

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

KAWANY DA SILVA LIMA

**APLICAÇÃO DE VIDRO FOTOVOLTAICO NA FACHADA DO
EDIFÍCIO “LEONILDE E SYLVIO PIRILLO” DA UNIVERSIDADE
SANTA CECÍLIA**

SANTOS – SP

Junho/2019

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

KAWANY DA SILVA LIMA

**APLICAÇÃO DE VIDRO FOTOVOLTAICO NA FACHADA DO
EDIFÍCIO “LEONILDE E SYLVIO PIRILLO” DA UNIVERSIDADE
SANTA CECÍLIA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção do título de Engenheiro Civil à
Faculdade de Engenharia da Universidade
Santa Cecília, sob a orientação do Professor
Ms. JOSÉ ROBERTO ABBUD JORGE.**

**SANTOS – SP
Junho/2019**

KAWANY DA SILVA LIMA

**APLICAÇÃO DE VIDRO FOTOVOLTAICO NA FACHADA DO EDIFÍCIO
“LEONILDE E SYLVIO PIRILLO” DA UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Engenheiro (a) Civil à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Santa Cecília.

Data da aprovação: __/__/__

Nota: _____

Banca examinadora

Prof. Ms. Eng. José Roberto Abbud Jorge
Orientador

Prof. Ms. Eng. Nilene Janini de Oliveira Seixas

Prof. Ms. Eng. Rosana Alo Maluza Braga

DEDICATÓRIA

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada. Aos familiares, namorado e colegas, pelo incentivo e apoio nos momentos de dificuldade.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela força para superar todas as dificuldades.

A todos os docentes que contribuíram de uma forma significativa para a formação profissional e pessoal. Em especial, ao Prof. Ms. **José Roberto Abbud Jorge** pela orientação, apoio e confiança.

Grandiosos agradecimentos aos meus pais pelo constante amparo, que ao longo destes anos da faculdade me ajudaram na realização de um sonho. À avó **Sonia Cleia** e ao namorado **Sander Kramer** pela compreensão e apoio nos momentos de estresse.

Agradeço à empresa **Onyx Solar** e ao **Guilherme Chispim** por ajudar com dados essenciais para a realização do projeto.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para o aprendizado.

*Consagra ao SENHOR todas as tuas
obras e os teus planos serão bem-
sucedidos.*

(Provérbios 16:3)

RESUMO

O ramo da construção civil é a área onde está a maior possibilidade de economia de energia elétrica e de redução de emissão de gases do efeito estufa. Por isso, uma das questões que gera preocupação global, é a do uso mais inteligente e correto, dos recursos tecnológicos para a questão da sustentabilidade. Neste cenário, inclui-se o uso de uma tecnologia solar fotovoltaica integrada aos edifícios, conhecida como BIPV (*Building Integrated PhotoVoltaics*), um vidro que transforma a energia do sol em eletricidade, e sua aplicação é uma das mais ideais, dentre as tecnologias solares disponíveis atualmente, devido a inúmeras vantagens. No Brasil, o consumo de energia elétrica cresceu no último ano, e mesmo não havendo incentivos econômicos suficientes para aplicação desta tecnologia no país, o Brasil tem uma das condições climáticas mais favoráveis à utilização do material, por receber um alto índice de irradiação, com nível superior a países da Europa, em que conseguem aplicar e consolidá-la, com êxito, seu uso. No trabalho proposto avaliaremos esta tecnologia solar fotovoltaica aplicada na fachada, de um dos prédios institucionais da Universidade Santa Cecília. Os resultados indicarão a viabilidade considerando a economia gerada pelo uso deste material. A meta é demonstrar que podemos realizar construções modernas e autossustentáveis.

Palavras-chave: BIPV; tecnologia fotovoltaica; energia solar; sustentabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de empregos gerados por energias renováveis no mundo	21
Figura 2 - Recursos Energéticos totais da Terra	22
Figura 3 - Mapa do Potencial de Geração Solar FV, em termos do rendimento energético anual no Brasil (em kWh/kWp.ano) no perfil de cores	23
Figura 4 - Distribuição percentual da radiação solar incidente na Terra.....	26
Figura 5 - Distribuição de irradiação global no Brasil em Wh/m ² . dia (Watt-hora por metro quadrado por dia)	27
Figura 6 - Mapa de Incidência Solar Global anual da Baixada.....	27
Figura 7 - Ângulos notáveis em solarimetria	28
Figura 8 - Participação de cada tecnologia fotovoltaica no mercado mundial	30
Figura 9 - Exemplo de célula solar de silício cristalino (c-Si).....	31
Figura 10 - Exemplo de célula solar de silício amorfo (a-Si)	34
Figura 11 - Componentes básicos de um sistema fotovoltaico autônomo/isolado	35
Figura 12 - Componentes básicos de um sistema fotovoltaico conectado à rede	36
Figura 13 - Edifício Leonilde e Sylvio Pirillo – Vista Frontal.....	38
Figura 14 - Histórico de demanda em KW – Novembro/2017 à Nov/2018	39
Figura 15 - Histórico de Consumo em KWh – Nov/2017 à Nov/2018.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Radiação Solar Global média no município de Santos em kWh/m ² .dia ..	28
Quadro 2 - Metragem da fachada do edifício estudado	38
Quadro 3 - Consumo de energia elétrica por carga instalada	40
Quadro 4 - Dados dos materiais de silício fabricados pela Onyx Solar	41
Quadro 5 - Dados do silício amorfo (a-Si)	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Top 10 países com maior capacidade instalada de geração FV (fotovoltaico)	20
--	----

ABREVIATURAS E SIGLAS

A - Área

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

APs - Autoprodutores

BIPV - Building Integrated Photovoltaics

CA - Corrente Alternada

CC - Circuito Contínuo

c-Si - Silício Cristalino

EUA - Estados Unidos da América

FV - Fotovoltaico

IBOPE - Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística

IEC - Comissão Eletrotécnica Internacional

IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

IRENA - Agência Internacional para as Energias Renováveis

kW - Quilowatt

kWh - Quilowatt-hora

kWp - Quilowatts-pico

MAE - Mercado Atacadista de Energia elétrica

m-Si - Silício monocristalino

NBR - Normas Brasileiras

Nov - Novembro

ONS - Operador Nacional do Sistema elétrico

Pi - Potência fornecida pela fonte de Luz

PIEs - Produtores Independentes de Energia

Pg - Potência gerada

Po - Potência elétrica obtida na saída

p-Si - Silício Policristalino

Std – Standard

Unisantia – Universidade Santa Cecília

V - Volts

Wh/m².dia - Watt-hora por metro quadrado por dia

Wp - Watt-pico

LISTA DE SÍMBOLOS

Θ_z - Ângulo zenital solar

δ - Declinação solar

ω - Ângulo horário solar

η - Rendimento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	18
3 PESQUISA TEÓRICA	19
3.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
3.1.1 Histórico	19
3.1.2 Energia Solar Fotovoltaica no mundo	20
3.2 POTENCIAL FOTOVOLTAICO	21
3.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA EM VIGOR – ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e NBR (Normas Brasileiras)	23
3.4 NORMAS INTERNACIONAIS.....	24
3.5 RADIAÇÃO SOLAR	25
3.5.1 Definições	28
3.5.2 Aproveitamento	29
3.6 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	29
3.6.1 Principais Tecnologias Fotovoltaicas	30
3.6.1.1 <i>Silício Cristalino (c-Si)</i>	31
<u>3.6.1.1.1 Silício monocristalino (m-Si)</u>	31
<u>3.6.1.1.2 Silício Policristalino (p-Si)</u>	32
3.6.1.2 <i>Película fina</i>	32
<u>3.6.1.2.1 Silício amorfo (a-Si)</u>	33
3.7 SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO EM EDIFÍCIOS (BIPV)	34
3.7.1 Sistema Isolado (autônomo)	35
3.7.2 Sistema Fotovoltaico Conectado à rede elétrica (On-Grid)	36

4 MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA (UNISANTA)	37
4.1.1 Metragem da fachada do edifício - Vista Frontal	38
4.1.2 Consumo de energia elétrica da Universidade	39
4.1.3 Consumo de energia elétrica por carga instalada	40
4.1.4 Conta de luz da Universidade	41
4.2 EMPRESA ONYX SOLAR	41
4.3 CÁLCULOS UTILIZADOS	41
5 RESULTADOS	43
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	43
5.2 MATERIAL ESCOLHIDO	43
5.3 QUANTIDADE DE MATERIAL.....	44
5.4 POTÊNCIA MÁXIMA PRODUZIDA	44
5.5 MÁXIMA ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA	45
5.6 CUSTO DO MATERIAL	45
5.7 VALOR, EM REAIS, ECONOMIZADO	45
5.8 RETORNO DE INVESTIMENTO (SIMPLES).....	46
6 CONCLUSÃO	47
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO	52

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A energia solar é a fonte de energia menos poluente e menos finita conhecida até o momento. Disponível para a humanidade desde o surgimento da vida na Terra, nunca foi aproveitada de forma tão eficiente quanto às demais, considerando-se que as outras fontes de energia renováveis sempre apresentam alguma desvantagem (LOPEZ, 2012).

Um dos meios de aproveitamento desta energia é utilizando uma tecnologia solar fotovoltaica integrada ao edifício, que converte luz solar em eletricidade utilizando materiais semicondutores, como o silício, ou revestida com uma fina camada de metal (RÜTHER, 2004).

Em São Paulo, o consumo de energia elétrica cresceu no último ano, segundo a Secretaria de Energia e Mineração do Governo do Estado de São Paulo, e a energia solar fotovoltaica apresenta um papel primordial, pois a matriz energética é basicamente hidroelétrica e, como é sabido, em períodos de seca é necessário ativar as usinas termelétricas para suprir o consumo, os quais são, em geral, caros e poluentes. Com o desenvolvimento da geração de energia solar fotovoltaica, o País poderá garantir, por exemplo, o fornecimento de energia em períodos de seca (justamente os períodos de maior insolação), com menor custo e sem qualquer poluição (FREITAS, 2018, p. 34).

Na Europa, o Plano de Eficiência Energética identificou o setor da construção como a área onde está a maior possibilidade de economia de energia e de emissão de gases do efeito estufa (BUHLER, HOEFLING, GABE, 2018).

E a tecnologia fotovoltaica aplicada em fachadas é uma das formas de utilização da energia solar, dentre as disponíveis atualmente, devido a inúmeras vantagens, encontra as soluções para ganhos em eficiência energética nas edificações, melhora o conforto térmico e da iluminação interna, além de adicionar interesse arquitetônico à construção (STRONG, 2016).

E como propósito desse projeto, será realizada uma análise para um edifício da Universidade Santa Cecília em Santos, São Paulo, utilizando a tecnologia solar fotovoltaica na fachada, avaliando a viabilidade econômica do uso desse material.

Como estudante de engenharia civil, é importante oferecer uma alternativa que seja viável financeiramente, ambientalmente adequada e que acrescentará à

sociedade, reduzindo o uso da energia elétrica convencional, diminuindo a necessidade de construir novas usinas e, conseqüentemente, os impactos gerados por elas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho será avaliar a viabilidade econômica da utilização dos vidros fotovoltaicos, que transformam energia solar em energia elétrica, em uma edificação. Serão demonstrados os métodos para avaliação, levando em conta a pesquisa teórica e as normas brasileiras aplicáveis.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Será realizado um estudo de caso para aplicação da tecnologia solar fotovoltaica chamada BIPV (*Building Integrated PhotoVoltaics*), tendo como base o edifício “Leonilde e Sylvio Pirillo” da Universidade Santa Cecília. Utilizando esta tecnologia na fachada, mostrando se pode ser eficiente, para redução de energia elétrica, e viável economicamente.

3 PESQUISA TEÓRICA

3.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Energia solar é a energia proveniente da luz e do calor do Sol, é usufruída e utilizada através de diferentes tecnologias, como por exemplo, pelo sistema fotovoltaico. Considerado uma fonte de energia limpa e sustentável, é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico) (LOPEZ, 2012).

Um sistema fotovoltaico é uma fonte de potência elétrica, em que células fotovoltaicas transformam a Radiação Solar diretamente em energia elétrica. Esses sistemas, desde que tenham radiação solar suficiente, podem ser implantados em qualquer lugar, segundo o Programa ALTENER da Comissão Europeia, em 2004.

3.1.1 Histórico

Através do crescente processo de transformações que ocorrem na humanidade, as cidades tornam-se cada vez maiores e conseqüentemente, cresce a necessidade de energia (LOPEZ, 2012).

A história do uso de energia solar ocorreu em 1873 na França, no qual o físico Alexandre Edmond Becquerel, realizava experiências eletroquímicas e observou o efeito fotovoltaico, quando a exposição de eletrodos de platina ou prata à luz, geravam esse efeito (INSTITUTO SUPERIOR TECNICO DE LISBOA, 2018).

E assim, com o passar dos anos, foram desenvolvidas e aprimoradas as células fotovoltaicas, sendo a primeira produzida em 1954 por cientistas da Bell Lab. E até hoje, as células ainda são estudadas de forma intensa, para um melhor aproveitamento e aperfeiçoamento desses materiais (INSTITUTO SUPERIOR TECNICO DE LISBOA, 2018).

3.1.2 Energia Solar Fotovoltaica no mundo

O uso de tecnologias solares fotovoltaicas como fonte de energia elétrica não para de crescer e é empregado por vários países, principalmente os EUA e a China, atualmente líderes na geração de energia solar, e através de seus investimentos realizados, a capacidade mundial instalada aumentou 50%, segundo Fontes (2017).

Na Tabela 1, mostra o *Ranking* Mundial Solar Fotovoltaico no mundo, observa-se que o Brasil não está na lista:

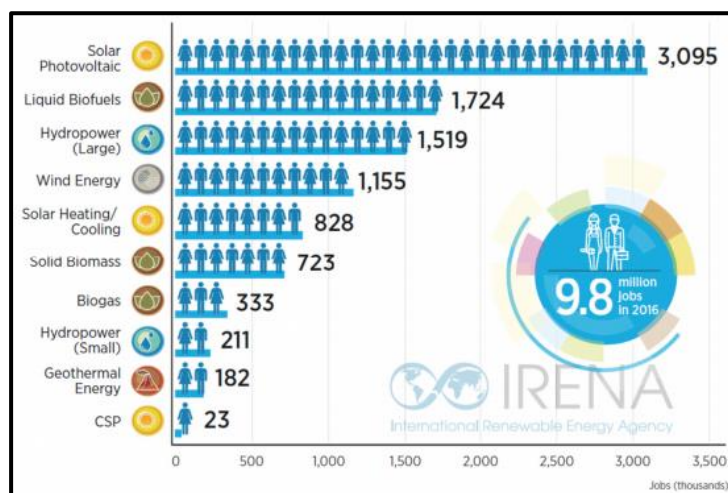
Tabela 1 - Top 10 países com maior capacidade instalada de geração FV (fotovoltaico)

1		China	34,5 GW
2		USA	14,7 GW
3		Japan	8,6 GW
4		India	4 GW
5		UK	2 GW
6		Germany	1,5 GW
7		Korea	0,9 GW
8		Australia	0,8 GW
9		Philippines	0,8 GW
10		Chile	0,7 GW

Fonte: (ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017).

A energia solar fotovoltaica é a maior geradora de empregos renováveis em âmbito mundial, considera-se que a energia renovável empregou 9,8 milhões de pessoas em 2016 em todo o mundo, sendo a energia solar fotovoltaica o maior empregador com cerca de 3,1 milhões de empregos, mostrada na Figura 1 (ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017).

Figura 1 - Gráfico de empregos gerados por energias renováveis no mundo



Fonte: (ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017).

Infelizmente, o Brasil está 15 anos atrasado entre o mercado mundial, apesar de 85% dos brasileiros almejam usufruir da energia renovável em casa, segundo IBOPE - Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística (2017, apud ANEEL, 2018, p.16). O que chama atenção devido às altas condições favoráveis ao desenvolvimento dessa fonte no país (ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017).

3.2 POTENCIAL FOTOVOLTAICO

A proporção do potencial mundial da energia solar anual, em relação aos recursos energéticos das demais fontes de energia, é mostrada na Figura 2:

Figura 2 - Recursos Energéticos totais da Terra



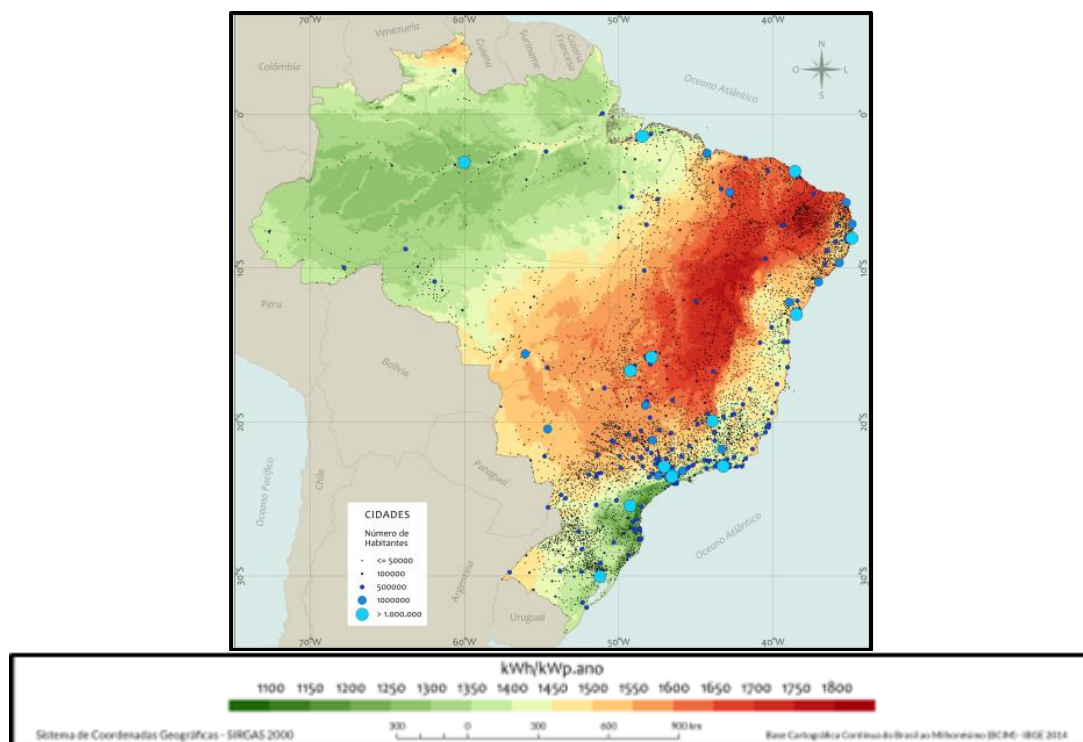
Fonte: (MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017)

O sistema fotovoltaico tem grande potencial no Brasil, pois detém altos índices de irradiação, principalmente em grande parte do Nordeste Brasileiro, obtém grande aproveitamento do recurso solar, mostrando-se uma excelente opção, inclusive, em complementação de fontes de energia elétrica convencionais, como as hidroelétricas, favorecendo o controle hídrico dos reservatórios, nos períodos de menor incidência de chuvas (PEREIRA *et al.*, 2017).

“No local menos ensolarado do país, gera mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo” (PEREIRA *et al.*, 2017, p.57).

A Figura 3 mostra o mapa de rendimento energético anual máximo no país, medido em kWh (Quilowatt-hora) de energia elétrica gerada por ano, para cada kWp (Quilowatt-pico) de potência fotovoltaica instalada, tanto para usinas de grande porte centralizadas, como para a geração fotovoltaica distribuída. Nota-se que as regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, possuem os maiores rendimentos anuais do país (PEREIRA *et al.*, 2017).

Figura 3 - Mapa do Potencial de Geração Solar FV, em termos do rendimento energético anual no Brasil (em kWh/kWp.ano) no perfil de cores



Fonte: (PEREIRA *et al.*, 2017).

A destacada diminuição de custos que a tecnologia fotovoltaica testou nos últimos dez anos vem refletindo-se em custos, em um mercado mais competitivo. E uma continuação desta tendência, possivelmente, resultará na adoção crescente da tecnologia solar no Brasil (PEREIRA *et al.*, 2017).

3.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA EM VIGOR – ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e NBR (Normas Brasileiras)

São apresentadas abaixo, as normas brasileiras para aplicação de um sistema fotovoltaico (ALVEZ, *et.al.*, 2004):

- **ABNT NBR IEC 62116 (2012):** Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;
- **ABNT NBR 5456 (2010):** Eletricidade Geral – Terminologia;

- **ABNT NBR 16149 (2013):** Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- **ABNT NBR 16150 (2013):** Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade;
- **ABNT NBR 16274 (2014):** Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho;
- **ABNT NBR 11089 (2013):** Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia;
- **Lei 8.631/93:** Dispõe sobre a fixação dos níveis das tarifas para o serviço público de energia elétrica, extingue o regime de remuneração garantida e dá outras providências;
- **Lei 8.987/95:** Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências;
- **Lei 9.074/95:** estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências;
- **Lei 2.003/96:** Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por autprodutor e dá outras providências;
- **Decreto 2.655/98:** Regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica, define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico, de que trata a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e dá outras providências;
- **Resolução 112/1999:** Estabelece os requisitos necessários à obtenção de Registro ou Autorização para a Implantação, Ampliação ou Repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia.

3.4 NORMAS INTERNACIONAIS

Abaixo contém as normas internacionais do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) e da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) para

Sistemas Fotovoltaicos (ALVEZ, et. al., 2004):

- **IEEE Std (*Standard*) 928 (1986)**: Critérios recomendados pela IEEE para sistemas de energia fotovoltaica terrestre;
- **IEEE Std 929 (1986)**: Prática Recomendada da IEEE para Interface de Utilitários de Sistemas Fotovoltaicos Residenciais e Intermediários (PV);
- **IEEE Std 1374 (1998)**: IEEE 1374-1998 - Guia IEEE para Segurança do Sistema de Energia Fotovoltaica Terrestre;
- **IEEE Std 1562 (2007)**: Guia IEEE para dimensionamento de matrizes e baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos (PV);
- **IEEE Std 1547 (2018)**: Norma IEEE para Interconexão e Interoperabilidade de Recursos Energéticos Distribuídos com Interfaces de Sistemas de Energia Elétrica Associados;
- **IEC 60364-7-712 (2002)**: Requisitos para instalações ou locais especiais - Sistemas de fornecimento de energia solar fotovoltaica (PV);
- **IEC 62109-1 (2010)**: Segurança de conversores de energia para uso em sistemas de energia fotovoltaica - Parte 1: Requisitos gerais.
- **IEC 62109-2 (2011)**: Segurança de conversores de potência para utilização em sistemas de energia fotovoltaica - Parte 2: Requisitos particulares para inversores.

3.5 RADIAÇÃO SOLAR

O Sol fornece energia na forma de radiação, que é a base de toda a vida na Terra. E essa energia incidente, equivale a toda energia consumida no mundo por 27 anos (LOPEZ, 2012).

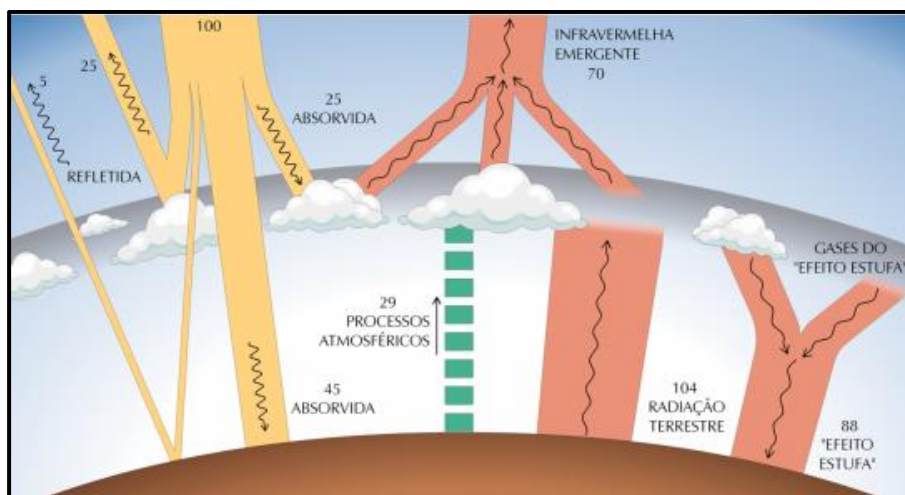
“Devido à grande distância entre o Sol e a Terra, apenas uma mínima parte (aproximadamente duas partes por milhão) da radiação solar emitida atinge a superfície da Terra. Esta radiação corresponde a uma quantidade de energia de 1×10^{18} KWh/ano”. (PROGRAMA ALTENER, 2004, p. 2.7).

A radiação que é distribuída não é uniforme, pois depende de iluminação e

intensidade, questões as quais estão relacionadas à localidade da região na Terra e as estações do ano (LOPEZ, 2012).

A Figura 4 mostra os processos de interação entre a radiação solar e os principais componentes atmosféricos: distribuição percentual da radiação solar incidente na Terra:

Figura 4 - Distribuição percentual da radiação solar incidente na Terra

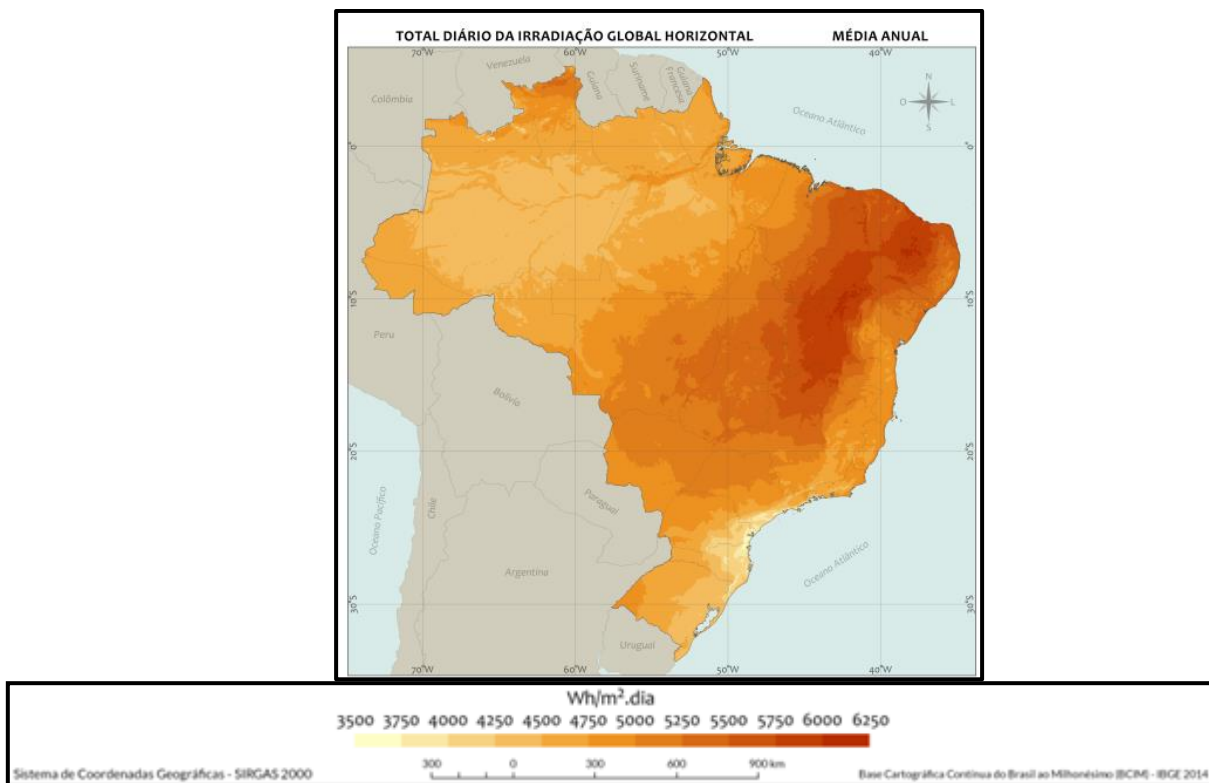


Fonte: (PEREIRA *et al.*, 2017).

Podemos observar que a radiação solar absorvida na superfície da Terra é de 45%, mas essa quantidade de energia equivale, aproximadamente, a dez mil vezes à procura global de energia. Assim, utilizaríamos apenas 0,01 % desta energia para realizar esta busca energética total da humanidade (PROGRAMA ALTENER, 2004).

Nota-se na Figura 5, a quantidade diária de irradiação global no Brasil:

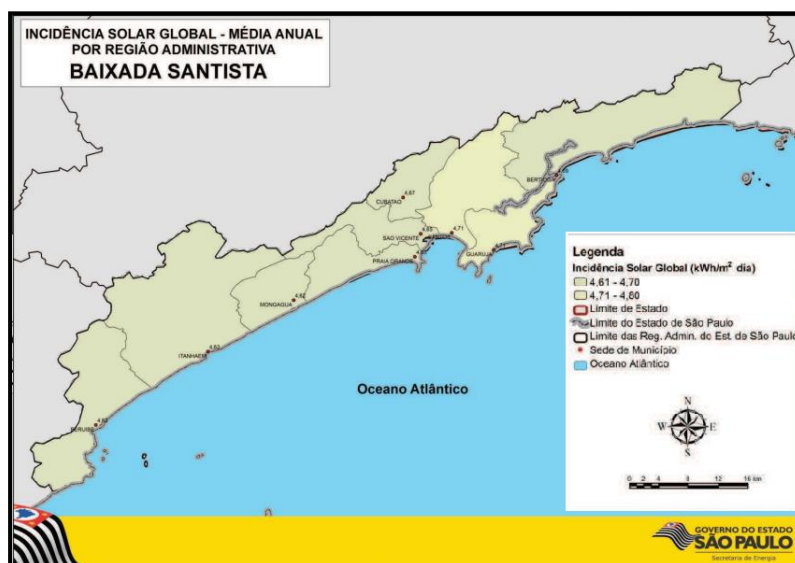
Figura 5 - Distribuição de irradiação global no Brasil em Wh/m². dia (Watt-hora por metro quadrado por dia)



Fonte: (PEREIRA et al., 2017).

A Figura 6 mostra a incidência solar global em toda a Baixada Santista. E em seguida, no Quadro 1, a quantidade, em média, da radiação solar global na cidade de Santos, local do edifício em estudo.

Figura 6 - Mapa de Incidência Solar Global anual da Baixada



Fonte: (PIRES et al., 2013).

Quadro 1 - Radiação Solar Global média no município de Santos em kWh/m².dia

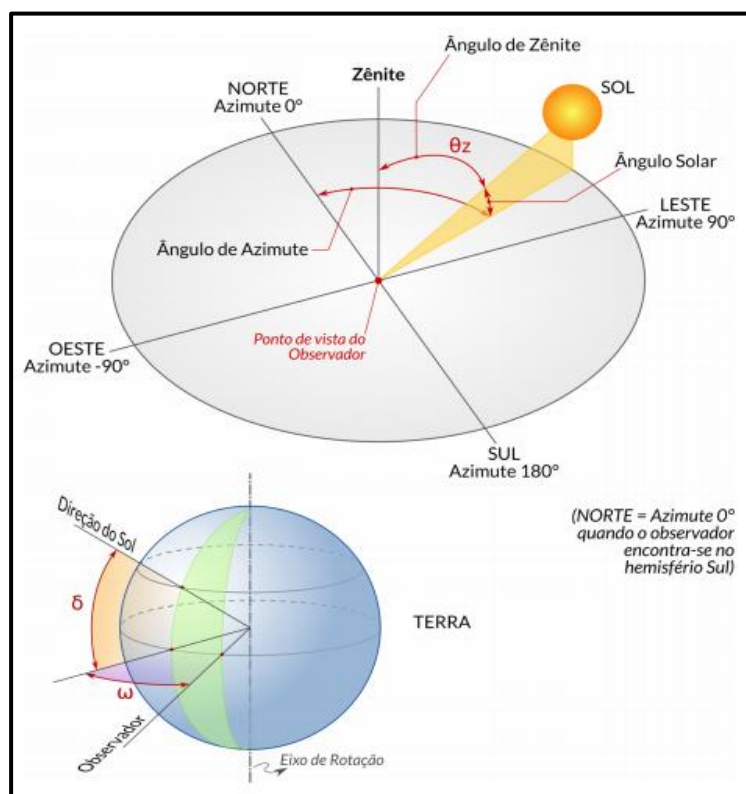
Município	Anual	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Santos	4,709	5,747	5,455	3,881	3,753

Fonte: (PIRES *et al.*, 2013).

3.5.1 Definições

A compreensão geométrica e espacial dos ângulos, apresentados na Figura 7, possibilita descrever a posição do Sol, de qualquer lugar da superfície da Terra (PEREIRA *et al.*, 2017).

Figura 7 - Ângulos notáveis em solarimetria



Fonte: (PEREIRA *et al.*, 2017).

θ_z - ângulo zenital solar: representa o ângulo formado entre a vertical no ponto de observação e a direção da linha que

liga o mesmo ponto da superfície da Terra ao Sol. O ângulo zenital é igual a 90° quando o Sol está no horizonte ao nascer ou pôr do Sol;

δ - Declinação solar: é o ângulo formado pela inclinação do plano equatorial da Terra e a linha de direção Sol - Terra. Varia entre $-23^\circ 27'$ e $+23^\circ 27'$ durante o período de um ano;

ω - ângulo horário solar: refere-se ao deslocamento angular do movimento do Sol devido à rotação da Terra e varia entre -180° e $+180^\circ$. Cada hora corresponde a 15° de variação do ângulo horário solar. Por convenção, durante a manhã é positivo, a tarde é negativo e, ao meio dia assume o valor zero (PEREIRA *et. al.*, 2017, p.16 e 17).

3.5.2 Aproveitamento

Para obter um processo de aproveitamento da radiação solar, é necessária uma inclinação ideal, pois o eixo da Terra também o afeta, ou seja, os instaladores de dispositivos fotovoltaicos devem ser posicionados em um local determinado para receber a máxima quantidade de luz disponível (LOPEZ, 2012).

O ângulo de inclinação da Terra é de $23,45^\circ$, do eixo axial da Terra com relação ao plano orbital do planeta em torno do Sol, mas é necessário um cálculo ou *software* específico para descobrir a inclinação ideal de aplicação do material, e este precisará estar situado perpendicularmente 90° em relação aos raios do Sol (PERREIRA *et al.*, 2017).

3.6 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

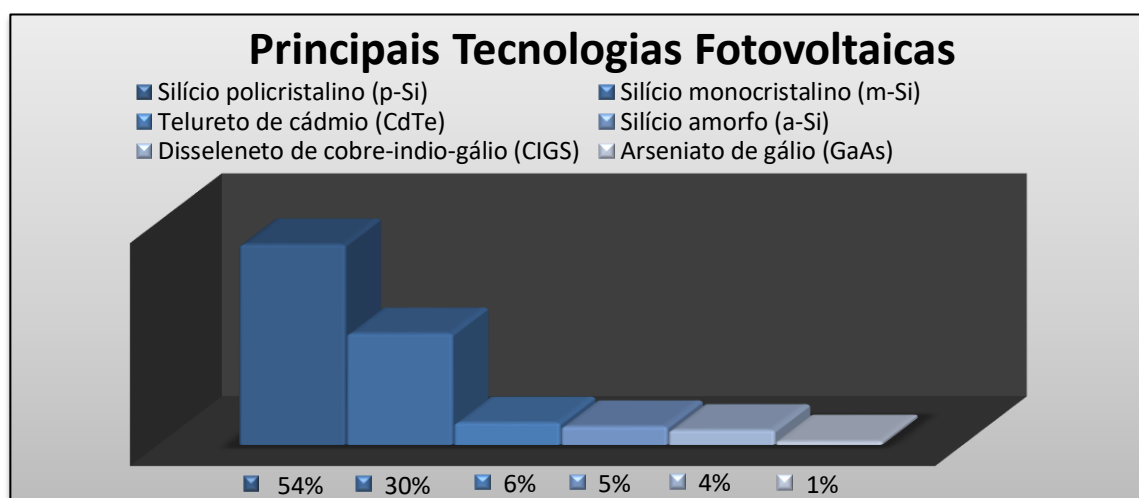
No sistema fotovoltaico, a transformação da radiação solar em eletricidade é direta. Para tanto é necessário adaptar um material semicondutor chamado de célula fotovoltaica. Na medida em que este é estimulado pela radiação, é permitido um fluxo

eletrônico (partículas positivas e negativas), pois quando a luz do sol atinge a região dessa junção, o campo elétrico existente possibilita o seu estabelecimento, dando início ao fluxo de energia na forma de corrente contínua. Quanto maior a intensidade da luz, maior o fluxo de energia elétrica (LOPEZ, 2012).

3.6.1 Principais Tecnologias Fotovoltaicas

Atualmente existem diversas tecnologias fotovoltaicas em desenvolvimento, algumas com grande probabilidade de oferecer melhores opções em termos de relação custo/eficiência. Porém, existem apenas seis tecnologias com representatividade significativa no mercado fotovoltaico mundial nos dias de hoje, mostradas na Figura 8 (BUHLER; HOEFLING; GABE, 2018).

Figura 8 - Participação de cada tecnologia fotovoltaica no mercado mundial



Fonte: (BUHLER; HOEFLING; GABE, 2018).

Mas as principais tecnologias para BIPV (*Building Integrated PhotoVoltaics*), um vidro fotovoltaico integrado ao edifício, que serão avaliadas para o projeto em estudo, serão as células de silício, da empresa da Espanha Onyx Solar, líder mundial na fabricação de vidros fotovoltaicos transparentes para edifícios.

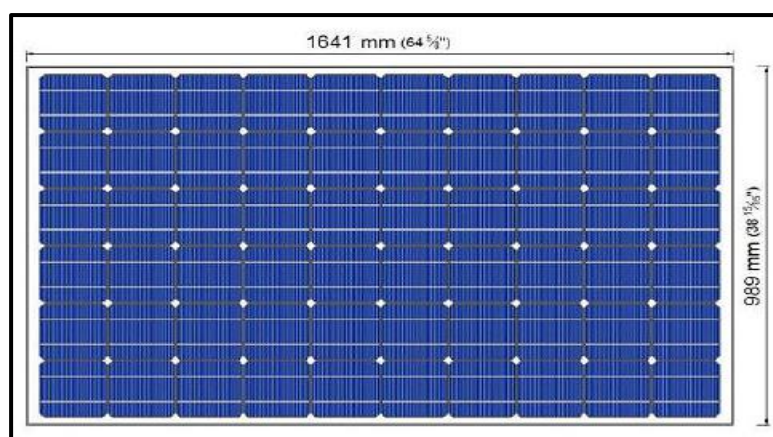
3.6.1.1 Silício Cristalino (c-Si)

O material mais importante para as células solares cristalinas é o silício, e é o segundo material mais abundante na natureza, perdendo apenas para o oxigênio (SOUZA, 2016).

A obtenção do silício é realizada pelo processo de Czochralski (extração de cadinho), no qual se baseia em separar o oxigênio, não desejado. A areia de sílica é aquecida e fundida junto com pó de carvão num cadinho. Quando alcança a pureza necessária, este silício de qualidade excelente, está pronto para ser produzido em módulos de silício monocristalino ou policristalino (PROGRAMA ALTENER, 2004).

A Figura 9, mostra uma célula solar de silício cristalino:

Figura 9 - Exemplo de célula solar de silício cristalino (c-Si)



Fonte: Adaptado (ONYX SOLAR, 2018).

3.6.1.1.1 Silício monocristalino (m-Si)

Produção: Durante o processo de Czochralski, o núcleo do cristal é imerso num banho de silício fundido (ponto de fusão de 1.420°C) e retirado do banho enquanto roda lentamente. Assim, são produzidos cristais únicos redondos com um diâmetro de 30 centímetros e muitos metros de largura. Estes cristais são estrados em barras e cortados em lâminas espessas de 0,3 milímetros. Etapas complementares envolvem o processo para a obtenção do módulo fotovoltaico de

silício monocristalino (PROGRAMA ALTENER, 2004).

3.6.1.1.2 Silício Policristalino (p-Si)

Produção: Com a vantagem de um menor preço de produção, o silício policristalino apresenta uma eficiência de conversão baixa, uma vez que seu processo de produção é mais simples. Chamado de fundição de lingotes, o silício é aquecido até uma temperatura de 1.500 °C e arrefecido na direção da base do cadinho, a uma temperatura e 800°C. Esse processo de solidificação resulta em blocos de silício de 40x40 cm² com uma altura de 30 cm, e grande quantidade de cristais ou grãos, os quais se concentram os defeitos que o tornam menos eficiente em relação ao m-Si, em termos de conversão. Os processos posteriores, que se transformam em um módulo fotovoltaico, são semelhantes aos utilizados no caso do silício monocristalino (PROGRAMA ALTENER, 2004).

3.6.1.2 Película fina

Os módulos de película fina (ou filme fino) para aplicações fotovoltaicas, ainda estão sendo desenvolvidos para a geração de potência elétrica, apresentam um menor custos de produção, devido a pequenas quantidades de produção envolvida e ao material sobre suportes de preço baixo como o vidro, plástico ou aço inoxidável. Dentre as tecnologias de filmes finos, os semicondutores mais utilizados são os de silício amorfo (a-Si), o disseleneto de cobre-índio e cobre-índio-gálio (CIS- CIGS), e o telureto de cádmio (CdTe) (RUTHER, 2004).

3.6.1.2.1 Silício amorfo (a-Si)

Produção: Ocorre a temperaturas relativamente baixas ($< 300^{\circ}\text{C}$), em processos a plasma, o que possibilita que estes filmes finos sejam depositados sobre substratos de baixo custo. Desta forma, foram desenvolvidos módulos solares hoje disponíveis no mercado que são flexíveis, inquebráveis, leves, semitransparentes, com superfícies curvas, que estão ampliando o mercado fotovoltaico por sua maior versatilidade (RUTHER, 2004, p.24).

Um detalhe importante desta tecnologia é a não redução na sua capacidade de geração de potência com o aumento da temperatura, o que o torna uma forte opção para aplicação intensa em lugares de clima tropical, como o Brasil por exemplo (BUHLER; HOEFLING; GABE, 2018).

Porém possui uma característica negativa, nos primeiros meses de utilização, seu desempenho elétrico reduz, devido ao efeito de degradação pela luz solar, conhecido como efeito Staebler-Wronski, ocorrem alterações em sua estrutura, uma queda que pode chegar a 35%, mas após alguns meses, constata-se uma estabilização. Porém, há outro efeito importante chamado de *Thermal Annealing* (recozimento térmico), que devida à exposição às altas temperaturas, parte da degradação pelo efeito Staebler-Wronski, é revertida aumentando a eficiência dos módulos solares. Essa é uma boa razão para alguns autores afirmarem que esta é a melhor opção para países de clima quente (BUHLER; HOEFLING; GABE, 2018).

A Figura 10, mostra um exemplo de uma célula de silício amorfo:

Figura 10 - Exemplo de célula solar de silício amorfo (a-Si)



Fonte: (RUTHER, 2004).

3.7 SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO EM EDIFÍCIOS (BIPV)

Os módulos fotovoltaicos integrados ao edifício atendem à função de substituir os materiais convencionais, envolvendo a edificação, e o gerador de energia. O sistema BIPV, em geral, possui um custo total menor, em relação a outros sistemas fotovoltaicos que exigem um tipo de sistema de montagem separado e dedicado (STRONG, 2016).

Ainda, os edifícios que utilizam fontes de energia sustentável, diminuem as demandas dos geradores de serviços públicos convencionais, reduzindo as emissões de gases e contribuindo com o meio ambiente (STRONG, 2016).

A instalação elétrica para um sistema fotovoltaico deve seguir as mesmas recomendações para aplicação do convencional como na (NBR 5410) que é de instalação elétrica de baixa tensão. A única diferença de um sistema para outro é que a de geração fotovoltaico estará energizado sempre que tiver recebendo a luz solar e também no fato de que o circuito é (CC- Circuito Contínuo) desde os painéis até o sistema inversor (COOPER; JUNIOR, 2013).

Os sistemas fotovoltaicos podem se dividir tanto em sistemas ligados à rede elétrica quanto em sistemas autônomos (isolados) (LOPEZ, 2012).

3.7.1 Sistema Isolado (autônomo)

No sistema fotovoltaico autônomo não há outra opção de gerar eletricidade, ou seja, devem ser projetados para atender toda energia necessária mesmo no período de menor incidência de radiação (RUTHER, 2004). Na Figura 11, é mostrado os materiais básicos que compõe o Sistema Isolado, que são: gerador FV (módulo fotovoltaico), controlador de carga, baterias e inversor (SANTOS; JUNIOR; RUTHER, 2008).

Figura 11 - Componentes básicos de um sistema fotovoltaico autônomo/isolado



Fonte: (CSR – ENERGIA SOLAR, 2017)

Em razão do sistema só produzir eletricidade em tempo de sol, é necessário a adoção de baterias, que servem para armazenamento de energia nos períodos sem radiação solar, e esta energia é transformada em 127V ou 220V, através dos inversores (BUHLER; HOEFLING; GABE, 2018).

O controlador de cargas, alonga a vida útil das baterias e melhora o rendimento do sistema (SOUZA, 2016).

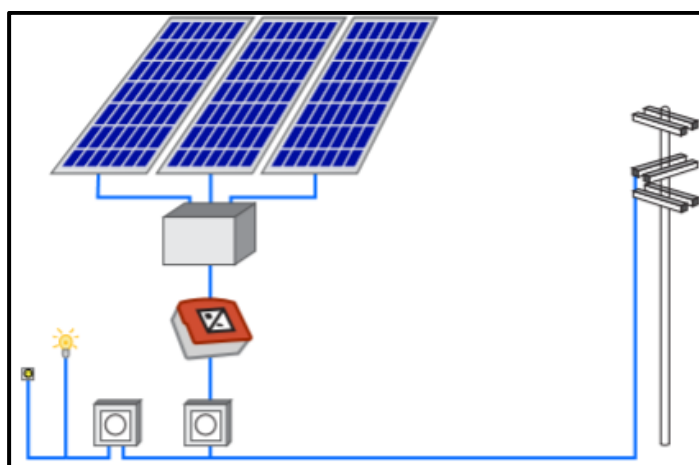
“A necessidade de um conjunto de baterias é responsável pelo aumento no custo de implantação, custo de manutenção e pela redução na produtividade da energia gerada”. (BUHLER; HOEFLING; GABE, 2018, p.3).

3.7.2 Sistema Fotovoltaico Conectado à rede elétrica (On-Grid)

Um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, também conhecidos como sistema *on-grid*, em geral, não usam armazenamento de energia, sendo assim, mais eficientes que os autônomos, e geralmente, são mais econômicos. Dependem de uma legislação favorável, uma vez que utilizam a rede de distribuição das concessionárias (SOUZA, 2016).

Esse sistema inclui gerador fotovoltaico, caixa de junção (equipada com dispositivos de proteção e interruptor), cabeamento, inversor, mecanismos de proteção e aparelhos de medida, mostrados na Figura 12 (PROGRAMA ALTENER, 2004).

Figura 12 - Componentes básicos de um sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: (SOUZA, 2016).

Neste sistema, não há utilização de baterias para armazenamento de energia, já que é ligado à rede elétrica da concessionária, assim sendo, se a demanda da edificação é menor do que o é gerado, a rede absorve e gera um crédito, para consumo futuro, e se a energia produzida é menor que a demanda, a concessionária o abastece (BUHLER; HOEFLING; GABE, 2018).

“Outra característica deste sistema é que na ausência de energia da rede, o inversor desliga o sistema automaticamente, isto é para evitar o fenômeno de “ilhamento”, onde poderiam ocorrer acidentes com os operadores da rede pela injeção de energia por esta fonte”. (BUHLER; HOEFLING; GABE, 2018, p.3).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para este estudo de caso fez-se através de cálculos e análise dos resultados, com os dados obtidos em pesquisas teóricas com referência bibliográfica, e apoio da empresa que forneceu os dados dos materiais para aplicação do vidro fotovoltaico.

Para o dimensionamento das células fotovoltaicas no edifício, calculou-se a quantidade de material necessário, o valor total (em reais), a potência máxima das células e a quantia economizada de energia elétrica. Dessa forma, avaliou-se a viabilidade econômica da tecnologia solar fotovoltaica (BIPV) aplicada na fachada do edifício Leonilde E Sylvio Pirillo.

4.1 UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA (UNISANTA)

Desde 1961, a modesta escola se transformou, aos poucos, no Complexo Educacional Santa Cecília, o mais antigo da Baixada Santista e um dos mais importantes do País, com aproximadamente 15 mil alunos, da Educação Infantil à Pós-Graduação, e cerca de 100 mil metros quadrados de área construída (UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA, 2018).

Incluída no seleto Grupo de Excelência de Instituições de Ensino Superior do Ministério da Educação (MEC), a Unisanta reafirma a qualidade de seu projeto pedagógico de graduação e de pós-graduação. Apenas 9% das Universidades brasileiras fazem parte deste Grupo (UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA, 2018).

E para este estudo de caso, foi utilizado como base, um dos prédios da Universidade chamado Leonilde e Sylvio Pirillo.

O edifício contém 8 pavimentos, como mostrado na Figura 13. Os dados coletados foram fornecidos pela própria Universidade, e pelos engenheiros e arquitetos responsáveis, e algumas informações serão omitidas para a preservação da mesma.

Figura 13 - Edifício Leonilde e Sylvio Pirillo – Vista Frontal



Fonte: Do autor (2019).

4.1.1 Metragem da fachada do edifício - Vista Frontal

Os dados contidos no Quadro 2, foram adquiridos através da planta de Elevação Frontal do edifício. A altura útil foi diminuída devido à sombra causada pela estrutura na parte superior.

Quadro 2 - Metragem da fachada do edifício estudado

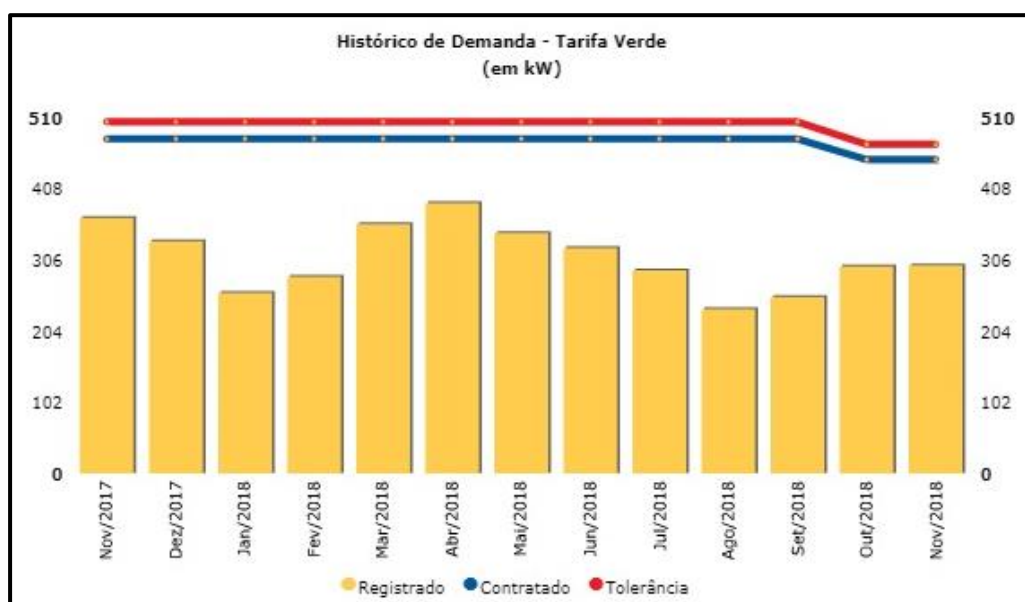
EDIFÍCIO ESTUDADO	LARGURA (m)	ALTURA (m)	ÁREA TOTAL (m ²)
FACHADA NORTE - VISTA FRONTAL	11,78	27,9	328,66
ÁREA ÚTIL DA FACHADA	11,78	24,1	238,89

Fonte: (UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA, 2018).

4.1.2 Consumo de energia elétrica da Universidade

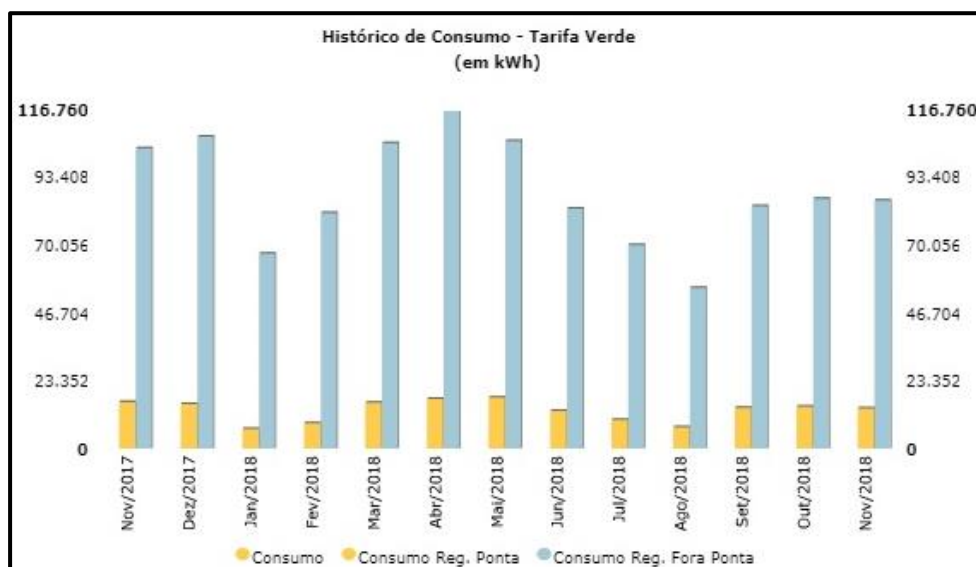
Na Figura 14, é mostrado o Histórico de Demanda, em kW, e na Figura 15, o Histórico de Consumo, em kWh, de Novembro de 2017 à Novembro de 2018. Os dados obtidos possuem a quantidade de energia elétrica de todos os prédios da Universidade juntos, porém, o edifício estudado consome de 45 a 56% do total de acordo com o engenheiro responsável.

Figura 14 - Histórico de demanda em KW – Novembro/2017 à Nov/2018



Fonte: (UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA, 2018).

Figura 15 - Histórico de Consumo em KWh – Nov/2017 à Nov/2018



Fonte: (UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA, 2018).

4.1.3 Consumo de energia elétrica por carga instalada

O consumo de energia elétrica mostrado no Quadro 3, contém a as cargas instaladas, quantidade, potência e a porcentagem da utilização em média mensal, em todos os edifícios da Universidade. O ar condicionado foi desprezado, pois seu sistema é movido a gás.

Quadro 3 - Consumo de energia elétrica por carga instalada

CARGA INSTALADA	POTÊNCIA INSTALADA (kW)	UTILIZAÇÃO (REAL)
LUMINÁRIAS	36,6	100%
ELEVADOR	88,3	100%
ODONTOLOGIA (materiais)	64	40%
FISIOTERAPIA (materiais)	6,4	90%
AUTOCLAVE	36	90%
TELEVISÃO	45	65%
Total	276,3	-

Fonte: Universidade Santa Cecília (2018).

4.1.4 Conta de luz da Universidade

Utilizando uma conta de luz real da Universidade de um mês, no qual a imagem está omitida, consumiu-se um total de 73.815,315kWh, no qual 7.052,255kWh consumido no período das 18:00 às 21:00 horas (na ponta) e 66.763,06kWh no resto do dia (fora de ponta).

O custo total desta conta é de R\$ 47.195,34.

4.2 EMPRESA ONYX SOLAR

No Quadro 4, é mostrado os dados básicos de cada material de silício fabricados pela Empresa Onyx Solar. Algumas informações estão omitidas e o preço real é confidencial, portanto, o valor apresentado é apenas uma estimativa/referencial para que fosse possível o cálculo da viabilidade econômica.

Quadro 4 - Dados dos materiais de silício fabricados pela Onyx Solar

	SILÍCIO MONOCRISTALINO (m-Si)	SILÍCIO POLICRISTALINO (p-Si)	SILÍCIO AMORFO (a-Si)
TAMANHO (mm)	1650 x 850	1650 x 850	1245 x 635
ESPESSURA (mm)	4 / 5 / 6 / 8	4 / 5 / 6 / 8	3,0 / 4,0
ÁREA (m²)	1,4	1,4	0,79
POTÊNCIA MÁXIMA (Wp/m²)	159	145	46
PREÇO UNITÁRIO	-	-	€ 190,00
COR	-	-	PRETO

Fonte: Adaptado (ONYX SOLAR, 2019).

4.3 CÁLCULOS UTILIZADOS

- Energia (kWh) = Potência (kW) x Tempo

(1)

- Regra de três: (2)
Agrupando as grandezas da mesma espécie em colunas e mantendo na mesma linha as grandezas de espécies diferentes em correspondência.

5 RESULTADOS

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo serão apresentados os resultados da implantação do vidro fotovoltaico BIPV na fachada do edifício Leonilde e Sylvio Pirillo da Universidade Santa Cecília.

Os cálculos foram realizados com base nos dados obtidos na pesquisa teórica e no material e métodos, considerando o valor de potência máxima que o material pode produzir. Portanto não se verificou com a quantidade de radiação solar, cálculo de margem de erro, preços de serviços e manutenção.

O intuito do projeto destinou-se avaliar a quantidade de energia elétrica economizada e a viabilidade financeira, de um investimento em tecnologia solar, nos dias de hoje.

5.2 MATERIAL ESCOLHIDO

O Quadro 5 apresenta os dados do Silício amorfo (a-Si), material escolhido para a realização dos cálculos. Pois é a melhor alternativa em relação à preço x eficiência, a mais adequada para lugares de clima tropical, como o Brasil, e é a mais utilizada para aplicar em fachadas.

Quadro 5 - Dados do silício amorfo (a-Si)

	SILÍCIO AMORFO (a-Si)
TAMANHO (mm)	1245 x 635
ESPESSURA (mm)	3,0 / 4,0
ÁREA (m²)	0,79
POTÊNCIA MÁXIMA (Wp/m²)	46
PREÇO UNITÁRIO	€ 190,00
COR	PRETO

Fonte: Adaptado (Onyx Solar, 2019).

5.3 QUANTIDADE DE MATERIAL

Uma placa de Silício amorfo de 1245mm x 635mm tem 0,79m² de área, portanto a quantidade de material necessária para a fachada do edifício com uma área útil de 238,66m², é de 303 placas.

Neste cálculo não foi considerada a área total da fachada devido à sombra causada por uma pequena estrutura na parte superior do edifício.

5.4 POTÊNCIA MÁXIMA PRODUZIDA

Como 1 placa pode produzir 46 Wp/m² (Watt-pico por metro quadrado), 303 placas de silício amorfo, podem chegar a 14.000,0Wp, considerando o valor máximo de energia elétrica que esta placa de silício amorfo pode produzir.

Com o valor transformado de W (Watt) para kW (Quilo-Watt) encontra-se 14,0kW.

Porém, é necessário descontar 35% devido ao período de ausência ou mínima quantidade de radiação solar. Resultando em 9,1kW.

5.5 MÁXIMA ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

Para estes cálculos, utilizando a conta de luz, verificou-se as quantidades em kWh consumidas pela Universidade naquele mês.

Com a finalidade de descobrir a potência consumida, utilizou-se a quantidade total de energia de 73.815,315kWh. Descontando uma porcentagem de 25%, pois o edifício estudado consome em média 75% deste valor, chegou-se num total de 55.361,48kWh.

Desta forma, calculando com um período de 18 horas por dia, período da potência registrada na conta, em 30 dias, encontrou-se uma potência de 102,52kW.

Aplicando o material com capacidade máxima de 9,1kW, retornando em kWh e calculando em relação ao consumo inicial, tem-se uma economia de 4.914,69kWh.

Portanto, 9,1kW do material, torna-se eficiente para cobrir a Fisioterapia e uma parte de iluminação.

5.6 CUSTO DO MATERIAL

Como o valor exato da placa é confidencial, foi estabelecido um valor aproximado para o cálculo do custo do material, de € 190,00 por placa.

Não se considerou o valor de serviço, portanto, 303 placas totalizou um custo de € 57.570,00.

Com o valor do Euro hoje (05/05/2019) de R\$ 4,40, este custo seria de R\$ 253.308,00.

5.7 VALOR, EM REAIS, ECONOMIZADO

Pela conta de luz estudada, o edifício consumiu uma quantidade de energia elétrica de 73.815,315kWh, custando R\$ 47.195,34.

Após a aplicação do material, gerou-se uma nova quantidade de consumo de

energia elétrica de 69.900,63kWh e, portanto, um novo custo em torno de R\$44.053,03.

Ou seja, com a aplicação da tecnologia solar fotovoltaica, considerando a máxima capacidade que as células podem produzir, economizou um total de R\$ 3.142,3.

5.8 RETORNO DE INVESTIMENTO (SIMPLES)

Um cálculo de retorno de investimento simples, é composto do valor de investimento inicial, sobre o lucro obtido mensal ou anualmente.

Como não foi possível ter acesso a todas as contas de luz, neste caso, considerou-se o valor do lucro de R\$ 3.142,3 como média mensal.

O investimento de R\$ 253.308,0, divide-se sobre o lucro de R\$ 3.142,3 mensalmente, desse modo, obtém-se um retorno por volta de 6 anos e 7 meses.

6 CONCLUSÃO

O investimento na tecnologia solar fotovoltaica, conhecida como BIPV, aplicando-se na fachada do edifício Leonilde e Sylvio Pirillo, da Universidade Santa Cecília, pode chegar a uma economia de 6,7% mensalmente, considerando o valor de R\$ 3.142,3 de lucro e 9,1kW de potência máxima produzida pelo material, no qual foi estabelecido nos cálculos.

Em relação à eficiência, de acordo com os dados de potência total instalada de 102,52kW no edifício estudado, a aplicação dos vidros fotovoltaicos não é tão eficiente, pois contribui apenas para a Fisioterapia e uma parte da iluminação.

O custo total do material, sendo analisado com um valor estimado, pois o verdadeiro é omitido, resulta em R\$ 253.308,00. E com uma média máxima de economia, por volta de R\$ 3.142,3 mensais, trará um retorno em torno de 6 anos e 7 meses.

Apesar da eficiência do material não deter uma parcela significativa sobre o consumo de energia elétrica da Universidade, na Europa a tecnologia solar fotovoltaica é muito utilizada, mesmo possuindo baixos índices de irradiação solar em comparação com o Brasil.

Portanto, conclui-se que avaliando a viabilidade econômica, segundo os resultados obtidos neste projeto, o investimento na tecnologia solar BIPV pode ser viável financeiramente, devido ao tempo de retorno. Mas para ter um melhor resultado, seria necessário aplicar em mais de um edifício, pois assim, o material torna-se mais eficiente devido a um maior aproveitamento da energia solar durante o nascer ao pôr-do-sol, pois neste trabalho, considerou-se a aplicação dos materiais apenas em um lado da fachada. Seria ideal também, uma cooperação do governo brasileiro, como os da Europa, em oferecer um suporte podendo ser em diminuição de impostos e/ou patrocinando uma porcentagem do valor. Além de economizar energia é uma alternativa sustentável contribuindo com o meio ambiente no qual hoje, é motivo de preocupação global.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899**: Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5456**: Eletricidade Geral – Terminologia, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16149**: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16150**: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16274**: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 62116**: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Rio de Janeiro, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO 112/1999**. Estabelece os requisitos necessários à obtenção de Registro ou Autorização para a Implantação, Ampliação ou Repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia, 1999.

ALVEZ, Gustavo. et. al. **Energia solar no Brasil**. Disponível em: www.oseletrico.com.br/energia-solar-no-brasil/. Acesso em: 21 de Outubro de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios**. Brasília, 2017.

Brasil. **Lei 8.631/93**. Dispõe sobre os níveis tarifários e a extinção da remuneração garantida. Brasília, DF, mar 1993. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8631.htm. Acesso em: 15 out. 2018.

BRASIL. **Lei 9.074/95**. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Brasília, DF, jul 1995. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9074cons.htm. Acesso em: 15 out. 2018.

BRASIL. **Lei 2.003/96**. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. Brasília, DF, set 1996. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2003.htm. Acesso em: 15 out. 2018.

BRASIL. **Lei 8.987/95**. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão de serviço público. Brasília, DF, fev 1995. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8987compilada.htm. Acesso em: 15 out. 2018.

BRASIL. **Decreto 2.655/98**. Regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica, define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico, de que trata a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e dá outras providências. Brasília, DF, jul 1998. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2655.htm. Acesso em: 15 out. 2018.

BUHLER, Alexandre J.; HOEFLING, Fernando.; GABE, Ivan. J. **Uma revisão sobre as tecnologias fotovoltaicas atuais**. Gramado: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 2018.

COOPER, Elisson.; JUNIOR, Wellyngton M. **Aplicação de painéis solares fotovoltaicos como fonte geradora complementar de energia elétrica em residências**. Curitiba: Dissertação de trabalho de conclusão de curso/UFPR, 2013.

CSR ENERGIA SOLAR. **Origem do Sistema Solar Fotovoltaico. (7 Agosto 2017)**. Disponível em: <http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-autonomo---sfa-off-grid>. Acesso em: 20 set. 2018.

FONTES, Ruy. **O sucesso na geração e uso da energia Solar no mundo**. (18 de Abril de 2017). Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/geracao-e-uso-da-energia-solar-no-mundo/>. Acesso em: 21 out. 2018.

Freitas, Luciana. **A energia limpa que mais cresce no mundo**. *LUMIÈRE eletric*, p. 34, 2018.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 928-1986**. Recommended criteria for terrestrial photovoltaic power systems.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 929-1986**. Recommended practice for utility interface of photovoltaic systems.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 1374-1998**: Guide for terrestrial photovoltaic power system safety.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 1547.2-2008**: Standard for interconnecting distributed resources with electric power systems.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 1562-2007**. Guide for array and battery sizing in stand-alone photovoltaic systems.

INSTITUTO SUPERIOR TECNICO DE LISBOA. **Breve história da energia solar..** Disponível em: <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar>. Acesso em: 6 out. 2018.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **International Standard 60364-7-712**: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic power supply systems.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **International Standard. 62109-1**: General requirements.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **International Standard. 62109-2**: particular requirements for inverters.

INSTITUTO SUPERIOR TECNICO DE LISBOA. **Breve história da energia solar..** Disponível em: <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar>. Acesso em: 6 out. 2018.

LOPEZ, Ricardo A. *Energia Solar para Produção de Eletricidade*. São Paulo: Artliber, 2012.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia Solar no Brasil e no mundo.**(16 de Outubro de 2017). Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>.

Acesso em: 21 out. 2018.

ONYX SOLAR. **ALL YOU NEED.** Disponível em:

http://onyxsolardownloads.com/docs/ALL-YOU-NEED/Technical_Guide.pdf.

Acesso em: 20 out. 2018.

PERREIRA, Enio B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2 ed. São Jose dos Campos: INPE, 2017

PIRES, Plínio B. et. al. **Atlas de Energia Solar Paulista: Levantamento do Potencial.** Governo do Estado de São Paulo, 2013.

PROGRAMA ALTENER DA COMISSÃO EUROPEIA. **Energia Fotovoltaica, Manual sobre Tecnologias, Projeto e Instalação.** (Janeiro de 2004). Disponível em:

<https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 15 out. 2018.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos.** Florianópolis: UFSC / LABSOLAR, 2004.

SANTOS, Isis. P.; JUNIOR, Jair. U.; RUTHER, Ricardo. **Energia Solar Fotovoltaica como fonte complementar de energia elétrica para residências na busca da sustentabilidade.** Entac: Encontro Brasileiro de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008

SOUZA, Ronilson. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica.** Ribeirão Preto: BlueSol, 2016.

STRONG, Steven. **Building Integrated Photovoltaics (BIPV).** (19 de Outubro de 2016). Disponível em : <http://www.wbdg.org/resources/building-integrated-photovoltaics-bipv>. Acesso em: 22 set. 2018.

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA. **História.** Disponível em: <https://www.unisantabr/instituicao>. Acesso em: 2 fev. 2018.

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO

1) Quantidade de material:

- Área da placa = 0,79 m²;
- Área útil da fachada = 238,89 m²;

$$\begin{array}{l} 1 \text{ placa} \text{ ----- } 0,79 \text{ m}^2 \\ X \text{ ----- } 238,89 \text{ m}^2 \end{array} \qquad X = \frac{238,89 \text{ m}^2 \times \text{placa}}{0,79 \text{ m}^2}$$

$$X = 302,39 = 303 \text{ placas.}$$

2) Quantidade máxima de potência:

- 1 placa produz 46 Wp/m² (Wattpico/m²)

$$\begin{array}{l} 1 \text{ placa} \text{ ----- } 46 \text{ Wp} \\ 303 \text{ placas} \text{ ----- } X \end{array} \qquad X = \frac{46 \text{ Wp} \times 303 \text{ placas}}{1 \text{ placa}}$$

$$X = 14.000\text{W.}$$

2.1) Transformando W (Watt) em kW (Quilowatt):

$$\begin{array}{l} 1 \text{ Watt} = 1 \times 10^{-3} \text{ kW} \\ 14.000\text{W} \times \frac{1 \times 10^{-3} \text{ kW}}{1 \text{ W}} = 14,0\text{kW.} \end{array}$$

2.2) Diminuindo 35% de 14,0kW, em função da perda por radiação solar:

$$\begin{array}{l} 14\text{kW} \text{ ----- } 100\% \\ X \text{ ----- } 65\% \end{array} \qquad X = \frac{14\text{kW} \times 65}{100}$$

$$X = 9,1\text{kW.}$$

3) Máxima economia de energia elétrica

- Consumo considerado para análise = 18 horas/dia em 30 dias;
- Potência máxima produzida com 303 placas = 9,1kW;
- Consumo do edifício estudado em relação à 73.815,315kWh = 75%;

3.1) Cálculo do kWh APENAS do edifício estudado:

$$\begin{array}{rcl} 73.815,315\text{kWh} & \text{-----} & 100\% \\ X & \text{-----} & 75\% \end{array} \qquad X = \frac{73.815,315\text{kWh} \times 75}{100}$$

$$X = 55.361,48\text{kWh}.$$

3.2) Cálculo da potência:

$$\text{Potência} = 55.361,48\text{kWh} / (18\text{h/dia} \times 30\text{dias})$$

$$\text{Potência} = 102,52\text{kW}.$$

3.3) Quantidade em kWh, economizado:

- Reduzindo com a máxima potência das placas:

$$\text{Potência final} = 102,52\text{kW} - 9,1\text{kW} = 93,42\text{kW}.$$

- Retornando em kWh:

$$\text{Energia} = 93,42\text{kW} \times (18\text{h/dia} \times 30\text{ dias}) = 50.446,8\text{kWh}.$$

- Retornando para o consumo total =

$$\begin{array}{rcl} 73.815,315\text{kWh} & \text{-----} & 100\% \\ X & \text{-----} & 25\% \end{array} \qquad X = \frac{73.815,315\text{kWh} \times 25}{100}$$

$$X = 18.453,83\text{kWh}.$$

- 75% da conta = 50.446,8kWh

- 25% da conta = 18.453,83kWh

Energia final = 50.446,8kWh + 18,453,83kWh

Energia final = 68.900,63kWh.

Energia economizada = 73.815,315kWh – 68.900,63kWh =

Energia economizada = 4.914,69kWh.

4) Custo do material

- 1 placa custa = € 190,00;

- 1 euro = 4,4 reais (05/05/2019);

1 placa ----- 190 euros

303 placas ----- X

X = 303 placas x 190 euros

1 placa

X = € 57.570,00.

- Em reais:

57.570,0 x 4,4 = 253.308,00

Custo total do material: R\$ 253.308,00.

5) Valor, em reais, economizado

- Custo conta de luz referente em um mês = R\$ 47.195,34;

- Consumo total de energia elétrica em kWh (no mês estudado) = 73.815,315kWh;

- Consumo total de energia elétrica em kWh após a 68.900,63kWh;

- Máxima potência produzida pelas placas = 9,1kW;

5.1) Novo custo:

$$\begin{array}{rcl}
 73.815,315\text{kWh} & \text{-----} & \text{R\$ } 47.195,34 \\
 68.900,63\text{kWh} & \text{-----} & \text{X} \\
 \end{array}
 \qquad
 X = \frac{68.900,63\text{kWh} \times \text{R\$ } 47.195,34}{73.815,315\text{kWh}}$$

$$X = \text{R\$ } 44.053,03.$$

5.2) Valor economizado (lucro):

$$\text{Valor} = \text{R\$ } 47.195,34 - \text{R\$ } 44.053,03$$

$$\text{Valor} = \text{R\$ } 3.142,3.$$

5.3) Porcentagem do valor economizado em relação ao custo inicial:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{R\$ } 47.195,34 & \text{-----} & 100\% \\
 \text{R\$ } 44.053,03 & \text{-----} & \text{X} \\
 \end{array}
 \qquad
 X = \frac{44.053,03 \times 100}{47.195,34} = 93,34\%$$

$$100\% - 93,34\% = 6,7\%.$$

6) Retorno de investimento

- Investimento inicial = R\$ 253.308,00;

- Valor economizado (média mensal) = R\$ 3.142,3;

$$\text{R\$ } 253.308,00 / \text{R\$ } 3.142,3.\text{mês} = 80,62 \text{ meses.}$$

- Transformando em anos:

$$80,62 \text{ meses} / 12 \text{ meses.ano} = 6,7 \text{ anos.}$$

Retorno de investimento = 6 anos e 7 meses, aproximadamente.