desvio de aproximadamente 24° para o Leste. Já a área 2, destacada em verde, possui desvio azimutal de aproximadamente 68° para o Oeste. Em cada uma dessas áreas, o programa calculou o potencial solar conforme apresentado na Figura18 e 19.

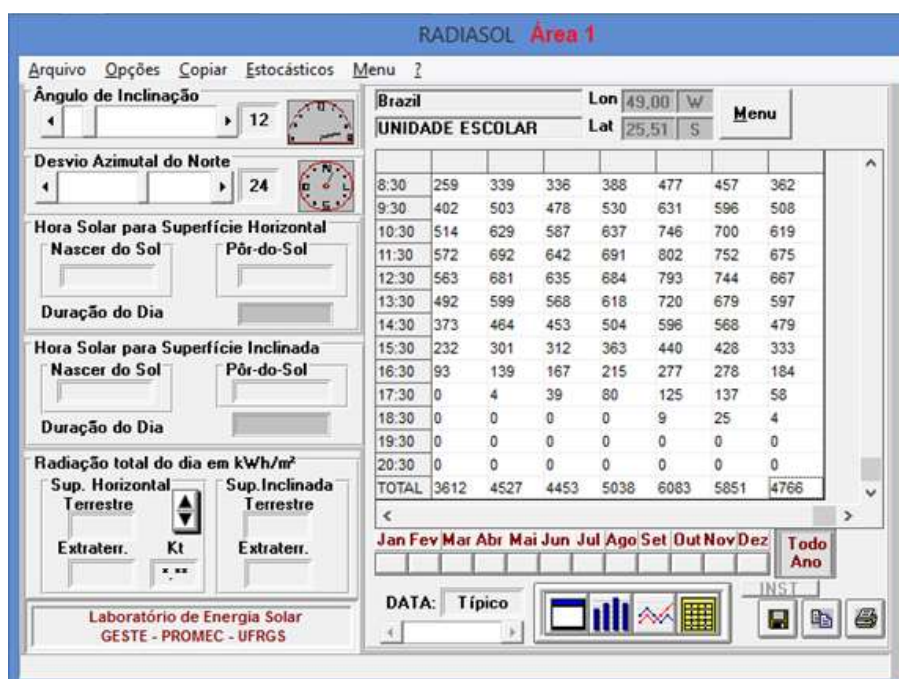


Figura 18 - Resultados Obtidos no Radasol para área 1

Fonte:Radasol, 2016

A Figura 19 exibe os resultados obtidos para a área 2, que receberá a maior parte do sistema fotovoltaico. Por isso, serão usados no dimensionamento somente os valores desta área.

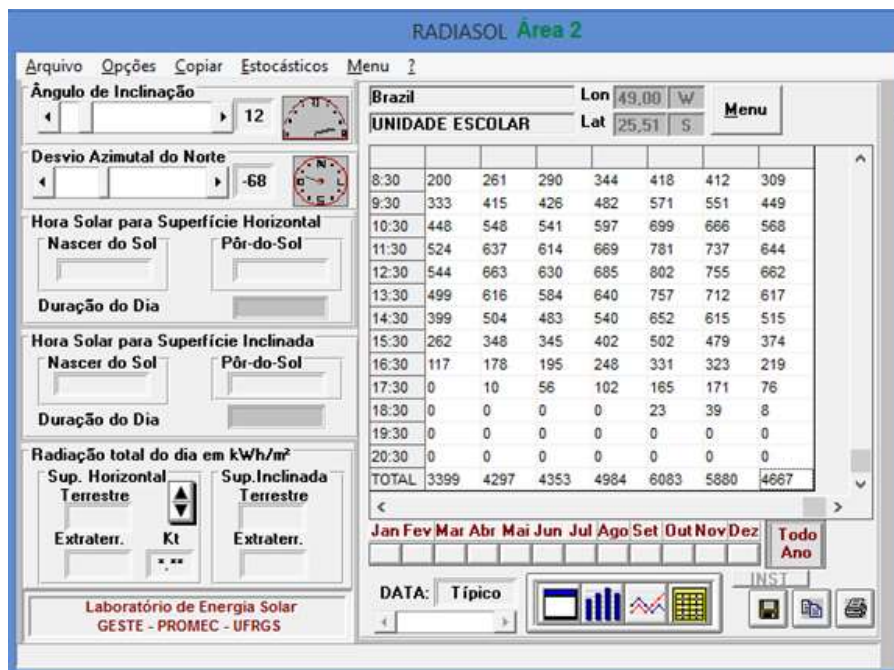


Figura 19 - Resultados Obtidos no Radasol para área 2

Fonte: Radasol, 2016

A Tabela 5 mostra claramente os dados gerados através do programa para as duas superfícies em estudo.

Tabela 5 - Resultados obtidos no Radasol para as superfícies em estudo

Radiação Solar (kWh/m ²) nas duas áreas de telhado													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
Área 1	5,70	5,48	5,16	4,36	3,54	3,41	3,61	4,53	4,46	5,04	6,08	5,84	4,77
Área 2	5,71	5,44	5,06	4,22	3,37	3,20	3,40	4,30	4,35	4,98	6,08	5,88	4,67

Fonte: Autor, 2016

Há uma pequena diferença no potencial de radiação solar entre às áreas. A área 2 possui uma média de radiação solar anual de 4,67 kWh/m², valor menor do que a média encontrada para a área 1. Como pode ser visto no gráfico 1 as duas áreas têm um comportamento muito semelhante no quesito de quantidade de radiação que incide sobre elas. Por isso, este estudo usou para o dimensionamento do sistema fotovoltaico o valor médio menor, correspondente a área 2, local onde estará a maior parte de nosso sistema, pois, se trata de uma área com menos possibilidade de sombreamento.

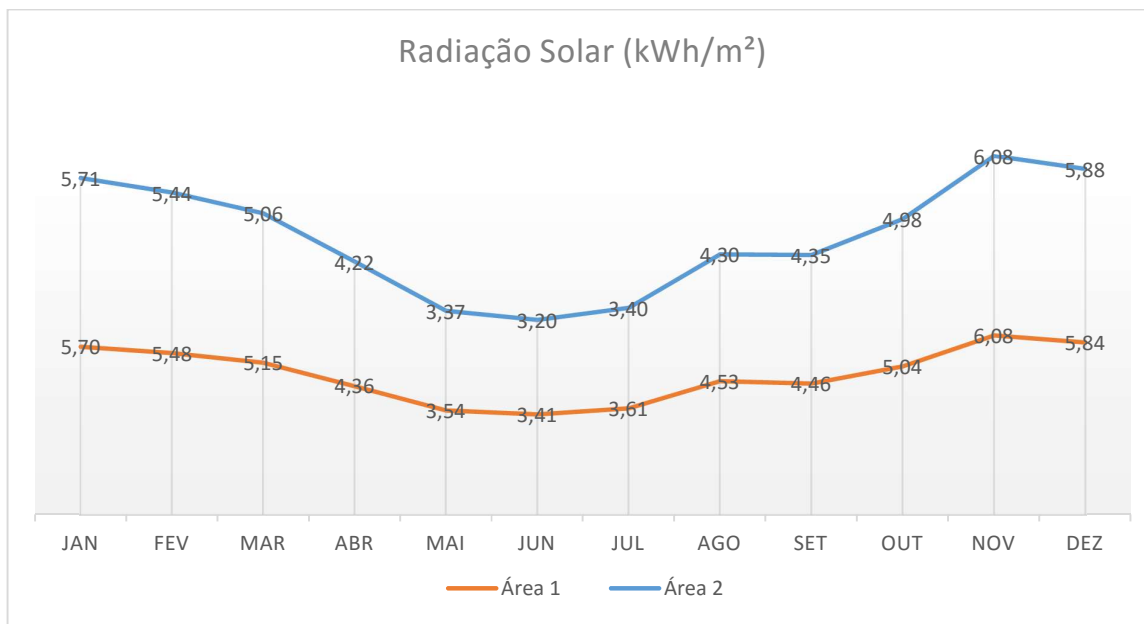


Gráfico 1 - Resultados Obtidos no Radiasol para as superfícies em estudo

Fonte: Autor, 2016

3.3 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DE PICO DO SFVCR

Para determinar a potência de pico dos módulos do SFVCR vale lembrar que o sistema será suprido com até 50% do consumo de energia da instituição que, de acordo com as faturas mensais, apresenta média diária de 191 kWh/dia, conforme apresentado na Tabela6.

Tabela 6 - Energia mensal e diária consumida na instituição

ENERGIA MENSAL, DIÁRIA e 50% DIÁRIA (E)			
	Ponta (kWh)	Fora-Ponta (kWh)	Total (kWh)
Média Mensal	693	10775	11468
Média Diária	22	359	382
50% Média Diária	11	180	191

Fonte: Autor, 2016

Para calcular a potência do painel fotovoltaico na unidade escolar é utilizada a equação 1 (URBANETZ JR, 2013). A energia elétrica média que será produzida é equivalente a 191 kWh e a irradiação diária média no plano fotovoltaico será o encontrado para a área 2, equivalente à média de 4,67 kWh/m²/dia, conforme Tabelas 5 e 6 demonstradas anteriormente. Os demais dados serão os adotados como padrão.

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G}{H_{TOT} \cdot PR} \text{ Eq (1)}$$

Onde: P_{FV} é a potência do painel fotovoltaico (kWp);

E é a energia elétrica diária média que será produzida (kWh/dia);

G é a irradiação nas condições padrão de teste (1kWh/m²);

H_{TOT} é a irradiação diária média no plano do painel fotovoltaico (kWh/m²/dia);

PR é o *performance ratio*, que corresponde ao desempenho global de um sistema fotovoltaico. Neste caso, será utilizado $PR = 0,75$.

Logo tem-se:

$$P_{FV} = \frac{191 \cdot 1}{4,67 \cdot 0,75} = 54,53 \text{ kWp}$$

O passo seguinte é estimar a área requerida pelo sistema fotovoltaico, que pode ser encontrada com a equação 2 (URBANETZ JR, 2013).

$$A = \left(\frac{P_{FV}}{E_{FF}} \right) \cdot 100 \text{ Eq (2)}$$

Onde: A é a área (m²);

P_{FV} é a potência do painel fotovoltaico (kWp);

E_{FF} é a eficiência da tecnologia (%).

A eficiência adotada para a tecnologia será de no mínimo 16%, logo tem-se a estimativa da área a seguir:

$$A = \left(\frac{54,53}{16} \right) \cdot 100 = 340,81 \text{ m}^2$$

3.4 SELEÇÃO DO MODELO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

O modelo selecionado de módulo fotovoltaico para a constituição do painel será o CS6X-315P da marca *Canadian Solar*. Esse módulo conta com certificação INMETRO nota “A” e 10 anos de garantia contra defeitos de fabricação. Em condições ideais, este módulo solar fotovoltaico produz 315W, 8,61A e 36,6V em corrente contínua (MINHA CASA SOLAR, 2016). As especificações do equipamento seguem na Tabela 7:

Tabela 7 - Especificações Gerais do Módulo Selecionado

Especificações Gerais do Módulo Selecionado	
Potência máxima (Pmax)	315Wp
Tolerância	0% a +5%
Tensão em circuito aberto (Voc)	45,1V
Tensão de Pico (Vmpp)	36,6V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9,18A
Corrente de Pico (Impp)	8,61A
Voltagem máxima do sistema (V)	1000V
Tipo de célula	Silício Policristalino
Dimensões painel	1954 x 982 x 40 (mm)
Material da moldura	Alumínio
Peso	22 kg
Eficiência	16,42%
CPT: Irradiação de 1000W / m ² , Espectro de Massa de Ar 1.5 e Temperatura de Célula de 25°C	

Fonte: Autor, 2016

Com o modelo do módulo selecionado é possível calcular o número de módulos necessários para o sistema, que pode ser encontrado de forma simples, somente dividindo a potência total do sistema (P_{FV}) pela potência nominal do módulo selecionado. Isso pode ser deduzido na equação 3:

$$n^{\circ} = \frac{P_{FV}}{P_{mod}} = \frac{54,53}{0,315} = \mathbf{173,11Eq (3)}$$

Onde: n° é a quantidade de módulos necessário (Un);

P_{FV} é a potência do painel fotovoltaico (kWp);

P_{mod} é a potência do módulo (kWp).

A quantidade de módulos estipulada foi de 171 unidades. Com isso, pode-se corrigir a potência do painel fotovoltaico multiplicando o número de módulos pela potência de cada um deles, de acordo com equação 4.

$$P_{fv\ nova} = P_{mod} \times Total\ modulos = 0,315 * 171 = 53,865\ kWpEq(4)$$

Onde: $P_{fv\ nova}$ é a nova potência do painel fotovoltaico (kWp);

P_{mod} é a potência do módulo (kWp).

$Total\ modulos$ é a quantidade de módulos necessários (kWp);

3.5 SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Para este sistema fotovoltaico foi escolhido o inversor da marca Fronius, modelo Symo20.0.-3-M. Segundo a Neosolar (2016), o equipamento é da linha de inversores *grid-tie* Symo da Fronius, ele é trifásico e sem transformador, voltado para empresas e mercado residencial fotovoltaico e também é otimizado para sistemas de autoconsumo. Ainda de acordo com a Neosolar (2016), o inversor escolhido possui uma série de outros recursos inteligentes que o tornam um dos inversores mais avançados da sua classe. Entre esses recursos está o registro de dados integrado no inversor com conexão *wi-fi* e também a tecnologia *plug-in card* para adaptação de funções adicionais.

Para definir a ligação dos painéis ao inversor serão levados em consideração os seguintes pressupostos:

1. O painel não deve conter voltagem superior á 1000 Vcc, e nem inferior a 200 Vcc. De acordo com os dados de entrada do inversor.
2. A ligação do painel não pode superar a corrente de curto circuito do inversor, que é de 33 amperes.

Na Tabela 8 é possível visualizar as especificações técnicas do inversor selecionado.

Tabela 8 - Especificações Técnicas do Inversor Selecionado

Especificações Técnicas do Inversor Selecionado	
ENTRADA	
Voltagem máxima de entrada	1000Vcc
Faixa de Voltagem do MPP	420Vcc a 800Vcc
Voltagem mínima de entrada	200Vcc
Voltagem para inicialização	200Vcc
Corrente máxima de entrada	33A / 27A
SAIDA	
Potência nominal de saída	20.000W
Voltagem de saída (faixa)	154Vca a 264Vca
Frequência de saída	60Hz
Corrente máxima de saída	31,9 ^a
OUTRAS CARACTERÍSTICAS	
Eficiência Máxima	98,10%
Consumo interno (noite)	<1W
Temperatura de Operação	-25°C a +60°C
Dimensões (L x A x P)mm	510 x 225 x 725
Peso	43,4Kg

Fonte: Autor, 2016

Considerando que a potência de pico do painel fotovoltaico com 171 módulos Canadian Solar modelo CS6X-315P é de 315Wp cada, totalizando 53,57 kWp para o painel, com uma área total de 328,12 metros quadrados, a proposta de ligação para o inversor selecionado é uma subdivisão da planta total em três painéis contendo cada um deles 57 módulos, com área aproximada de 110 m² cada, com três *strings em paralelo* de 19 módulos em série.

Essa ligação atende aos requisitos de entrada do inversor conforme pode ser percebido nas equações 5 a 11:

$$\frac{V_{ocInv}}{V_{ocMod}} = n^{\circ} Mod em série = \frac{1000}{45,1} \cong 22,17 = 22 Eq(5)$$

Onde: $n^{\circ} Mod em série$ é a quantidade máxima de módulos ligados em série (Un);

V_{ocInv} é a máxima voltagem de circuito aberto do inversor (V);

V_{ocMod} é a máxima voltagem de circuito aberto do módulo (V).

$$\frac{I_{scInv}}{I_{scMod}} = N^{\circ} Mod em par = \frac{33}{9,18} \cong 3,59 Eq(6)$$

Onde: $n^{\circ} Mod em par$ é a quantidade máxima de módulos ligados em paralelo (Un);
 I_{scInv} é a máxima corrente de curto circuito do inversor (A);
 I_{scMod} é a máxima corrente de curto circuito do módulo (A).

$$V_{m\acute{a}x} = n^{\circ} Mod em s\acute{e}rie . V_{oc}Mod = 19 . 45,1 = 856,90 VEq(7)$$

Onde: $V_{m\acute{a}x}$ é a máxima voltagem em circuito aberto gerado pelo sistema (V);
 $n^{\circ} Mod em s\acute{e}rie$ é a quantidade máxima de módulos ligados em série (Un);
 $V_{oc}Mod$ é a máxima voltagem de circuito aberto do módulo (V);

$$V_{mpp} = n^{\circ} Mod em s\acute{e}rie . V_{mpp}Mod = 19 . 36,6 = 695,40 VEq(8)$$

Onde: V_{mpp} é a voltagem de operação do sistema em condições normais (V);
 $n^{\circ} Mod em s\acute{e}rie$ é a quantidade máxima de módulos ligados em série (Un);
 $V_{mpp}Mod$ é a voltagem de operação do módulo em condições normais (V);

$$I_{m\acute{a}x} = n^{\circ} Mod em par . I_{sc}Mod = 3 . 9,18 = 27,54 AEq(9)$$

Onde: $I_{m\acute{a}x}$ é a máxima corrente em curto circuito gerado pelo sistema (V);
 $n^{\circ} Mod em par$ é a quantidade máxima de módulos ligados em paralelo (Un);
 $I_{sc}Mod$ é a máxima corrente de curto circuito do módulo (A).
 A potência de cada painel pode ser definida com a equação 10.

$$P_{DC} = n^{\circ} Mod painel . P_{mod} = 57 . 0,315 = 17,955 kWp \quad Eq(10)$$

Onde: P_{DC} é a potência máxima de cada painel (kWp);
 $n^{\circ} Mod painel$ é a quantidade total de módulos para cada painel (Un);
 P_{mod} é a potência do módulo (kWp).

A potência total do sistema é encontrada usando a equação 11.

$$P_{total} = n^{\circ} paineis . P_{DG} = 3 . 17,955 = 53,865 kWpEq(11)$$

Onde: P_{total} é a potência total gerada pelo sistema (kWp);

P_{DC} é a potência máxima de cada painel (kWp);

n° paineis é a quantidade de painéis que compõem o sistema (Un);

Nas equações realizadas foi possível averiguar a proposta de subdividir a planta total em três painéis contendo cada um deles 57 módulos com três *strings em paralelo* de 19 módulos em série, atendendo às recomendações de ligação do inversor. Cada painel terá uma área de 109,38 m², dois painéis estarão sobre a área 2 destacada em verde anteriormente na figura 17, esta área possui um espaço de aproximadamente 300 m², já o último painel ocupará a área 1 destacada em vermelho na mesma figura, este espaço possui uma área de aproximadamente 200 m².

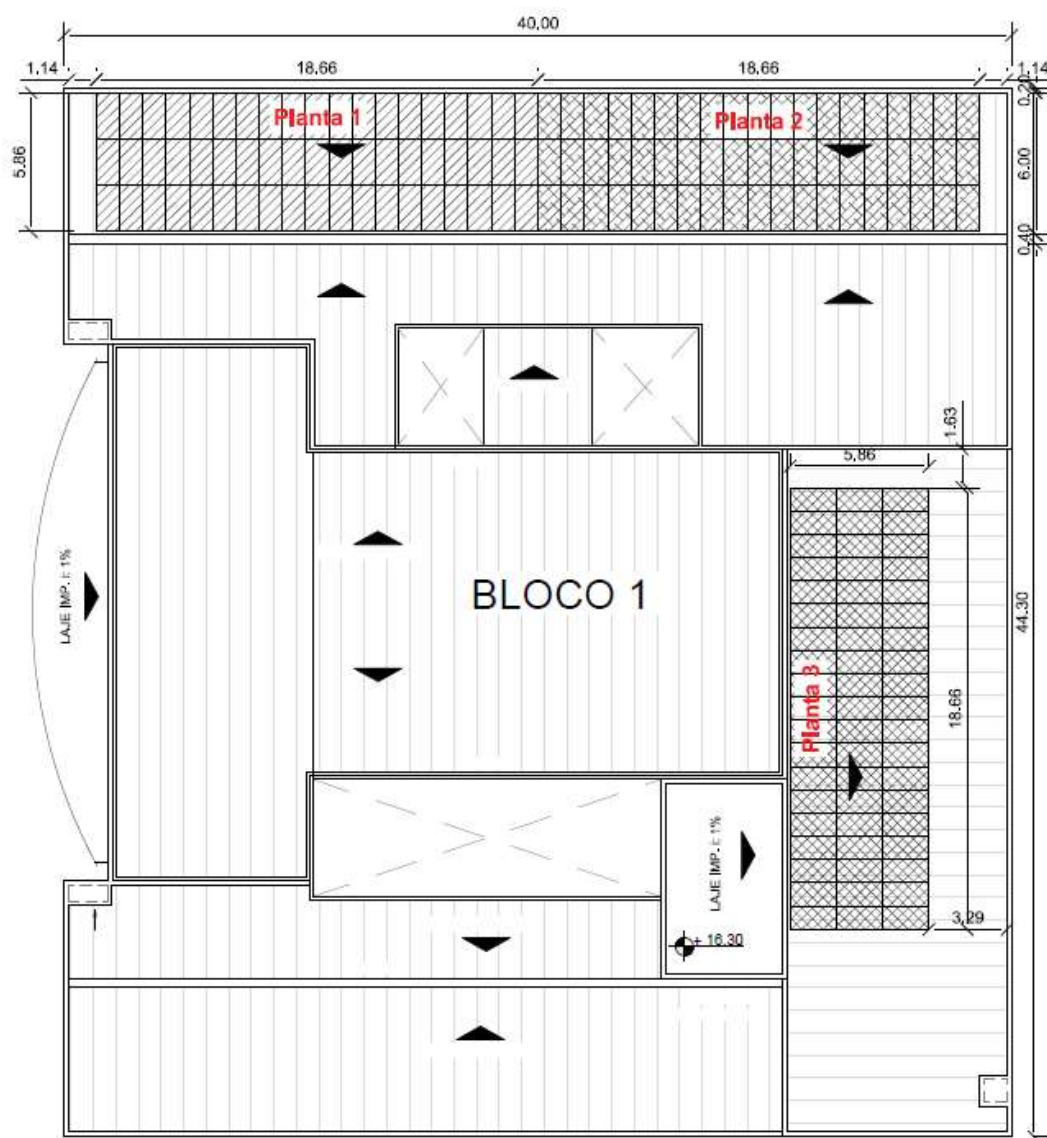
Assim, serão necessários três inversores Fronius modelo Symo20.0.-3-M para atender o sistema no total. A disposição dos painéis no telhado pode ser visualizada na Figura 20.

Além do inversor, será necessário um transformador de 20 KVA para adaptar a tensão trifásica de 380 V para 220 V, um para cada inversor. Esse equipamento é necessário devido à incompatibilidade de tensão do barramento e a fornecida na saída do inversor.

Diante deste estudo fica claro que tecnicamente é viável a implantação do sistema fotovoltaico conectado na rede na cobertura da unidade escolar.

Nas páginas 51 e 52 é ilustrado a projeção de cada painel sobre o telhado da unidade escolar bem como o arranjo básico de cada painel.

Planta Fotovoltaica subdividida em 3 painéis com 57 módulos cada



ESCALA 1:300

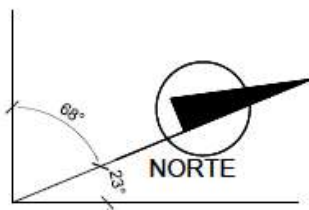


Figura 20 - Disposição dos painéis fotovoltaicos para a unidade escolar

Fonte: Autor, 2016

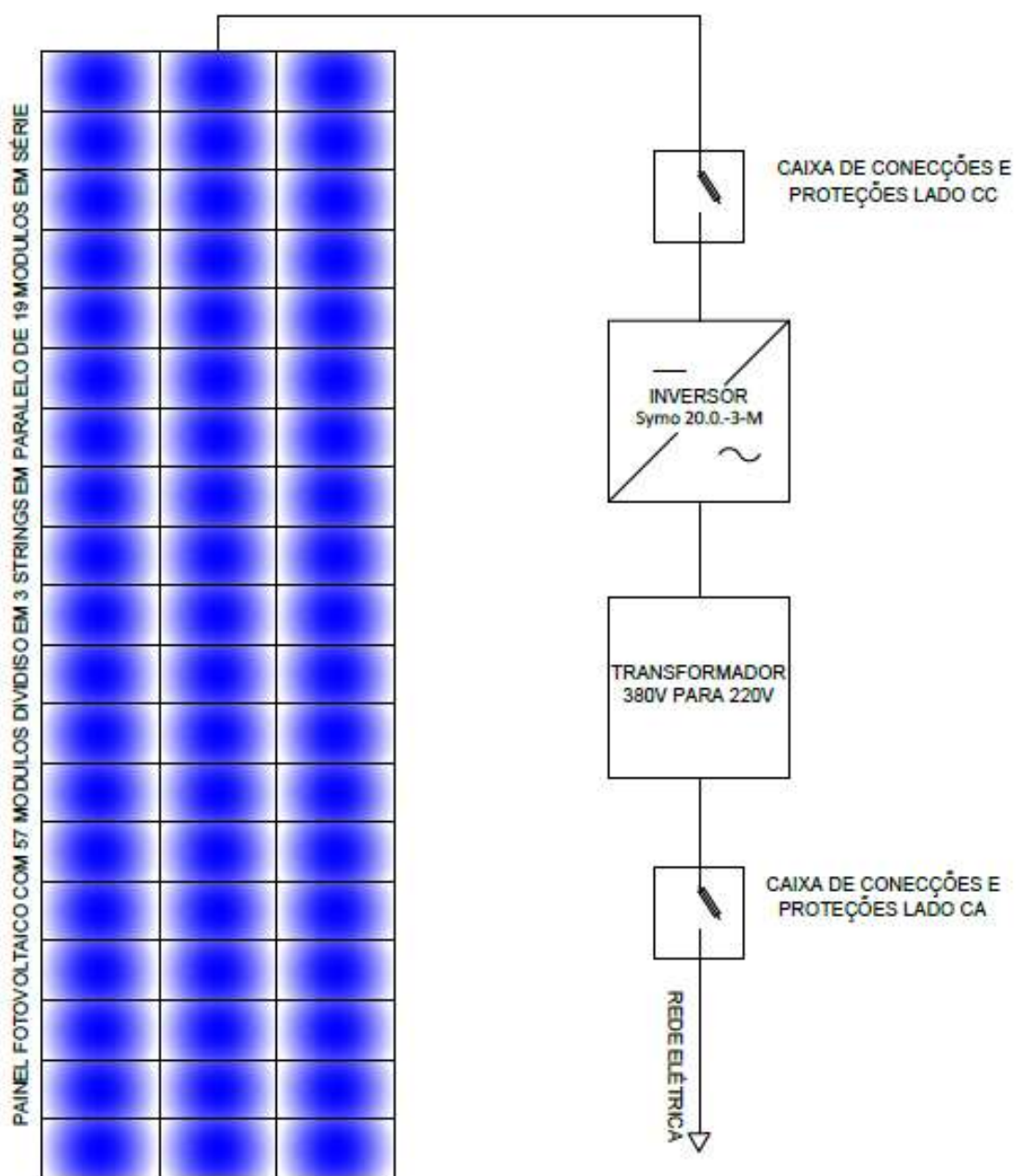


Figura 21–Arranjo básico para disposição de cada painel

Fonte: Autor, 2016

4 ANÁLISE FINANCEIRA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

4.1 ESTIMATIVAS DO VALOR DE INVESTIMENTO

Segundo RÜTHER (2004), o custo estimado para a implantação de um SFVCR pode ser dividido em duas partes, sendo 75% do custo para o inversor e o painel fotovoltaico e os 25% finais representando o custo de instalação, estrutura, fiação, entre outros.

Os valores pesquisados e encontrados para o inversor e módulo selecionado foram de respectivamente R\$ 27.590,00 e R\$ 1.299,00 por unidade. Será necessário para este sistema um total de três inversores e 171 módulos, totalizando um valor de R\$ 304.899,00. Como este valor representa 75% do valor total, logo o custo total de implantação será de aproximadamente R\$ 406.532,00, conforme mostra o Gráfico 2 a seguir:

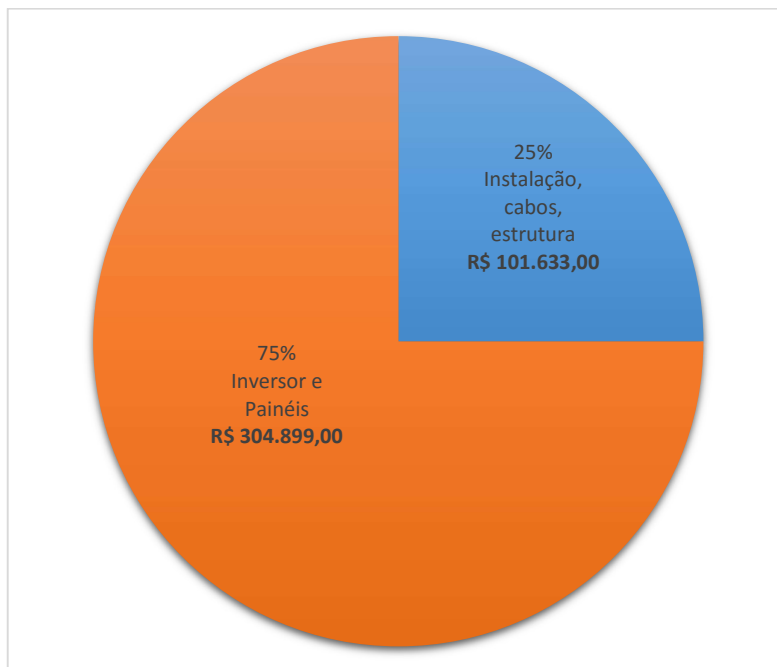


Gráfico 2 - Custos estimados de implantação de um SFVCR

Fonte: Rüter, 2004, adaptada pelo Autor

4.2 GERAÇÃO DO SFVCR, CONSUMO E CUSTO EVITADO

Para determinar quanto o sistema fotovoltaico dimensionado produzirá de energia mensalmente no período de um ano e compará-los com o consumo foram feitos cálculos conforme a equação 12, sugerida por Urbanetz Jr (2013).

$$E = \frac{H_{TOT} \cdot PR}{G} \cdot P_{FV} \text{Eq (12)}$$

A Tabela 9 e o Gráfico 3 demonstram esses cálculos de comparação de forma mais clara.

Tabela 9 - Energia Gerada x Energia Consumida

PERÍODO DO ANO												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total Anual
Energia Gerada Mensalmente (kWh/mês)												
7.155	6.155	6.334	5.110	4.225	3.879	4.257	5.381	5.276	6.242	7.372	7.364	68.750
Energia Consumida Mensalmente (kWh/mês)												
5.683	6.569	15.166	15.107	12.833	10.868	12.211	8.433	10.292	13.514	12.672	14.263	137.611
Porcentagem mensal de energia abastecida pelo SFVCR												Média Anual
125,9%	93,7%	41,8%	33,8%	32,9%	35,7%	34,9%	63,8%	51,3%	46,2%	58,2%	51,6%	50,0%

Fonte: Autor, 2016

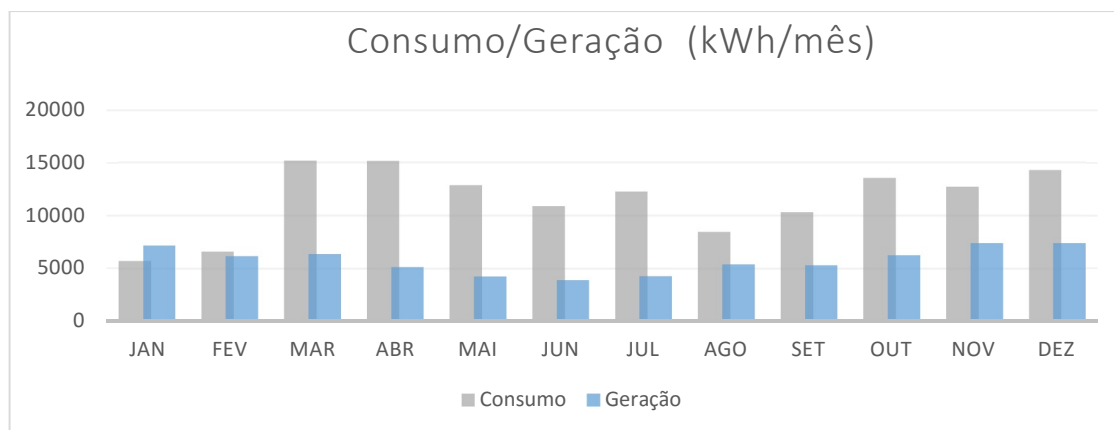


Gráfico 3 - Energia Gerada x Energia Consumida

Fonte: Autor, 2016

Com os dados de consumo e geração, foi encontrado o custo evitado com SFVCR em operação. De acordo com a Tabela 9, o sistema atendeu 50% do consumo anual. Conforme visto anteriormente na Tabela 3, a instituição desembolsou no último ano o total de R\$ 104.779,36 somente com energia elétrica. Logo, o custo evitado seria 50% do valor total pago, o que equivaleria a aproximadamente R\$ 52.389,68.

4.3 ESTIMATIVA DO PERÍODO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

A viabilidade deste projeto foi analisada usando o cálculo do período de retorno do investimento usando o *payback* simples e *payback* descontado.

O *payback* simples é o método mais popular na avaliação de projetos de orçamento de capital. Ele consiste em calcular o período necessário para que o valor investido seja recuperado, não leva em consideração taxas, juros ou qualquer outro índice. O *payback* descontado segue a mesma lógica do *payback* simples, porém abate os saldos com os valores presentes (VP) dos fluxos de caixa, que neste caso será o custo evitado. A taxa de desconto a ser utilizada no cálculo dos valores presentes pode ser o Custo de capital ou o Custo de oportunidade.

No caso do SFVCR deste estudo, a taxa de desconto calculada levou em consideração o valor do investimento aplicado em um fundo de investimento com rendimento de 7,29% ao ano (Figura21), conforme dados fornecidos pelo Banco Central do Brasil.

Resultado da Correção pela Poupança 2015	
Dados básicos da correção pela Poupança	
Dados informados	
Data inicial	01/01/2015
Data final	31/12/2015
Valor nominal	R\$ 1,00 (REAL)
Dados calculados	
Valor percentual correspondente	7,2948400%
Valor corrigido na data final	R\$ 1,07 (REAL)

Figura 22 - Rendimento de um determinado investimento no período de um ano

Fonte: BCB, 2016

Outro índice usado para este cálculo foi o reajuste médio das tarifas da concessionária Copel nos anos de 2001 a 2015. A Tabela 10 mostra a evolução deste índice no decorrer do tempo.

Tabela 10 - Crescimento da tarifa energética dos últimos 15 anos da concessionária Copel

CRESCIMENTO DA TARIFA ENERGÉTICA ÚLTIMOS 15 ANOS															
2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2001-2015
17,31%	10,96%	15,00%	9,00%	9,40%	5,12%	-1,22%	-3,35%	11,42%	9,74%	5,55%	-0,65%	-9,73%	24,86%	52,11%	10,37%

Fonte: Autor, 2016

Esses índices entram de formas diferentes no cálculo do *payback* descontado, sendo o índice de investimento de 7,29% ao ano um valor aplicado sobre o valor investido ao longo dos anos, em outras palavras, é o quanto eu teria de ganho com este investimento em conta poupança em determinado banco para o total investido. Já o crescimento da tarifa energética de 10,37% é índice que deve ser aplicado sobre o valor da tarifa, ou seja, quanto será o valor corrigido da energia elétrica no decorrer dos anos em estudo.

Para está análise não foram levadas em consideração troca do inversor, perde de rendimentos e o custo de manutenção.

Na Tabela 11 elaborada com auxílio do *software excel*² é possível visualizar a análise financeira considerando as duas formas de *payback*.

Tabela 11 - Cálculo do *payback* simples e descontado para SFVCR

Payback Simples				Payback Descontado*			
Ano	Investimento	Saldo		Ano	Investimento VP	Saldo (VP)	
0	-R\$ 406.532,00	-R\$ 406.532,00		0	-R\$ 406.532,00	-R\$ 406.532,00	

²Microsoft Excel – Software desenvolvido pela empresa Microsoft Corporation, que permite realizar tarefas contábilísticas e financeiras graças às suas aplicações para criar e trabalhar com folhas de cálculo.

Ano	Custo Evitado (CE)		Saldo		Ano	Custo Evitado VP		Saldo (VP)	
1	R\$	52.347,66	-R\$	354.184,34	1	R\$	57.775,06	-R\$	378.412,80
2	R\$	52.347,66	-R\$	301.836,69	2	R\$	63.765,18	-R\$	314.647,62
3	R\$	52.347,66	-R\$	249.489,03	3	R\$	70.376,35	-R\$	308.036,44
4	R\$	52.347,66	-R\$	197.141,37	4	R\$	77.672,98	-R\$	236.974,64
5	R\$	52.347,66	-R\$	144.793,71	5	R\$	85.726,11	-R\$	222.310,33
6	R\$	52.347,66	-R\$	92.446,06	6	R\$	94.614,19	-R\$	142.360,45
7	R\$	52.347,66	-R\$	40.098,40	7	R\$	104.423,79	-R\$	117.886,54
8	R\$	52.347,66	R\$	12.249,26	8	R\$	115.250,45	-R\$	27.110,00
9	R\$	52.347,66	R\$	64.596,92	9	R\$	127.199,62	R\$	9.313,08
10	R\$	52.347,66	R\$	116.944,57	10	R\$	140.387,67	R\$	113.277,68
11	R\$	52.347,66	R\$	169.292,23	11	R\$	154.943,07	R\$	164.256,15
12	R\$	52.347,66	R\$	221.639,89	12	R\$	171.007,57	R\$	284.285,24
13	R\$	52.347,66	R\$	273.987,55	13	R\$	188.737,63	R\$	352.993,77
14	R\$	52.347,66	R\$	326.335,20	14	R\$	208.305,95	R\$	492.591,19
15	R\$	52.347,66	R\$	378.682,86	15	R\$	229.903,11	R\$	582.896,88
16	R\$	52.347,66	R\$	431.030,52	16	R\$	253.739,46	R\$	746.330,65
17	R\$	52.347,66	R\$	483.378,18	17	R\$	280.047,17	R\$	862.944,05
18	R\$	52.347,66	R\$	535.725,83	18	R\$	309.082,46	R\$	1.055.413,11
19	R\$	52.347,66	R\$	588.073,49	19	R\$	341.128,13	R\$	1.204.072,18
20	R\$	52.347,66	R\$	640.421,15	20	R\$	376.496,29	R\$	1.431.909,40
21	R\$	52.347,66	R\$	692.768,80	21	R\$	415.531,43	R\$	1.619.603,61
22	R\$	52.347,66	R\$	745.116,46	22	R\$	458.613,73	R\$	1.890.523,13
23	R\$	52.347,66	R\$	797.464,12	23	R\$	506.162,80	R\$	2.125.766,41
24	R\$	52.347,66	R\$	849.811,78	24	R\$	558.641,76	R\$	2.449.164,89
25	R\$	52.347,66	R\$	902.159,43	25	R\$	616.561,74	R\$	2.742.328,14
Payback Simples				Payback descontado					
Anos	8			Anos	9				
Meses	9			Meses	3				

Fonte: Autor, 2016

Tanto nos cálculos de *payback* simples como no descontado foram obtidos resultados de tempo de retorno do investimento pequeno em torno de 8 a 9 anos. Além disso, em uma projeção de 25anos, o sistema fotovoltaico conectado a rede implantado na instituição terá uma economia de pelo menos R\$ 902.159,43 em gastos com energia elétrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O consumo de eletricidade a nível mundial atualmente está três vezes maior do que o atingido no início da Revolução Industrial e pesquisas estimam que essa taxa ainda vá aumentar nos próximos anos, principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil.

Com base nesses dados, se torna uma necessidade urgente investir em fontes renováveis para geração de energia. Uma opção para isso é o sol, que pode ter sua radiação transformada em energia elétrica de maneira eficiente. Pensando nisso, em 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica aprovou a resolução normativa 482 para incentivar a microgeração de eletricidade usando fontes renováveis, entre elas os SFVCR. Esse sistema possibilita a diminuição do uso de eletricidade proveniente da concessionária e conseqüentemente abatimentos na fatura de energia elétrica.

No entanto, a instalação de um sistema fotovoltaico ainda é vista por muitas entidades públicas e privadas como um investimento difícil de ser realizado e altamente dispendioso, situação que não condiz totalmente com a realidade.

O sistema fotovoltaico conectado à rede, por exemplo, produz energia no ponto de consumo, dispensa o armazenamento de energia em banco de baterias e seu excedente ainda é absorvido pela rede elétrica, podendo ser utilizado por outros consumidores. Isso traz uma economia na conta de energia elétrica do consumidor e ainda contribui com o meio ambiente ao reduzir a geração de energia por fontes convencionais como usinas térmicas.

Nesse sistema, a eletricidade é gerada quando há exposição de um material semicondutor, geralmente silício, à radiação eletromagnética. Assim, a captação da luz realizada por módulos solares a transforma diretamente em energia elétrica, com baixa poluição e com a capacidade de se renovar.

Por isso, com o objetivo de incentivar os investimentos nessa fonte de energia, este trabalho teve como objetivo principal analisar a viabilidade técnica e econômica para instalar o sistema em uma escola de São José dos Pinhais – PR. A instituição possui área construída de seis mil e quinhentos metros quadrados e atende cerca de mil e trezentos alunos com um consumo energético médio mensal de 10.775 kWh a um custo anual de R\$ 104.779,32.

Para diminuir esse valor, a proposta foi a de implantar um sistema fotovoltaico conectado à rede com módulos com células de silício policristalino. O modelo selecionado de módulo fotovoltaico foi o CS6X-315P da marca *Canadian Solar*, que possui certificação INMETRO nota “A” e 10 anos de garantia contra defeitos de fabricação. Já o inversor escolhido é o da marca Fronius, modelo Symo20.0.-3-M, pois é considerado um dos mais avançados da sua classe. A planta total está subdividida em três painéis contendo 57 módulos em cada com três *strings em paralelo* de 19 módulos em série totalizando 53,865 kWp de potência instalada.

Para a implantação deste sistema, o custo total de implantação será de aproximadamente R\$ 406.532,00. No entanto, ele diminuirá em 50% o gasto da instituição com energia elétrica, gerando uma economia no primeiro ano de aproximadamente R\$ 52.389,68.

Além disso, utilizando os cálculos de *payback*(período de retorno do investimento), foi possível verificar que o valor total investido será recuperado em poucos anos. Com o *payback* simples, por exemplo, que não leva em consideração taxas, juros ou qualquer outro índice, todo o valor do sistema seria recapitalizado em sete anos, e ao decorrer de 25 anos, geraria uma economia aproximada de quase R\$ 902 mil. Já no *payback* descontado, que abate os saldos com os valores dos fluxos de caixa, a totalidade do valor do sistema seria resgatado em 9 anos e ao final dos 20 anos geraria uma economia de aproximadamente R\$ 2,7 milhão.

Logo, este trabalho pode concluir que a implantação do sistema fotovoltaico conectado à rede é viável tecnicamente devido à grande variedade de opções de produtos disponíveis no mercado que atendem às necessidades do projeto com qualidade e valor competitivo. Além disso, também é viável economicamente porque gerará uma economia capaz de resgatar todo o valor investido em no máximo nove anos e ao logo de sua utilização evitará altos custos com energia elétrica. Assim, trará benefícios econômicos para a instituição e ainda contribuirá com o planeta, já que se trata de uma fonte de energia renovável.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 11704**: Sistemas fotovoltaicos – Classificação. Rio de Janeiro, 2008.

AGÊNCIA FIEP. **Carga tributária, inflação e custos de energia e matérias-primas preocupam empresários**, 2015. Disponível em: <<http://www.agenciafiiep.com.br/noticia/carga-tributaria-inflacao-e-custos-de-energia-e-materias-primas-preocupam-empresarios/>> Acesso em: 18 de novembro de 2015.

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação De Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede**, USP, 2012.

AMERICA DO SOL. **Silício Cristalino**. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/silicio-cristalino/>>. Acesso em: 09 de abril de 2016a.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil - 2ª Edição**. ANEEL, 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/atlas2005.zip>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

_____. **Resolução Normativa No 482 de 17 de Abril de 2012**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20 de novembro de 2015.

APESF. Associação Portuguesa das empresas do sector fotovoltaico. **O que é fotovoltaico**. Disponível em: <<http://www.apesf.pt/index.php/o-que-fazemos>>. Acesso em 15 jun. de 2016.

BCB. **Correção de Valores**. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores&aba=3>>. Acesso em: 18 set. 2016

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL, 2004. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf>. Acesso em: 17 junho. 2016

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. MME, mai. 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2016.

_____. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2015-2024)**, Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/DEA%2003-2015-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015-2024.pdf>>. Acesso em: 20 de Novembro de 2015.

FOCUSOLAR. Revista Digital sobre Energia Alternativa e Renovável. **Sistemas Fotovoltaicos**. Disponível em: <<http://focusolar.com.br/sistemas-fotovoltaicos>> Acesso em 16 de Jun. de 2016.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Version 7.1.5.1557. 2015. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em 23 mar 2016.

GREEN, M. A. et al. **Solar cell efficiency tables**: version 16. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Sydney, v. 8, p. 377-384, 2000

HSW. How Stuff Works - Como Tudo Funciona. **O que é uma célula solar de película fina?**. Disponível em: <<http://ambiente.hsw.uol.com.br/pelicula-de-celula-solar1.htm>> Acesso em 23 de mai. de 2016.

IEE. Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo. **Sistemas fotovoltaicos isolados**. Disponível em: < <http://lsf.iee.usp.br/?q=pt-br/sistemas-fotovoltaicos-isolados> >. Acesso em 29 jun. de 2016.

LAMBERTS, R... et al. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia Volume 2**. UFSC, 2010. Disponível em: < http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_II_WEB.pdf>. Acesso em 12 jul. 2016.

LIMA, Kellen Carla. **Radiação Solar Global**, UFPEL, 2003.

MARSOLENERGIA. Marsol Energia Eficiência Energética e Soluções Sustentáveis. **Sistema de Aquecimento de Água Solar – Funcionamento** Disponível em: <<http://www.marsolenergia.com/aquecimento-solar-de-agua>> Acesso em 16 jun. de 2016.

MIYAZATO, T. **Integração do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) ao projeto de edificações residenciais**. 2012. 193f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MONTENEGRO, Alexandre. **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil**, 2013. 209 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.2013

MOTTA, Régis da Rocha. CALÔBA, Guilherme Marques. **Análise de investimentos**: tomada de decisão em projetos industriais. São Paulo: Editora Atlas, 2010.6.Reimpressão.

NAKABAYASHI, Renny. Kunizo. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1. ed. São José dos Campos, 2006

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A.; Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). CEPEL - GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014, 529 p.

RISPOLI, Í. A. G. **Estudo do aproveitamento da energia solar para aquecimento de água em edificações unifamiliares de baixa renda**. 2001. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

_____. **O aquecedor solar brasileiro: teoria e prática em prol de uma transferência de tecnologia sustentável**. 2008. 245 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligadas à Rede Elétrica Pública**. LABSOLAR Florianópolis: Editora da UFSC, 2004. 113

SOLARSOU. Solarsou Soluções em Energia. **Sistema de Compensação**. Disponível em: <<http://solarsou.com.br/geracao-de-energia-solar-em-blumenau-e-santa-catarina-como-funciona-o-sistema-de-compensacao-da>> Acesso em 22 mai. de 2016.

SUNFLOWER-SOLAR. 1st Sunflower Solar Renewable Energy. **Solar Generators**. Disponível em: <<http://www.sunflower-solar.com/>>

UFRGS. **Programa RADIASOL**. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em 19 de maio de 2016

URBANETZ JR, Jair. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Dimensionamento de Sistemas**, UTFPR, 2013

_____. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**, 2010. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

_____; CASAGRANDE JR, Eloy Fassi; TIEPOLO, Gerson Máximo. **Análise do Desempenho de Dois Anos de Operação do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR**. In: V Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2014, Recife. **Artigo**, Curitiba: UTFPR, 2014.