

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Caio Augusto Oliva Grassi

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE
UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE E
INTEGRADO A UMA EDIFICAÇÃO NA ORLA DE PORTO
ALEGRE: VERIFICAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO DO
INVESTIMENTO**

Porto Alegre
junho 2015

CAIO AUGUSTO OLIVA GRASSI

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE
UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE E
INTEGRADO A UMA EDIFICAÇÃO NA ORLA DE PORTO
ALEGRE: VERIFICAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO DO
INVESTIMENTO**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação a ser apresentado
ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Miguel Aloysio Sattler

Porto Alegre
junho 2015

CAIO AUGUSTO OLIVA GRASSI

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE E INTEGRADO A UMA EDIFICAÇÃO NA ORLA DE PORTO ALEGRE: VERIFICAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 16 DE JUNHO de 2015

Prof. Miguel Aloysio Sattler
Ph.D. pela University of Liverpool
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ana Passuello (UFRGS)
Ph.D. pela Universitat Rovira i Virgili

Prof Eugenia Aumond Kuhn (UniRitter)
Doutora pela Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul

Eng. Santiago Munoz Navarrete (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul

RESUMO

Este trabalho versa sobre a instalação de um sistema fotovoltaico integrado a uma edificação e conectado a rede elétrica. Estes sistemas têm por característica transformar a irradiação solar que atinge os módulos fotovoltaicos que compõem o sistema em energia elétrica em corrente contínua, e transformá-la em corrente alternada através de outro componente destes sistemas denominado inversor. Esta energia gerada pode ser consumida imediatamente pela edificação ou então ser enviada para rede elétrica pública através de um medidor de energia bidirecional. Toda a energia criada pelo sistema é quantificada e o produtor recebe descontos da sua fatura de energia desde 2012 com a homologação da Resolução Normativa 482 da ANEEL. Para iniciar o projeto, primeiramente, é feita uma análise da disponibilidade de irradiação solar que é recebida pelas superfícies da edificação com estes dados; e estima-se a energia que pode ser produzida durante um ano, para diversos modelos de módulos fotovoltaicos. Analisando a relação energia produzida / custo, é escolhido o módulo. Com o módulo determinado, define-se a quantidade de módulos que vai formar cada circuito e então se especifica um inversor com características adequadas para se acoplar aos circuitos de módulos fotovoltaicos. Com todos os parâmetros do sistema já determinados, é realizado o orçamento total do projeto e estimada a energia criada pelo sistema, ao longo de 25 anos. Assim é calculado o tempo de retorno do investimento feito, considerando-se 6 cenários diferentes de aumento da tarifa da energia elétrica e um custo anual de manutenção. O sistema projetado é composto por 4 circuitos principais, um para o telhado, um para a fachada norte e dois para a fachada oeste, ao circuitos das fachadas se repetem a cada três pavimentos, totalizando 7 circuitos iguais para cada fachada. O custo total do sistema é de R\$ 4.193.702,28 (quatro milhões cento e noventa e três mil setecentos e dois reais e vinte e oito centavos), o custo do sistema fotovoltaico é de R\$ 1.557.920,00 (um milhão quinhentos e cinquenta e sete mil novecentos e vinte reais). No cenário de aumento de 1% ao ano da tarifa de energia elétrica o retorno do investimento se dá em 13,5 anos e não se obtém o retorno do investimento total da fachada. Já no cenário de aumento de 6% ao ano da tarifa, o retorno do investimento se dá em aproximadamente 10 anos e toda a fachada em 20 anos.

Palavras-chave: Módulos Fotovoltaicos, Inversor, Energia Solar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta baixa do pavimento tipo da edificação a ser estudada.....	17
Figura 2 – Foto da edificação a ser analisada.....	18
Figura 3 – Diagrama de etapas do trabalho de conclusão de curso.....	19
Figura 4 – Cronograma de execução das etapas do trabalho.....	19
Figura 5 – Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	21
Figura 6 – Consumo energético setorial no Brasil.....	22
Figura 7 – Potencia l fotovoltaico acumulado instalado no mundo.....	23
Figura 8 – Potencial fotovoltaico instalado no mundo a cada ano.....	23
Figura 9 – Potência fotovoltaica acumulada na Europa.....	24
Figura 10 – Gráfico dos preços históricos dos módulos fotovoltaicos no Brasil no período de 2001-2012.....	24
Figura 11 – Estrutura do Sol.....	26
Figura 12 – Órbita da Terra ao redor do Sol, com a inclinação da Terra e as estações do ano.....	27
Figura 13 – Representação dos ângulos. θ_Z , α e γ_s	28
Figura 14 – Representação da orientação de uma superfície inclinada em relação ao mesmo plano: ângulos β , γ_s , γ e θ	29
Figura 15 – Representação das componentes da irradiação solar.....	30
Figura 16 – Média anual de irradiação solar do Brasil, para um uma superfície horizontal.....	31
Figura 17 – Média anual de irradiação solar da Alemanha, para um uma superfície horizontal.....	31
Figura 18 – Ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies, em Porto Alegre.....	31
Figura 19 – Efeito fotovoltaico.....	34
Figura 20 – Processo de fabricação de células fotovoltaicas monocristalinas e policristalinas.....	36
Figura 21- Camadas de módulos fotovoltaicos feitos com células de silício cristalino....	37
Figura 22 – Módulo de telureto de cádmio.....	38
Figura 23 – Módulo fotovoltaico de silício amorfo.....	38
Figura 24 – Componentes de um sistema fotovoltaico conectado a rede de distribuição.	40
Figura 25 – Gráfico com curvas I-V e P-V de um módulo fotovoltaico.....	41
Figura 26 – Gráfico da variação da tensão e da corrente gerada de determinado módulo fotovoltaico, em função da variação da irradiância solar.....	42
Figura 27 – Gráfico da variação da tensão e da corrente gerada de determinado módulo fotovoltaico, em função da variação da temperatura dos módulos.....	42

Figura 28 – Possibilidades de integração fotovoltaica no envelope da edificação.....	45
Figura 29 – Esquema de uma cobertura envidraçada fotovoltaica.....	46
Figura 30 – Componente de um sistema parede-cortina convencional, com módulos fotovoltaicos instalados nas regiões opacas da fachada.....	47
Figura 31 – Componente de um sistema parede-cortina modulada, com módulos fotovoltaicos instalados nas regiões opacas da fachada.....	48
Figura 32 – Esquema típico de brises fotovoltaicos, integrados a uma parede cortina.....	49
Figura 33 – Visualização da radiação solar em uma edificação, com uso do software Ecotect.....	54
Figura 34 - Interface de entrada de dados do programa Radiasol 2.....	56
Figura 35 – Localização da edificação escolhida para ser analisada.....	60
Figura 36 – Foto das duas edificações objeto do estudo.....	61
Figura 37 – Análise de sombreamento realizada no Ecotect para às 9:45 horas do dia 21 de junho.....	62
Figura 38– Gráfico da radiação solar para as quatros fachadas e telhado da edificação..	63
Figura 39 – Planta baixa com a indicação da posição de cada circuito da edificação.....	65
Figura 40 – Esquema elétrico básico dos painéis fotovoltaicos.....	66
Figura 41 – Gráfico da estimativa da energia gerada pelas fachadas norte e oeste e pelo telhado ao longo de 25 anos.....	69
Figura 42 – Curva do custo e da economia gerada acumulada pelo sistema ao longo de 25 anos.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas para acesso de micro e mineração ao sistema de distribuição da CEEE.....	33
Quadro 2 – Quadro resumo dos circuitos do sistema fotovoltaico projetado para edificação	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação dos valores cobrados pela CEEE pela tarifa de energia elétrica de edificações comerciais.....	59
Tabela 2 – Planilha de cálculo de estimativa de geração de energia e o parâmetro Energia Produzida / Custo.....	64
Tabela 3 – Orçamento o para a estrutura portante, vidros e sistema fotovoltaico.....	67
Tabela 4 – Orçamento para a estrutura portante e vidros.....	67
Tabela 5– Tabela de tarifas de energia elétrica alta tensão em R\$/KWh.....	68
Tabela 6 – TIR e VPL do sistema para os diferentes cenários de crescimento da tarifa de energia elétrica.....	69

LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BAP – Building Applied Photovoltaic

BIPV – Building Integrated Photovoltaics

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica

EPE -- Empresa de Pesquisa Energética

EPIA – European Photovoltaic Industry Association

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

SPPM – Seguidor de Ponto de Potência Máxima

SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment

TIR – Taxa Interna de Retorno

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

K – Kelvin

θ_Z – azimute Zenital ($^\circ$)

α – elevação solar ($^\circ$)

γ_s – azimute solar ($^\circ$)

γ – azimute da superfície ($^\circ$)

β – inclinação da superfície de captação ($^\circ$)

θ – ângulo de incidência($^\circ$)

c-Si – silício cristalino

p-Si – silício policristalino

m-Si – silício monocristalino

Wp- watt-pico

Voc – tensão de circuito aberto (V)

Isc – corrente de curto circuito (A)

I – Corrente elétrica (A)

V – tensão elétrica (V)

P – potência (W)

Vmp – tensão de máxima potência(V)

Imp – corrente de máxima potência (A)

c.c. – corrente contínua (A)

c.a. – corrente alternada (A)

E – geração solar fotovoltaica (Wh/dia)

G – irradiação solar diária (Wh/m²/dia)

r – rendimento do sistema inversor e conexões (entre 0,7 e 0,8)

P_{cc} – potência do sistema em corrente contínua (W)

A – área disponível para integração dos módulos fotovoltaicos (m²)

Eff – densidade de potência(kWp/m²)

S – área da seção transversal dos condutores (mm²)

L – comprimento dos fios condutores (m)

V – tensão de operação (V)

ΔV – queda de tensão admissível (%).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	16
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA.....	16
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA.....	16
2.3 HIPÓTESE.....	16
2.4 PREMISA.....	16
2.5 DELIMITAÇÕES.....	17
2.6 LIMITAÇÕES.....	18
2.7 DELINEAMENTO.....	19
3 CONTEXTO ENERGÉTICO BRASILEIRO E A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	21
3.1 ENERGIA SOLAR.....	25
3.2 O SOL E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	26
3.3 GEOMETRIA SOL-TERRA.....	27
3.4. RADIAÇÃO SOLAR.....	29
3.5 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR.....	32
3.4.1 Resolução Normativa ANEEL nº482 de 2012.....	32
3.4.2 Instrução Técnica CEEE IT-81.081 de 2014.....	32
4 CÉLULAS, MÓDULOS E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	34
4.1 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS.....	35
4.1.1 Células de silício cristalino.....	35
4.1.2 Filmes finos.....	37
4.1.3 Células sensibilizadas por corante.....	38
4.2 TIPOS DE CONEXÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	39
4.2.1 Sistemas isolados.....	39
4.2.2 Sistemas conectados à rede de distribuição.....	39
4.3 COMPONENTES BÁSICOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE ELÉTRICA DE DISTRIBUIÇÃO.....	40
4.3.1 Módulo fotovoltaico.....	40
4.3.2 Inversor.....	42
4.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS AO ENVELOPE DE EDIFICAÇÕES.....	43
4.4.1 Coberturas.....	45
4.4.2 Fachadas.....	46

4.4.2.1 Fachadas ventiladas.....	46
4.4.2.2 Fachadas parede-cortina.....	47
4.4.3 Elementos externos.....	48
4.4.3.1 Proteções solares.....	48
4.4.3.2 Parapeitos e marquises.....	49
4.5 EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTVOLTAICOS.....	49
5. SOFTWARES DE CARACTERIZAÇÃO E SIMULAÇÃO.....	53
6. METODOLOGIA.....	55
6.1 ANÁLISE DE SOMBREAMENTO DA EDIFICAÇÃO.....	55
6.2 ANÁLISE DE DISPONIBILIDADE DE IRRADIAÇÃO SOLAR.....	55
6.3 ANÁLISE DAS ÁREAS DISPONÍVEIS PARA INTEGRAÇÃO.....	56
6.4 ACOPLAMENTO ENTRE O PAINEL FOTVOLTAICO E INVERSOR.....	57
6.5 CUSTOS DO SISTEMA.....	57
6.5.1 Custo inicial.....	57
6.5.2 Custo de manutenção.....	58
6.6 ESTIMATIVA DA ENERGIA GERADA PELO SISTEMA E ECONOMIA GERADA.....	58
7. RESULTADOS.....	60
7.1 SOMBREAMENTO DA EDIFICAÇÃO.....	61
7.2 DISPONIBILIDADE DE IRRADIAÇÃO SOLAR.....	62
7.3 ÁREAS DISPONÍVEIS PARA INTEGRAÇÃO.....	63
7.4 ACOPLAMENTO DO PAINEL FOTVOLTAICO E INVERSOR.....	65
7.5 CUSTO INICIAL DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA.....	67
7.6 ESTIMATIVA DA ENERGIA GERADA PELO SISTEMA E ECONOMIA GERADA.....	68
8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	71
8.1 CONCLUSÕES.....	71
8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	72

REFERÊNCIAS	73
ANEXO A – ELEVAÇÃO DA FACHADA NORTE.....	77
ANEXO B – ELEVAÇÃO DA FACHADA OESTE.....	78
ANEXO C – CÁTALOGO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO ESCOLHIDO.....	79
ANEXO D – CATÁLOGO DO INVERSOR ESCOLHIDO.....	81
ANEXO E – VENDA DO MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	85
ANEXO F – MÓDULO FACHADA FOTOVOLTAICA.....	86
ANEXO G – DETALHES CONSTRUTIVOS.....	87

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia solar fotovoltaica consiste em transformar diretamente a luz solar em energia elétrica através das células solares. Os módulos fotovoltaicos são conjuntos destas células encapsuladas e ligadas entre si eletricamente e podem ser inseridos, de muitas formas, em sistemas de vedação externa de uma edificação (CHIVELET; SOLLA, 2010).

De acordo com o último estudo publicado pela European Photovoltaic Industry Association (EPIA), em 2014, a potência fotovoltaica instalada no mundo corresponde a 138,856 GWp, sendo a grande parte na Europa, Estados Unidos e Japão (EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION, 2014). No Brasil estima-se que a capacidade de sistemas fotovoltaicos instalados seja de 30 a 40 MWp (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, 2012).

De acordo com Rüther (2004, p. 29) o sombreamento dos módulos fotovoltaicos é uma questão crítica. Um gerador fotovoltaico apresenta performance ótima quando iluminado homoganeamente. Dada a característica construtiva da maioria dos módulos fotovoltaicos, em que as células solares individuais são conectadas em série, uma pequena sombra sobre uma destas células, como a sombra projetada por uma antena, chaminé ou poste, pode reduzir acentuadamente o rendimento de todo o sistema. Isto se deve ao fato de que a célula sobre a qual incidir a menor quantidade de radiação é que irá determinar a corrente (e, portanto, a potência) de operação de todo o conjunto a ela conectado em série. Então, para edifícios na orla do Guaíba, nos quais as chances de construção de outros edifícios que façam sombra são mínimas, a geração de energia solar fotovoltaica integrada à edificação se torna uma ótima alternativa para estes diminuírem seus custos com energia elétrica.

Dias (2014, p. 1) salienta que edificações têm um papel decisivo no consumo de energia elétrica nas cidades. No Brasil, o consumo residencial chega a 24,2 % do total, somando-se aos setores público e comercial, as edificações são responsáveis por 48,5 % do consumo de energia elétrica do País.

Com a Resolução Normativa n. 482 de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), criou-se regulamentação necessária para que os consumidores de energia elétrica

possam ser também geradores de energia, desde que de fonte renováveis, sendo especificadas a fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Assim o presente trabalho apresentará o procedimento para o pré-projeto e orçamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede e integrado à edificação estudada, e o cálculo da estimativa de energia que será gerada anualmente pelo sistema e finalmente o tempo de retorno do investimento feito.

No capítulo 2 são mostradas as diretrizes da pesquisa, no capítulo 3 é apresentada uma visão geral da situação energética no Brasil e também a situação em um contexto mundial, da energia solar fotovoltaica como ela é gerada. Já no capítulo quatro são apresentados os principais componentes de um sistema fotovoltaico e as diversas formas de integrá-los a edificações, no capítulo 5 são mostrados de forma sucinta, os softwares utilizados para realizar o projeto. No capítulo 6 é apresentada a metodologia usada para se projetar o sistema para edificação estudada e no capítulo 7 são mostrados os resultados obtidos. Finalmente no capítulo 8 tem-se as conclusões finais sobre o trabalho realizado bem como sugestões para próximos trabalhos.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual o período de retorno do investimento para a instalação de um sistema fotovoltaico, conectado à rede elétrica pública e integrado à edificação estudada, localizada na orla do Guaíba?

2.2 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo principal do trabalho é dimensionar a potência e estimar o quanto de energia um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica pública e integrado à edificação estudada poderia gerar ao longo de 25 anos verificando qual o período de retorno do investimento.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que o sistema terá o retorno do investimento antes que a garantia dos módulos solares tenha sido atingida, ou seja, 25 anos.

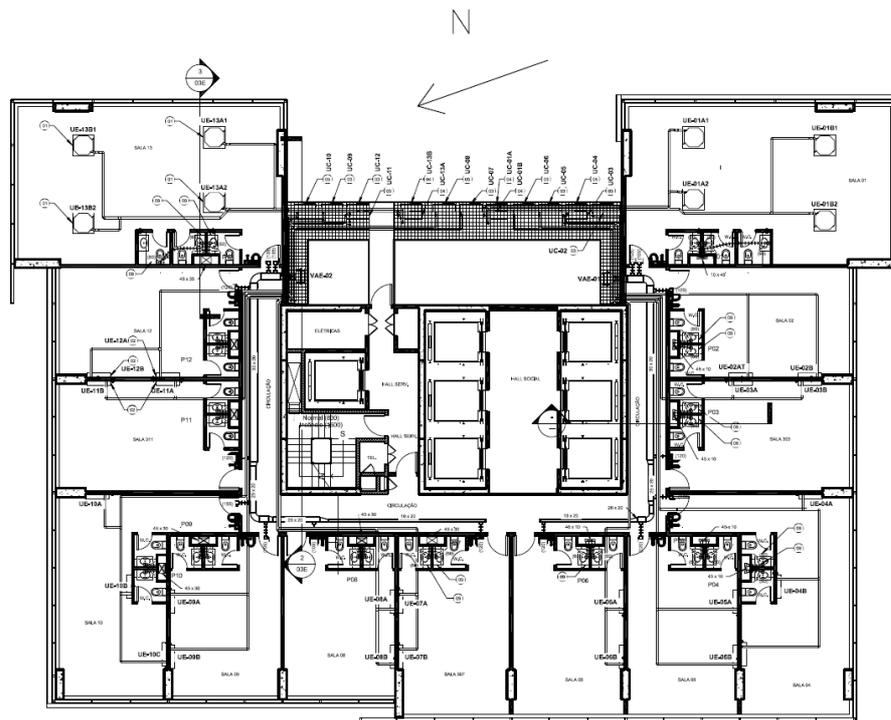
2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica pública e integrados a edificações diminuem os custos das edificações com o consumo de energia elétrica e que instalando esses sistemas as edificações se tornam mais eficientes energeticamente.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à edificação estudada, conforme mostra a figura 1, caracterizada pela localização a 30° de latitude sul e 51° de longitude oeste de Greenwich, com desvio azimutal de 6° para oeste.

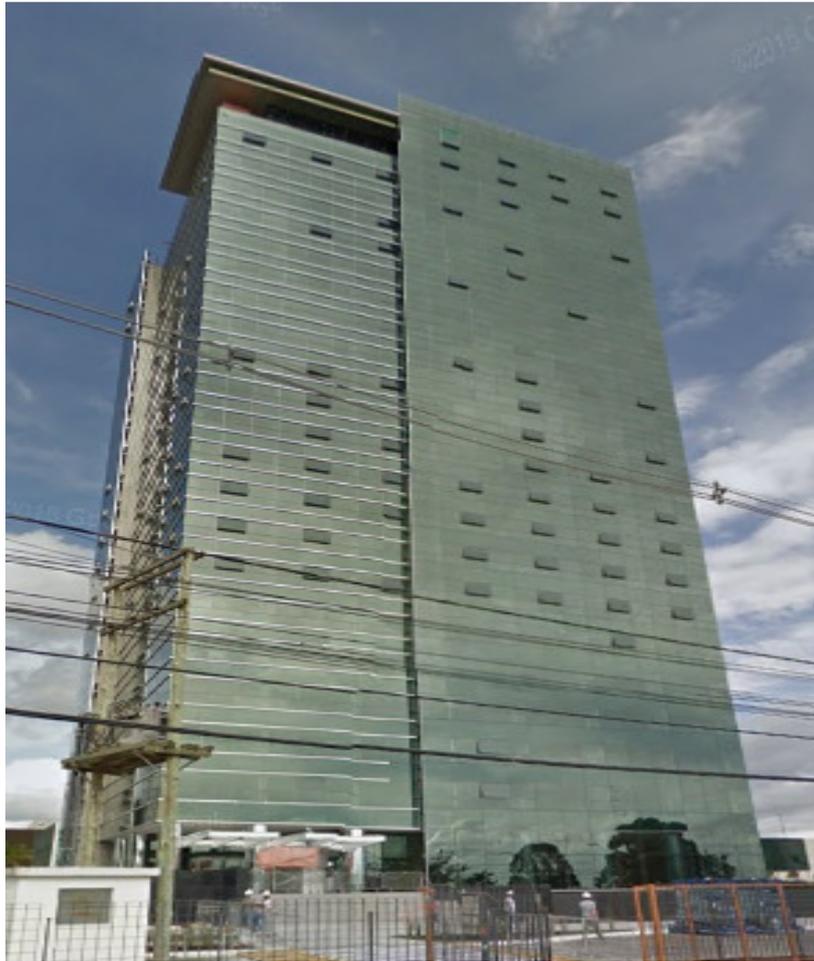
Figura 1 – Planta baixa do pavimento tipo da edificação a ser estudada



(fonte: trabalho não publicado)¹

¹ Desenho técnico fornecido pela empresa construtora da edificação estudada.

Figura 2 – Foto da edificação a ser analisada



(fonte: GoogleEarth, 2015)

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

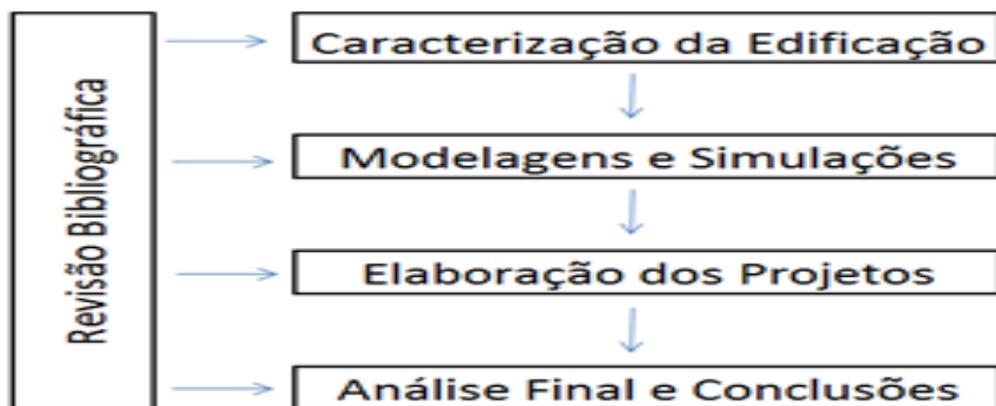
- a) não foram realizadas medições da radiação solar com equipamentos., do Atlas Brasileiro de Radiação Solar e dos programas de simulação de radiação solar;
- b) não foi medida a eficiência dos módulos solares e dos inversores, portanto, adotou-se as informações técnicas oferecidas pelas empresas fabricantes que possuem selo de qualidade Inmetro ou certificação internacional.
- c) usa- se somente os softwares Ecotect e Radiasol 2 para as simulações.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 3 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) caracterização da edificação;
- c) modelagem e simulações de sistemas integrados a edificação;
- d) elaboração dos projetos de integração a edificação e elétrico básico;
- e) análise final e conclusões.

Figura 3 – Diagrama de etapas do trabalho de conclusão de curso



(fonte: elaborado pelo autor)

O cronograma das etapas está apresentado na figura 4.

Figura 4 – Cronograma de execução das etapas do trabalho

Etapas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
pesquisa bibliográfica	■	■	■	■	■	■	
caracterização da edificação;	■						
modelagem e simulações de sistemas integrados a edificação		■	■	■			
elaboração dos projeto de integração a edificação e elétrico básico				■	■	■	
análise final e conclusões.							■

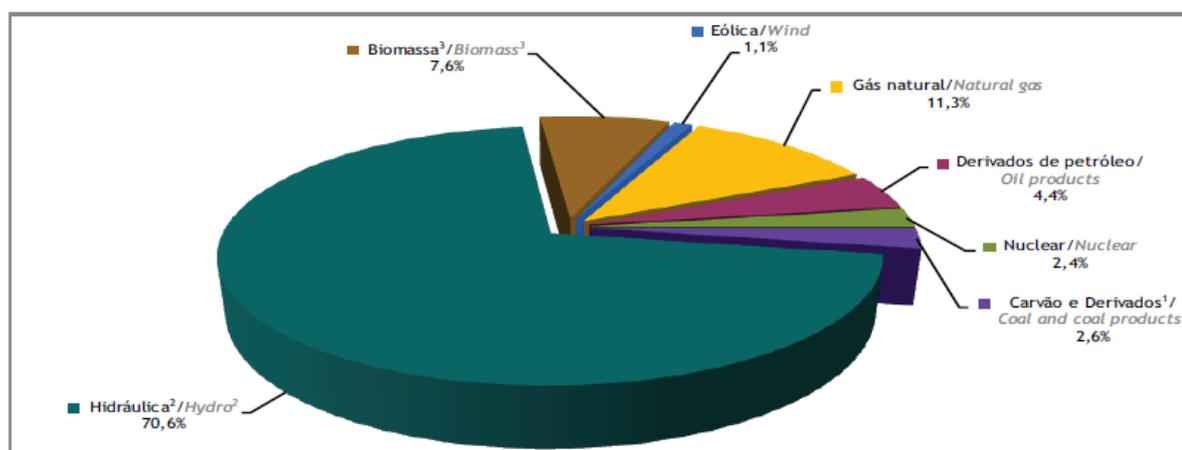
(fonte: elaborado pelo autor)

A pesquisa bibliográfica foi feita durante todo o andamento do trabalho. A etapa de caracterização da edificação consiste em mostrar sua localização geográfica e o tipo de ocupação da edificação, assim como sua caracterização arquitetônica. As simulações de sombreamento foram feitas com o software da Autodesk, o Ecotect, que permite avaliar o sombreamento e a disponibilidade de radiação solar nas superfícies da edificação durante o ano. A simulação de disponibilidade de irradiação solar foi feita com o programa Radiasol 2, desenvolvido pelo Laboratório Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) Com estes dados tornou-se possível realizar os cálculos de simulações de integração dos módulos fotovoltaicos. A elaboração do projeto de integração consistiu em definir as áreas da edificação onde seriam integrados os módulos e de que maneiras estes seriam incorporados à edificação e ainda como seriam as ligações dos módulos e dos equipamentos do circuito elétrico. Com posse de todos os resultados destas etapas, é feita a análise final e apresentadas as conclusões, que mostram o custo total do sistema e o tempo de retorno do investimento. Finalmente é apresentado sugestões para trabalhos futuros.

3. CONTEXTO ENERGÉTICO BRASILEIRO E A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A matriz energética do Brasil é uma das poucas no Planeta que possui grande percentual de fontes renováveis. Porém sua diversidade é baixa e a grande parte da energia gerada provém da hidroeletricidade. Com as recentes secas, a capacidade de produção de energia por usinas hidroelétricas diminuiu bastante, fazendo com que Brasil tivesse que recorrer a usinas termoelétricas, aumentando suas emissões de dióxido de carbono em 500% entre, 2009 e 2013. Em 2013, a energia gerada pelas termoelétricas custou mais de três vezes o valor da energia solar e, provavelmente, implicará em aumentos de até 30% nas contas de luz (LINHAS..., 2014). A figura 5 mostra a divisão da matriz energética brasileira.

Figura 5 – Oferta interna de energia elétrica por fonte



Notas/ Notes:

¹ Inclui gás de coqueria/ Includes coke oven gas

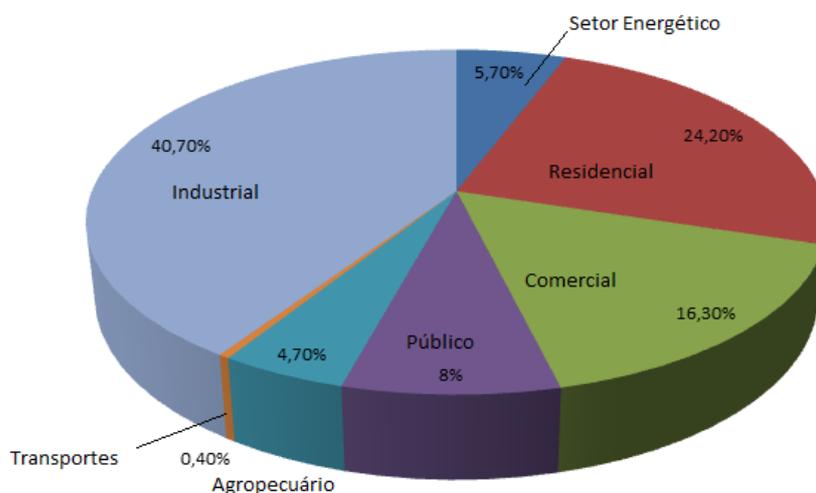
² Inclui importação de eletricidade/ Includes electricity imports

³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações/ Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

(fonte: BRASIL, 2014)

De acordo com o último balanço energético brasileiro, realizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), somando os setores residencial, comercial e público, as edificações são responsáveis pelo consumo de 48,5% do total consumido no país, como pode ser visto na figura 6.

Figura 6 – Consumo energético setorial no Brasil



(fonte: adaptado de BRASIL, 2014)

Atualmente no mundo existe um potencial total instalado de 138 GW, sendo a maior parte na Europa, isso porque os países deste continente possuem programas de incentivos à energia solar fotovoltaica, como isenção de imposto e sistemas de compensação de energia que beneficiam o produtor de energia solar (EUROPEAN ASSOCIATION PHOTOVOLTAICS, 2014). A figura 7 mostra a evolução da potência fotovoltaica instalada no Planeta.

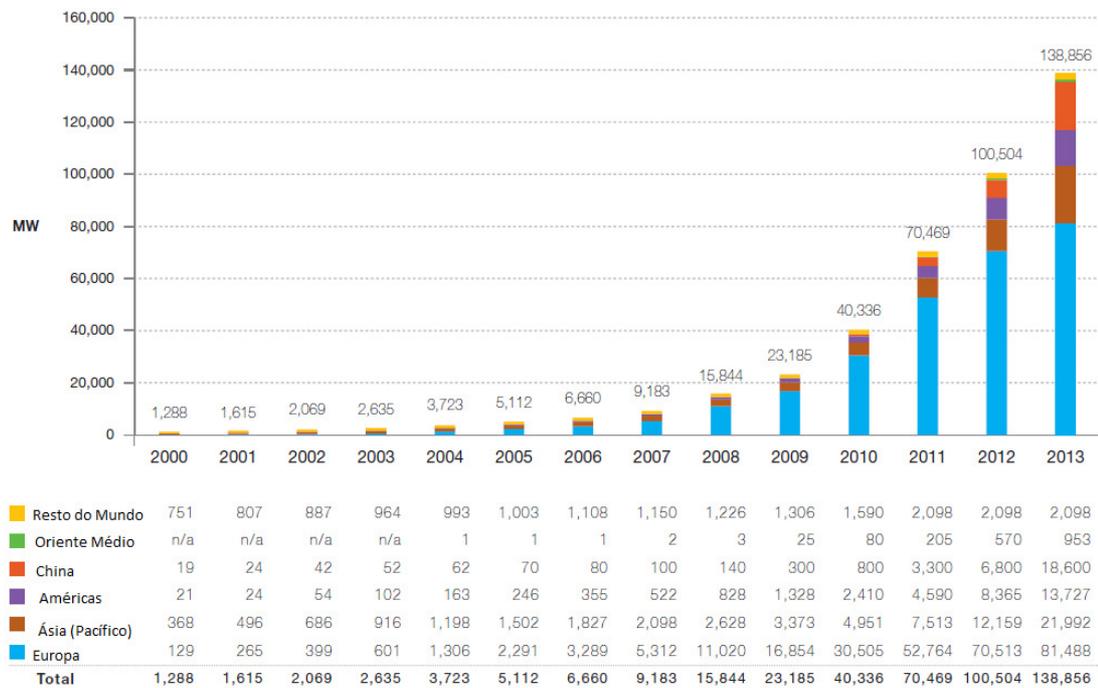
No ano de 2013, a China pela primeira vez foi o país a mais instalar sistemas fotovoltaicos no mundo as Américas e Ásia também tiveram crescimentos expressivos (EUROPEAN ASSOCIATION PHOTOVOLTAICS, 2014), como mostra a figura 8.

Na Europa os países que estão na frente em relação no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica são a Alemanha e Itália, com aproximadamente 75% da capacidade total instalada no continente (EUROPEAN ASSOCIATION PHOTOVOLTAICS, 2014). A figura 9 apresenta a potência fotovoltaica instalada nos principais países da Europa.

Apesar do grande potencial brasileiro, devido à sua alta taxa de radiação solar, a tecnologia fotovoltaica ainda não é uma realidade no País. Diferentemente das usinas termelétricas, hidroelétricas e parques eólicos, os geradores fotovoltaicos não necessitam de licença ambiental para serem implementados (ENERGIA..., 2013). Segundo Galdino (2012) os custos dos módulos fotovoltaicos no Brasil são geralmente expressos em Reais por Watt-pico (R\$/Wp) Este índice depende do tipo de tecnologia usada na fabricação do módulo e também da sua eficiência de conversão. No Brasil, o mercado é dominado pelos módulos de silício

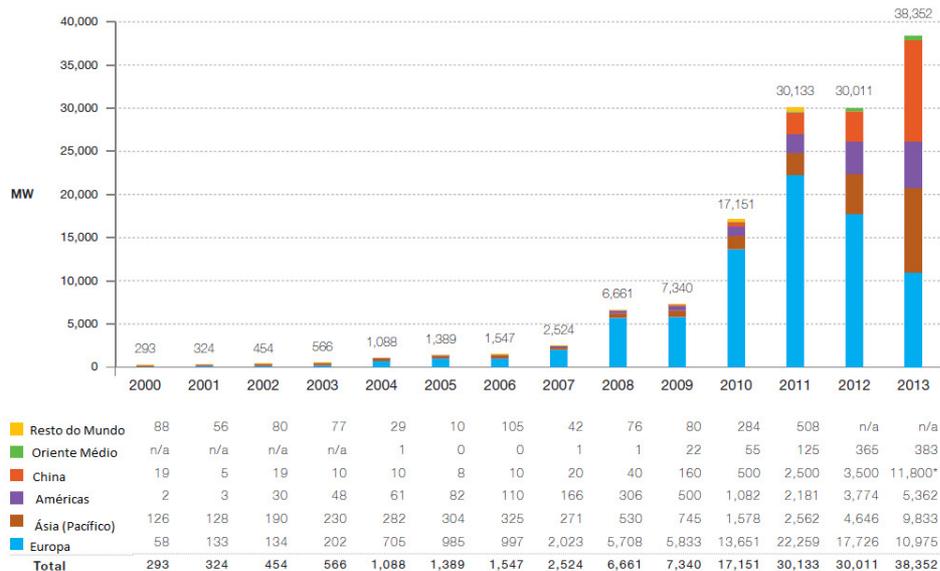
crystalino, que estão em queda de preço de forma linear desde 2001 devido à queda dos custos internacionais. Esta queda foi de aproximadamente 70% ao longo do período estudado e está representada na figura 10.

Figura 7 – Potencia l fotovoltaico acumulado instalado no mundo



(fonte: EUROPEAN ASSOCIATION PHOTOVOLTAICS, 2014)

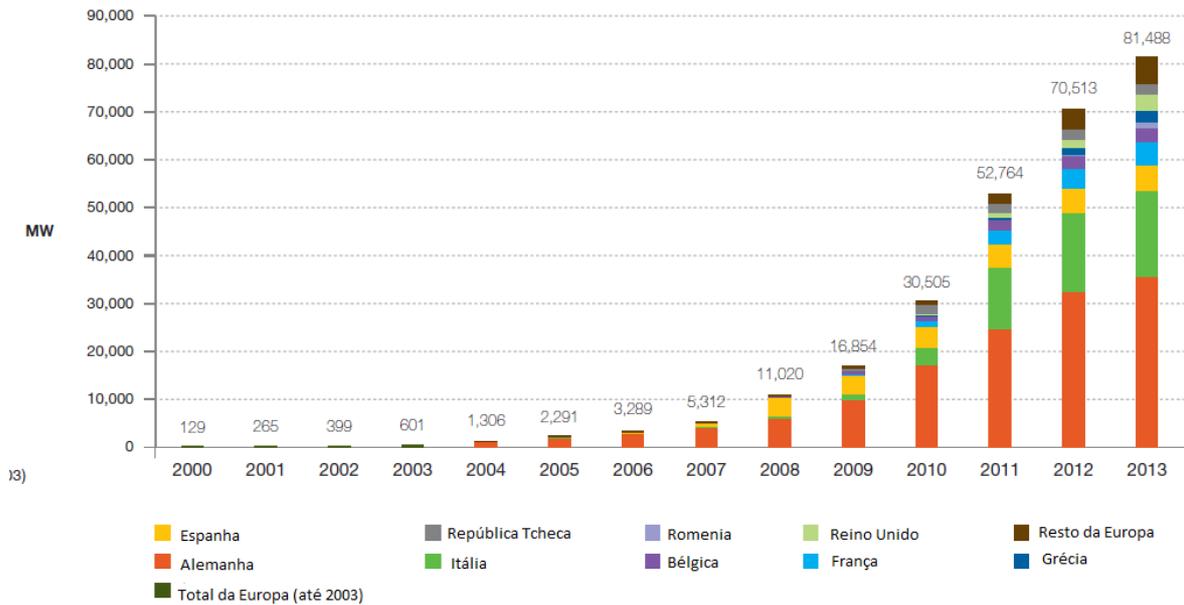
Figura 8 – Potencial fotovoltaico instalado no mundo a cada ano



(fonte: EUROPEAN ASSOCIATION PHOTOVOLTAICS, 2014)

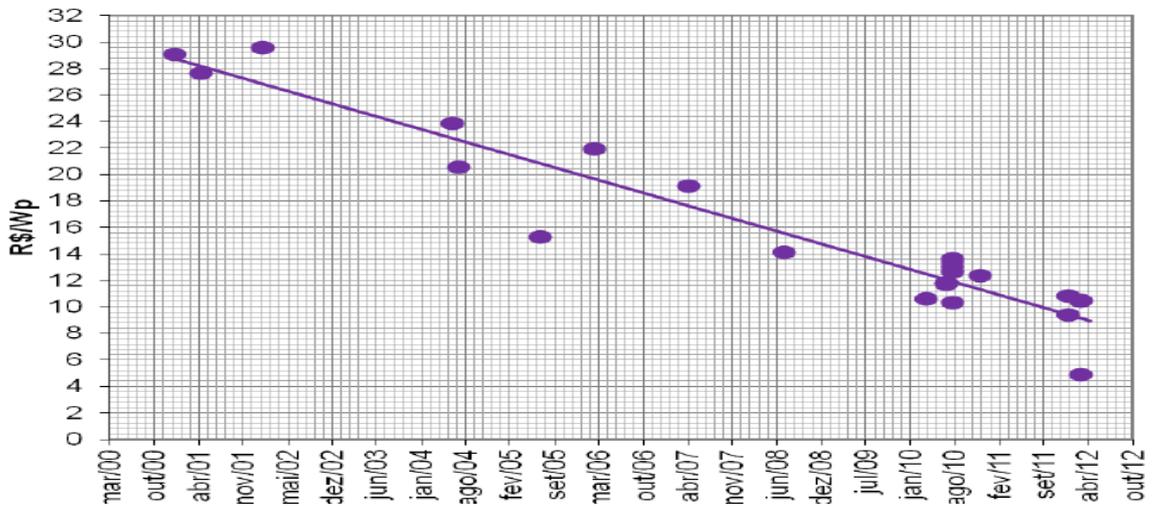
Potencial de geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico conectado à rede e integrado à uma edificação na orla de Porto Alegre: verificação do tempo de retorno do investimento

Figura 9 – Potência fotovoltaica acumulada na Europa



(fonte: EUROPEAN ASSOCIATION PHOTOVOLTAICS, 2014)

Figura 10 – Gráfico dos preços históricos dos módulos fotovoltaicos no Brasil no período de 2001-2012



(fonte: GALDINO, 2012)

Em 2014, o Brasil teve grandes incentivos para o aumento da utilização da energia fotovoltaica. O governo do estado de São Paulo isentou do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), bens e equipamentos usados para gerar energia a partir de fontes renováveis incluindo a energia solar. No estado de Santa Catarina a empresa de distribuição Eletrobrás, instalou a maior usina integrada a uma edificação da América do Sul, com capacidade de produzir até 1,2 GWh durante um ano. Já o estado de Pernambuco,

pioneiro nos leilões de energia solar, através destes viabilizou 122MW em usinas fotovoltaicas. Ainda em junho de 2013 foi aprovado, na Comissão de Infraestrutura do Senado, um projeto de lei que prevê a isenção de Imposto de Importação na compra de equipamentos e componentes necessários para sistemas fotovoltaicos (CARPENTER, 2014). Esta lei não é o ideal para o Brasil, pois esse projeto de lei incentiva à importação, o que dificulta a situação de empresas brasileiras de estabelecer uma forte indústria nacional fotovoltaica. Visto que o Brasil é um dos maiores importadores de silício do mundo, que é a matéria prima da maioria das células fotovoltaicas, a melhor solução seria incentivar a indústria nacional.

3.1 ENERGIA SOLAR

O Sol é responsável indiretamente por praticamente todas outras fontes de energia. É através da sua energia que as águas evaporam, dando origem ao ciclo das águas, possibilitando o represamento e a hidroeletricidade; é a radiação solar que causa os ventos que são captados em usinas eólicas; os combustíveis fósseis foram gerados por resíduos de seres vivos, que utilizaram o recurso solar para captar a energia necessária ao seu desenvolvimento, assim como é através do Sol que a cana-de-açúcar realiza a fotossíntese e se desenvolve para depois ser convertida em combustível. As formas citadas acima para obtenção da energia solar são indiretas, as formas diretas de captação são a energia solar fotovoltaica e energia solar térmica (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo Rüter (2004), todo o dia incide sobre a superfície da Terra mais energia vinda do Sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso Planeta, em todo um ano. Assim, geração direta de eletricidade, através do efeito fotovoltaico, apresenta-se como uma das mais elegantes formas de gerar energia elétrica.

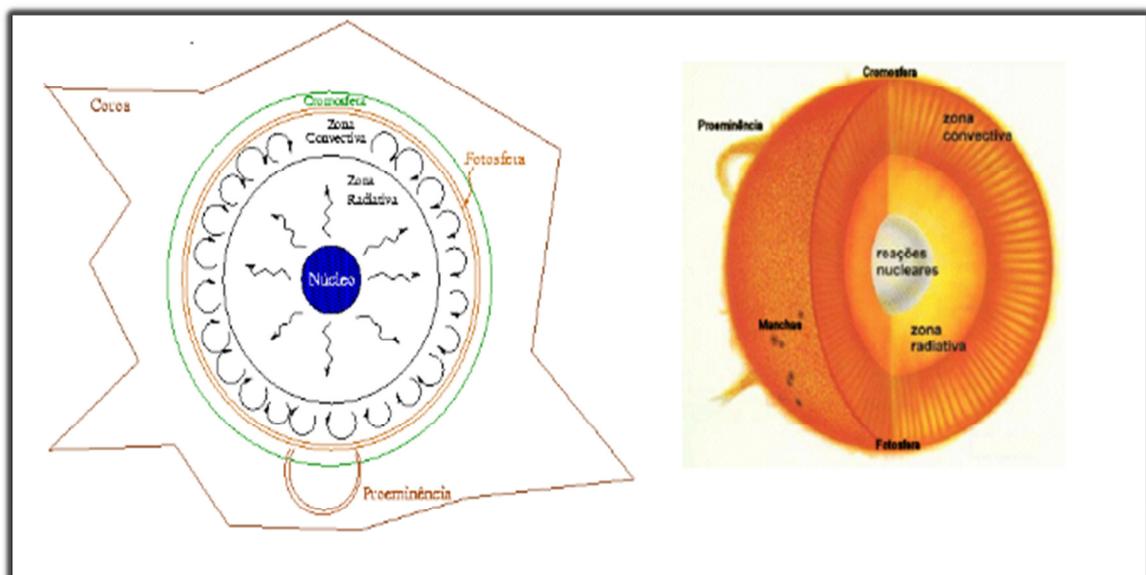
O uso da energia solar já é conhecido há muito tempo. Por exemplo, em 1878, em Paris, o professor de matemática Augustin Mouchot utilizou um concentrador solar para produzir blocos de gelos e afirmou “[...] o carvão do Planeta um dia acabará, mas o esplêndido Sol sempre estará lá por nós.” (COSMOS..., 2014).

3.2. O SOL E SUAS CARACTERÍSTICAS

O Sol, nossa fonte de luz e de vida, é a estrela mais próxima do nosso Planeta. Basicamente, é uma enorme esfera de gás incandescente, em cujo núcleo acontece a geração de energia através de reações termonucleares.

O modelo representado na figura 11 mostra as principais regiões do Sol. A fotosfera, com cerca de 330 km de espessura e temperatura de 5785 K, é a camada visível do Sol. Logo abaixo da fotosfera se localiza a zona convectiva, estendendo-se por cerca de 15 % do raio solar. Na zona convectiva o transporte de energia é pelo movimento das parcelas de gás (transporte mecânico). Abaixo dessa camada está a zona radiativa, onde a energia flui por radiação; isto é, não há movimento das parcelas de gás, só transporte de fótons. O núcleo, com temperatura de cerca de 15 milhões de Kelvin, é a região onde a energia é produzida, por reações termonucleares. A cromosfera é a camada da atmosfera solar logo acima da fotosfera e tem baixa densidade. Ela tem cor avermelhada e é visível durante os eclipses solares, logo antes e após a totalidade. Estende-se por 10 mil km acima da fotosfera e a temperatura cresce da base para o topo, tendo um valor médio de 15 mil K. Ainda acima da cromosfera se encontra a que se estende por cerca de dois raios solares e tem densidade ainda mais baixa que a cromosfera. (KEPLER; SARAIVA, 2004)

Figura 11 – Estrutura do Sol



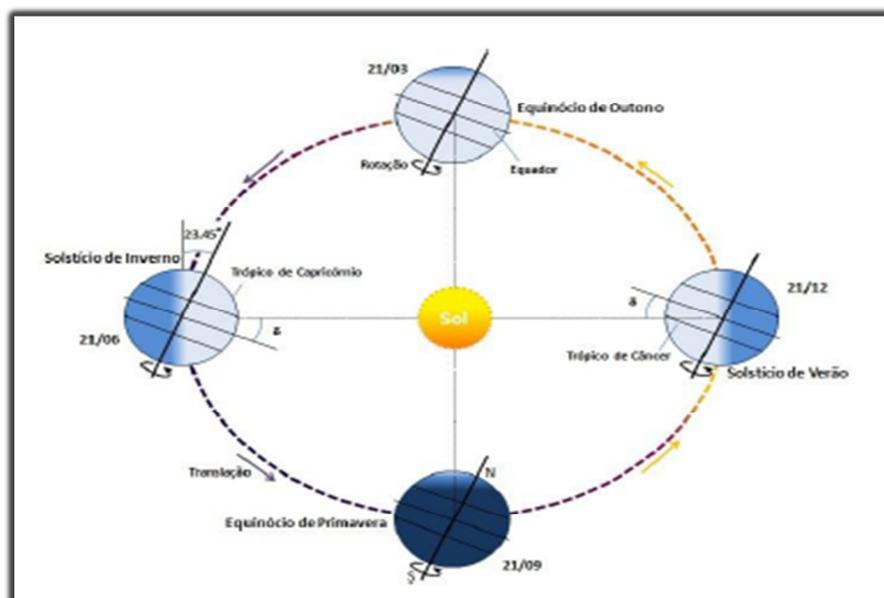
(fonte: KEPLER; SARAIVA; 2004)

3.3 GEOMETRIA SOL-TERRA

O movimento de translação da Terra, mostrado na figura 12, é realizado sobre um plano, denominado plano da eclíptica. A Terra também realiza o movimento de rotação, apresentando inclinação de $23^{\circ}27''$ em seu eixo de rotação em relação ao plano da eclíptica. Esta inclinação do eixo de rotação, junto com a translação faz com que os raios solares incidam mais diretamente em um hemisfério ou outro durante o ciclo do Planeta ao redor do Sol, tendo como consequência as estações do ano.

A radiação solar incide nas regiões de baixas latitudes com maior intensidade e menor variação ao longo do ano. A zona tropical, localizada entre as latitudes 23°S e 23°N , recebe radiação solar em ângulos próximos a 90° durante todo o ano. Nos equinócios, que marcam o início da primavera e do outono, a radiação solar atinge a Terra, em zênite, exatamente sobre a linha do Equador, iluminando igualmente os hemisférios. Os solstícios são os dias em que a radiação solar atinge a Terra formando um ângulo de 90° sobre um dos trópicos localizados nos paralelos 23°S (Trópico de Capricórnio) e 23°N (Trópico de Câncer), que são os paralelos mais distantes da linha do Equador em que os raios solares atingem a Terra em zênite, marcando o início do verão e do inverno.

Figura 12 – Órbita da Terra ao redor do Sol, com a inclinação da Terra e as estações do ano

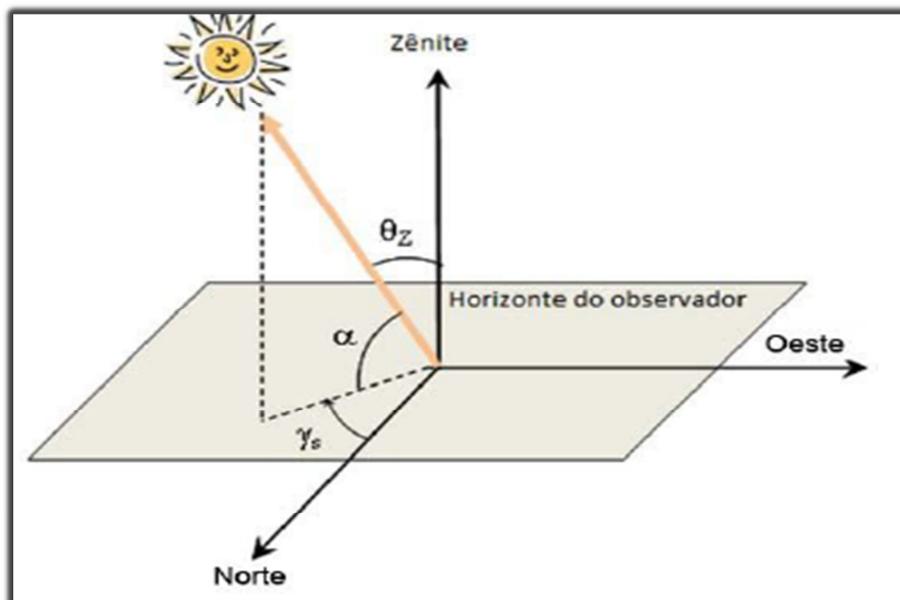


(fonte: PINHO; GALDINO 2014)

As relações entre os raios solares e a superfície da Terra, são descritas através de vários ângulos, que estão representados nas figuras 13 e 14 e descritos logo abaixo (PINHO; GALDINO 2014):

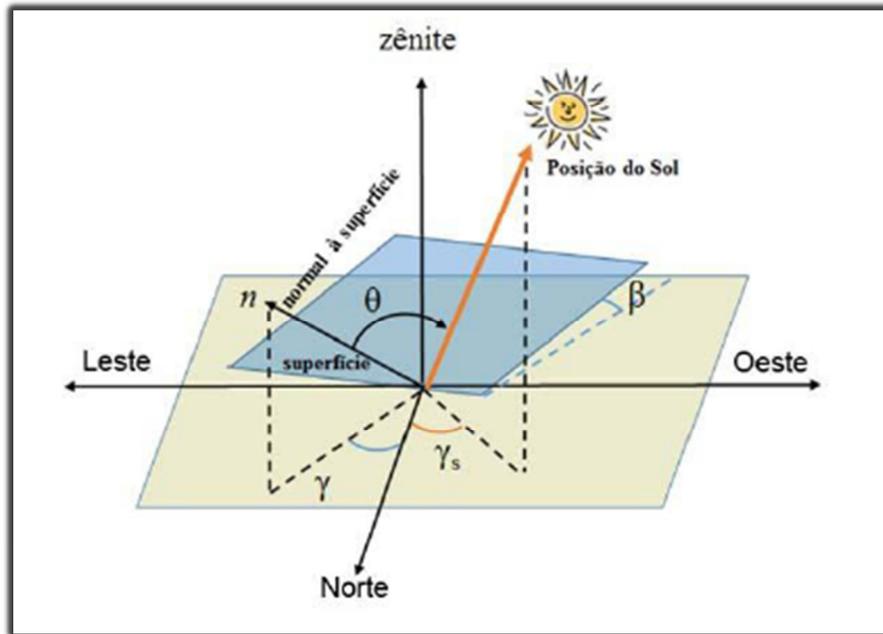
- a) ângulo Zenital (θ_Z): é o ângulo formado entre os raios do Sol e o Zênite, que é a vertical local;
- b) elevação solar (α): ângulo compreendido entre os raios do Sol e a projeção dos mesmo sobre o plano horizontal;
- c) azimute solar (γ_s): ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul.
- d) azimute da superfície (γ): ângulo entre a projeção normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul;
- e) inclinação da superfície de captação (β): inclinação da superfície de captação (ângulo entre o plano da superfície em questão e o plano horizontal);
- f) ângulo de incidência (θ): ângulo formado entre os raios solares e a normal à superfície receptora.

Figura 13 – Representação dos ângulos. θ_Z , α e γ_s



(fonte: PINHO; GALDINO 2014)

Figura 14 – Representação da orientação de uma superfície inclinada em relação ao mesmo plano: ângulos β , γ_s , γ e θ



(fonte: PINHO; GALDINO 2014)

3.4 RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A TERRA

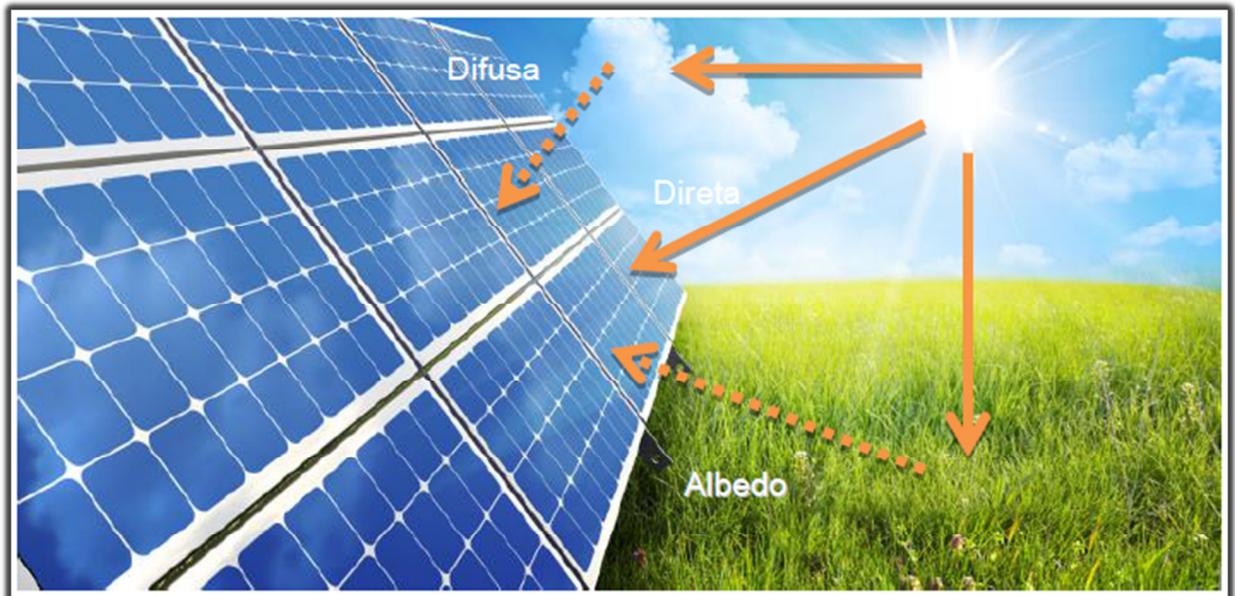
O termo radiação solar quando usado de forma genérica, pode ser referenciado em termos de fluxo de potência, denominado de irradiância solar, ou em termos de energia por unidade de área, especificado como irradiação solar. A densidade de fluxo energético proveniente da irradiância solar que atinge o topo da atmosfera é denominada constante solar, e tem o valor de 1367 W/m^2 . Com as perdas de potência, que acontecem na atmosfera, a irradiância média que chega à superfície da Terra é de 1000 W/m^2 , e é este o valor adotado para a especificação da potencial nominal dos módulos fotovoltaicos (PINHO; GALDINO 2014).

A irradiação solar que atinge determinado corpo é formada por um espectro com diferentes comprimentos de ondas e possui três componentes: a irradiação direta, com os raios solares atingindo a superfície do corpo diretamente vindos do Sol; a irradiação difusa, proveniente da reflexão na atmosfera e o albedo, proveniente da refletância nos elementos ao redor do corpo, como o solo e as edificações (SANTOS, 2013), conforme representado na figura 15.

No Brasil, através das pesquisas do Projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment), foi possível criar o Atlas Brasileiro Solarimétrico. A base de dados levantada é

compatível com sistemas de informação geográfica e, portanto, pode ser facilmente empregada em estudos de viabilidade econômica no desenvolvimento de projetos (AMÉRICA DO SOL, [2014]).

Figura 15 – Representação das componentes da irradiação solar

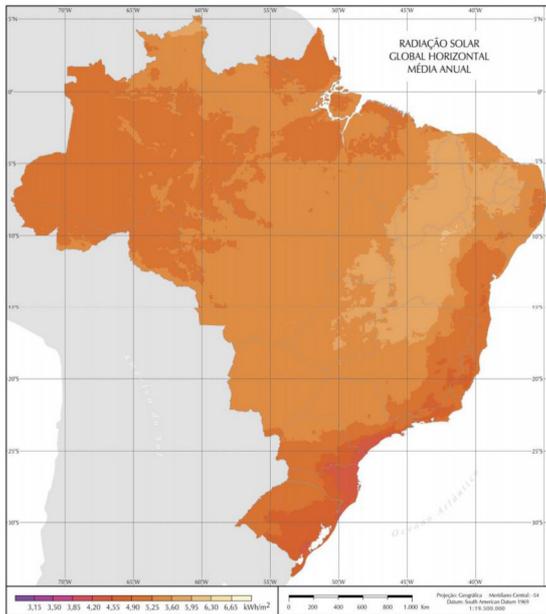


(fonte: PINHO; GALDINO 2014)

Como mostrado nas figuras 16 e 17, comparando-se a disponibilidade de radiação solar do Brasil e da Alemanha, chega-se a conclusão de que as regiões menos ensolaradas brasileiras apresentam taxa de radiação solar 25% maior que as regiões mais ensolaradas da Alemanha, que é o país que mais incentiva as fontes renováveis e que possui a maior potência fotovoltaica instalada do mundo (RÜTHER; SOLAMANI, 2011).

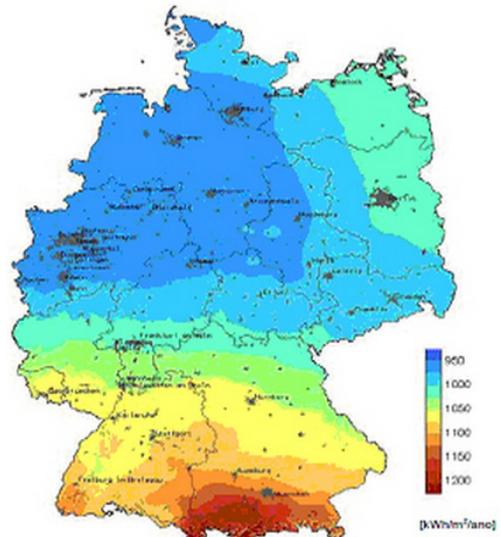
Conforme o ângulo de inclinação da superfície de captação solar e a inclinação azimutal, a quantidade de irradiação solar que atinge esta varia, sendo que a posição ótima, onde a superfície mais receberá energia, é na inclinação igual à latitude do local onde ela se encontra. A figura 18 mostra um ábaco com essas variações, para a cidade de Porto Alegre. Segundo Santos (2013), é necessária uma inclinação entre +60 e -60 graus em relação ao azimute e inclinações entre 10 e 30 graus, em relação à horizontal para captação de maiores níveis de irradiação solar.

Figura 16 – Média anual de irradiação solar do Brasil, para um uma superfície horizontal



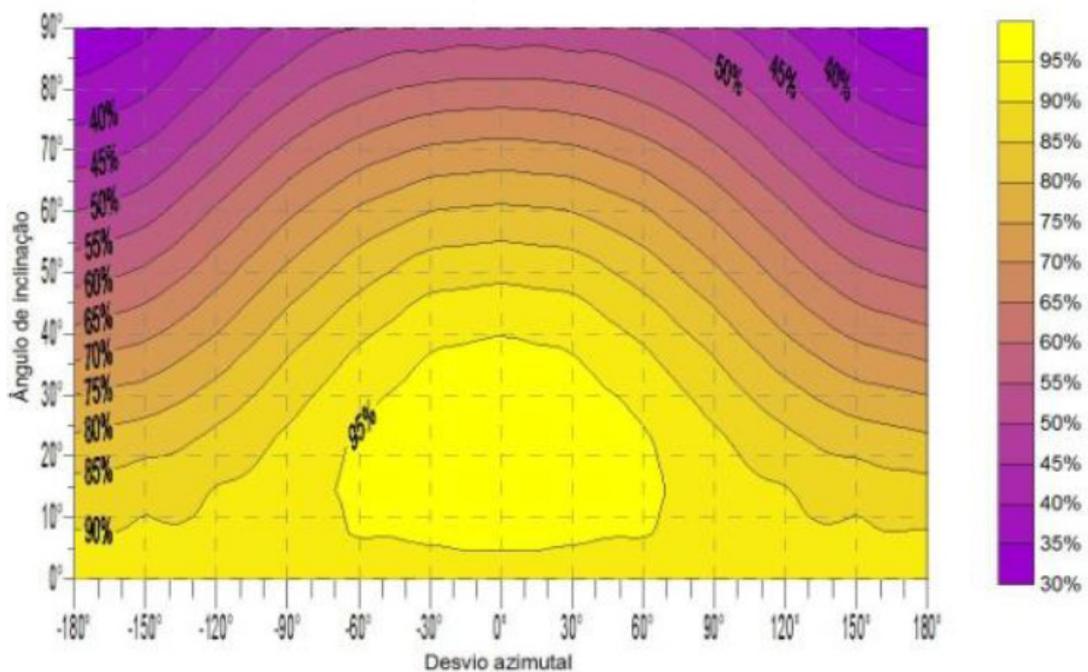
(fonte: RÜTHER; SOLAMANI, 2011)

Figura 17 – Média anula de irradiação solar da Alemanha, para uma superfície horizontal



(fonte: RÜTHER; SOLAMANI, 2011)

Figura 18 – Ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies, em Porto Alegre



(fonte: SANTOS, 2013)

Potencial de geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico conectado à rede e integrado à uma edificação na orla de Porto Alegre: verificação do tempo de retorno do investimento

3.5 LEGISLAÇÃO PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O caminho para a aprovação de uma regulamentação para o incentivo ao uso da tecnologia fotovoltaica para a geração de energia no meio urbano no Brasil teve início em 2008 com instituição do Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Fotovoltaicos (GT - GDSF), pelo Ministério de Minas e Energia, a finalidade deste grupo era elaborar uma proposta de política para a utilização de geração fotovoltaica conectada a rede e integradas a edificações urbanas (MONTENEGRO, 2013).

3.4.1 Resolução Normativa ANEEL nº. 482 de 2012

No dia 17 de abril de 2012, a ANEEL aprovou a Resolução Normativa n.482, permitindo que os consumidores de energia pudessem também contribuir para o sistema energético com geradores distribuídos utilizando fontes renováveis de energia (hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada), com microgeração ou minigeração, caracterizadas pela potência instalada de até 100 kW para microgeradores e entre 100 kW e 1MW para minigeradores. Esta resolução criou o “Sistema de Compensação de Energia”, assim, a unidade geradora instalada injetará a energia que não for consumida no sistema da distribuidora, que utilizará o crédito para abater o consumo nos meses subsequentes, estes créditos poderão ser utilizados em um prazo de 36 meses e as informações estarão descritas nas faturas do consumidor.

3.4.2 Instrução Técnica IT-81.081 CEEE de 2014

A instrução técnica IT-81.081 da CEEE estabelece as diretrizes básicas para a conexão e acesso de micro e minigeração ao sistema de distribuição e adesão ao sistema de compensação de energia elétrica, visando os aspectos de proteção, operação e segurança. Os procedimentos e principais considerações são indicados a seguir no quadro a seguir retirado da instrução técnica. Observa-se que um processo longo podendo levar até 232 dias desde a primeira consulta de acesso.

Quadro 1 – Etapas para acesso de micro e minigeração ao sistema de distribuição da CEEE

Etapa	Ação	Responsável	Prazo
1 Consulta de Acesso	(a) Consulta de Acesso, opcional, com o encaminhamento das informações solicitadas no ANEXO A.	Consumidor	-
2 Informação de acesso	(a) Emissão de Informação de Acesso, com análise preliminar realizada pela CEEE-D.	CEEE-D	Até 30 (trinta) dias após a ação 1(a).
3 Solicitação de Acesso	(a) Solicitação de acesso, com o encaminhamento das informações solicitadas no ANEXO B e demais informações solicitadas pela CEEE-D no documento de informação de acesso, se houver.	Consumidor	-
4 Parecer de Acesso	(a) Emissão de parecer com a definição das condições de acesso.	CEEE-D	Se não houver necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, até 30 (trinta) dias após a ação 3(a). Para central geradora classificada como minigeração distribuída, se houver necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, até 60 (sessenta) dias após a ação 3(a).
5 Contratos	(a) Assinatura do Acordo Operativo relativo a central geradora classificada como minigeração distribuída. (b) Assinatura do Relacionamento Operacional relativo a central geradora classificada como microgeração distribuída.	Consumidor e CEEE-D	Até 90 (noventa) dias após a ação 4(a).
6 Implantação da conexão	(a) Solicitação de vistoria.	Consumidor	Até 24 (vinte e quatro) meses após a ação 4(a).
	(b) Realização de vistoria.	CEEE-D	Até 30 (trinta) dias após a ação 6(a), desde que já realizada a ação 5(a) ou 5(b).
	(c) Entrega do relatório de vistoria para o consumidor.	CEEE-D	Até 15 (quinze) dias após a ação 6(b).
7 Aprovação do ponto de conexão	(a) Comunicação, à CEEE-D, de que foram executadas as adequações constantes no relatório de vistoria.	Consumidor	Até 24 (vinte e quatro) meses após a ação 4(a).
	(b) Aprovação do ponto de conexão, liberando-o para sua efetiva conexão.	CEEE-D	Até 7 (sete) dias após a ação 7(a).

(fonte: COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014)

4. CÉLULAS, MÓDULOS E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

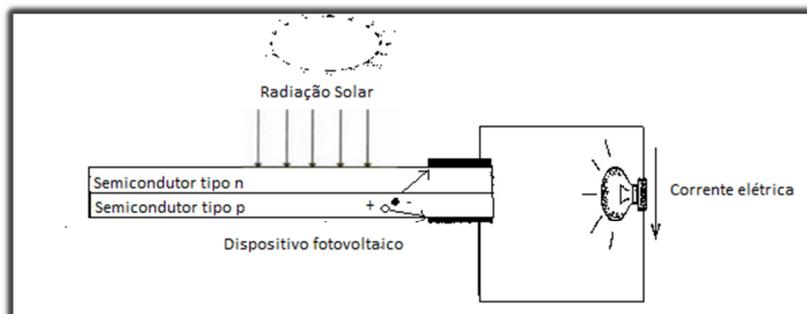
Célula fotovoltaica é o dispositivo especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico que é caracterizado pelo surgimento de uma diferença de potencial entre os terminais de um dispositivo semicondutor quando este é exposto à luz.

Hecktheuer (2001, p. 8) explica como ocorre o efeito fotovoltaico:

[...] é um fenômeno que ocorre nas junções de materiais semicondutores quando expostos à luz. Para que ele ocorra, é necessário que a radiação seja absorvida pelo material semicondutor que tenha duas regiões distintas eletricamente, uma do tipo N e outra do tipo P. Um mesmo cristal pode conter estas duas regiões, desde que dopado adequadamente. Na interface das duas regiões, ocorre uma difusão de elétrons da região N para a região P e uma difusão de lacunas da região P para a região N, devido aos fortes gradientes de concentração de cargas elétricas. Em consequência desta difusão é gerado um campo elétrico interno no material, o qual origina uma força elétrica que se opõe à força de difusão original. Quando estas forças estão em equilíbrio, a corrente através da interface das duas regiões é nula, mas quando a junção P-N é iluminada, o equilíbrio é desfeito. Cada vez que um elétron absorve um fóton da luz incidente e se libera da ligação covalente do átomo, este torna-se um elétron livre deixando uma lacuna onde antes havia a ligação. Os elétrons livres gerados na região P são acelerados pelo campo elétrico localizado na região da junção para o lado N. As lacunas geradas na região N tendem a cruzar a junção para o lado P. Desta forma, se estabelece um desequilíbrio nas correntes da junção ocasionando uma diferença de potencial elétrico entre os dois lados da junção P-N. Se, em cada lado da junção, forem conectados terminais de ligação e estes ligados através de um condutor, aparecerá uma corrente elétrica, denominada de fotocorrente, que perdurará enquanto a junção P-N mantiver-se iluminada.

A figura 19 exemplifica como ocorre o efeito fotovoltaico.

Figura 19 – Efeito fotovoltaico



(fonte: adaptado de CHIVELET; SOLLA, 2010)

O módulo fotovoltaico é unidade básica, formada por um conjunto de células interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica.

Rüther (2004, p. 20) destaca a importância dos módulos para o sistema gerador:

Em qualquer instalação solar fotovoltaica o módulo solar fotovoltaico é a célula básica do sistema gerador. A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em CC. A corrente do gerador solar é definida pela conexão em paralelo de painéis individuais ou de strings (conjunto de módulos conectados em série). A potência instalada, normalmente especificada em CC, é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais.

4.1 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

Segundo Zomer (2010, p. 18), as tecnologias fotovoltaicas podem ser divididas em três gerações: a primeira geração, com os módulos de silício cristalino; a segunda geração, composta pelos filmes finos e a terceira geração de células solares sensibilizadas por corante. Elas se diferenciam quanto à tecnologia para produção das células solares e apresentam diferenças quanto à forma e eficiência.

4.1.1 Células de silício cristalino (c-Si)

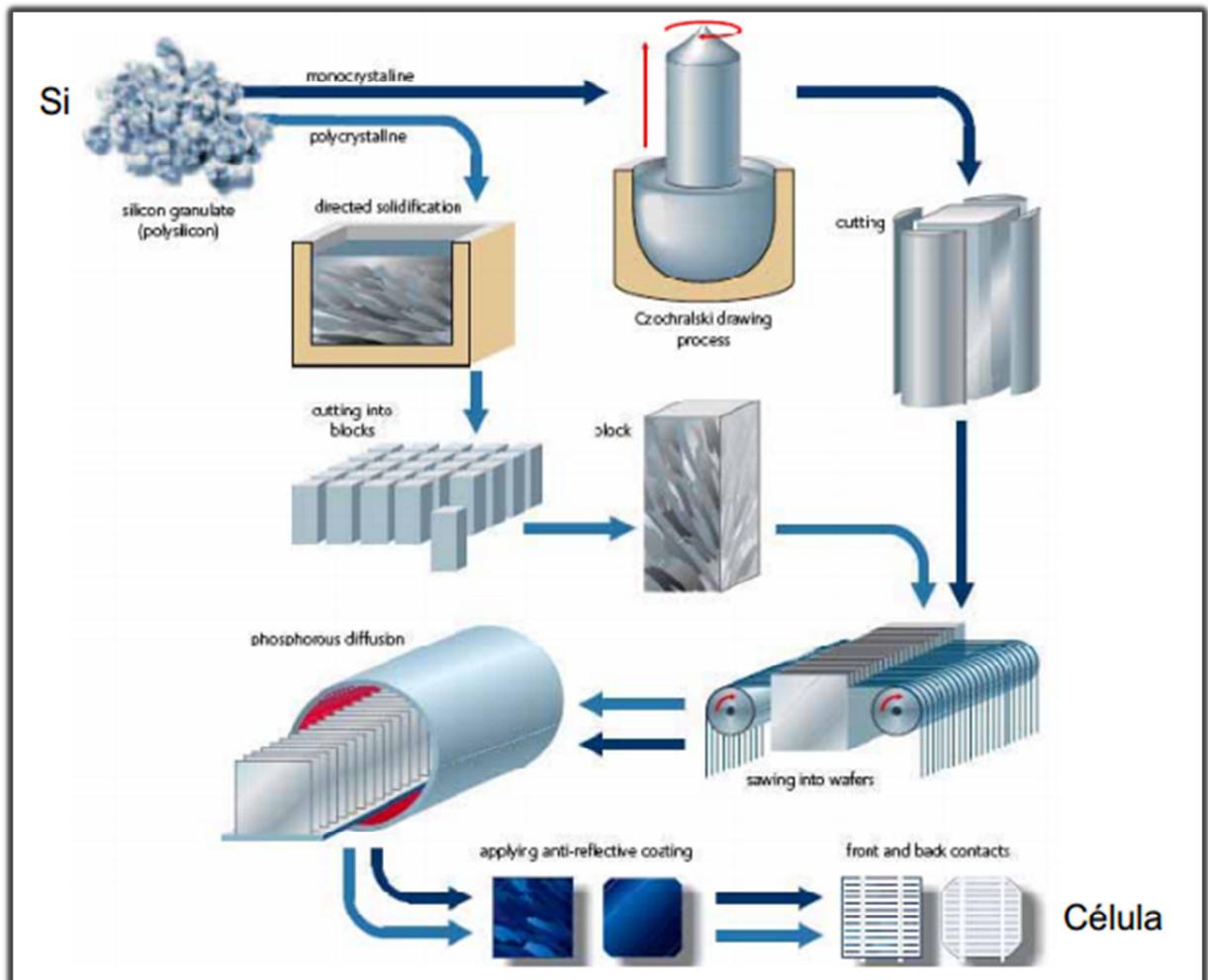
Atualmente está é a tecnologia mais consolidada no mercado, cerca de 90% das células comerciais são fabricadas com finas lâminas de silício, seja monocristalino ou policristalino. (CHIVELET; SOLLA, 2010), a principal vantagem desta tecnologia é a alta eficiência alcançada; cerca de 10 a 16%, em média (ZOMER, 2010).

O silício utilizado para fabricar as células fotovoltaicas pode ser monocristalino (m-Si) ou policristalino (p-Si), eles se diferem quanto ao modo de fabricação. O m-Si é produzido por um método denominado Czochralski, onde se obtém um único cristal e o p-Si é obtido pela solidificação direta, em forma de um bloco composto por pequenos cristais, com dimensões de centímetros. Tanto o lingote formado pelo método Czochralski, como o bloco da solidificação direta são fatiados em lâminas de aproximadamente 0,2 mm, nas quais são fabricadas as células fotovoltaicas (PINHO; GALDINO, 2014). O método de fabricação de solidificação direta é mais eficiente, pois utiliza menos energia e não gera perdas por escultura, no momento de cortar o bloco em fatia; porém, as células possuem menor

eficiência, ainda que seja muito pouca esta diferença. Chivelet e Solla (2010) mostram valores entre 13 e 15%, para os módulos de p-Si

A figura 20 esquematiza os dois métodos de fabricação das células de silício cristalino.

Figura 20 – Processo de fabricação de células fotovoltaicas monocristalinas e policristalinas



(fonte: VIANA, 2014)

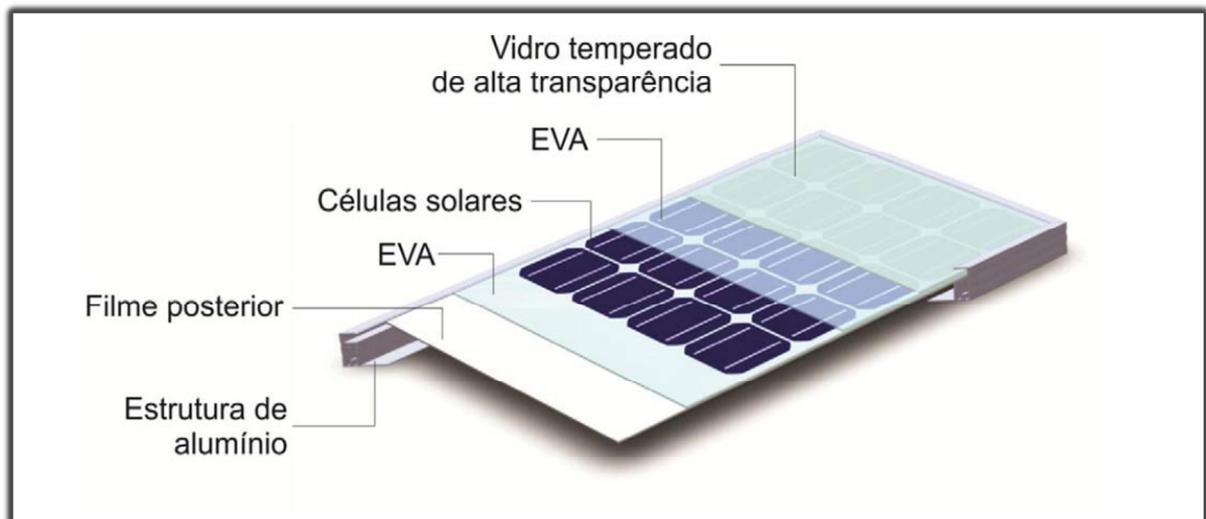
As células fotovoltaicas são conectadas eletricamente e encapsuladas, para formar o módulo fotovoltaico. Pinho e Galdino (2014, p. 132) descrevem o processo básico de encapsulamento das células solares de silício cristalino:

O encapsulamento é constituído por um sanduíche de vidro temperado de alta resistência; acetato de vinila (EVA, do inglês Ethylene-vinyl acetate) estabilizado para a radiação ultravioleta; células fotovoltaicas; EVA estabilizado, e um filme posterior isolante. Este filme é uma combinação de polímeros tais como fluoreto de polivinila (PVF ou Tedlar R); tereftalato de polietileno (PET), dentre outros. O

processo de laminação é realizado a temperaturas de 120 °C a 150 °C, quando o EVA torna-se líquido e as eventuais bolhas de ar geradas são eliminadas. No processo seguinte, é realizada a cura do EVA, que proporciona uma maior durabilidade ao módulo fotovoltaico. Após este processo, coloca-se uma moldura de alumínio anodizado e a caixa de conexões elétricas e o módulo fotovoltaico está finalizado.

A figura 21 representa as camadas componentes de um módulo de silício cristalino.

Figura 21 – Camadas de módulos fotovoltaicos feitos com células de silício cristalino



(fonte: PINHO; GALDINO 2014)

O conjunto de módulos fotovoltaicos ligados entre si formam o painel fotovoltaico.

4.1.2 Filmes finos

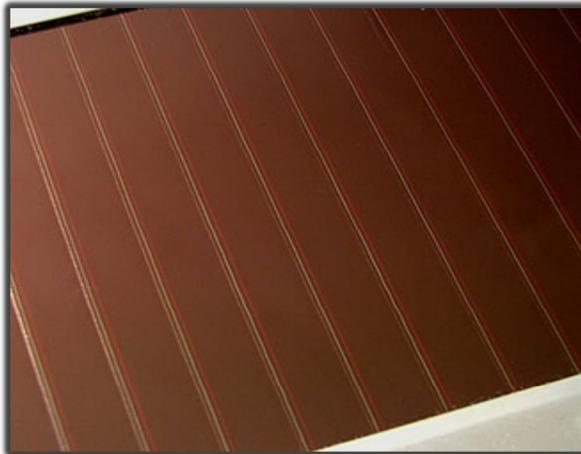
São formados por uma fina camada de material fotovoltaico, geralmente silício amorfo (a-Si), que é depositado em um substrato que pode ser de vidro aço inoxidável ou polímeros. O seu processo de fabricação requer menos energia que o das células de silício cristalino, pois utiliza temperaturas entre 200°C e 500°C, enquanto o processo c-Si necessita de temperaturas próximas a 1400°C para ser fabricado (FARKAS et alli, 2012). Além da tecnologia de silício amorfo, existem células compostas por cobre, índio e gálio (CIS ou CIGS) as de telureto de cádmio (CdTe), que já se mostraram eficientes porém utilizam elementos raros e/ou tóxicos,

enquanto que o silício é segundo material mais abundante na Terra e até cem vezes menos tóxico (RÜTHER, 2004).

A tecnologia mais consolidada entre os filmes finos são as células compostas de silício amorfo. Esses módulos são mais rápidos de serem produzidos e utilizam menos material na sua fabricação, se comparados com a tecnologia de silício cristalino; porém, seu rendimento é a metade. (CHIVELET; SOLLA, 2010)

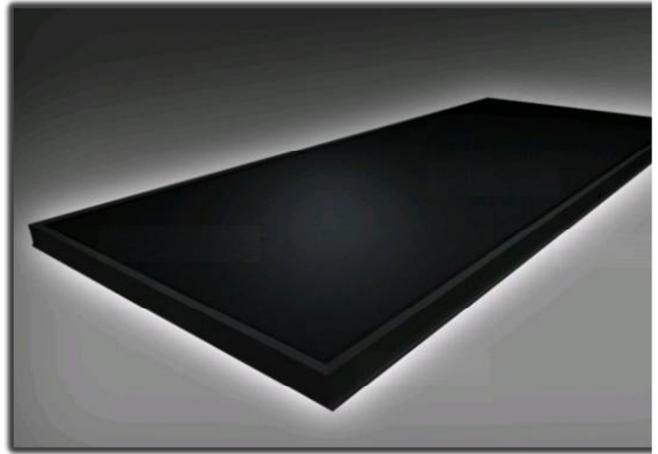
Ao contrário dos módulos de silício cristalino os módulos de silício amorfo não apresentam diminuição da sua eficiência com o aumento da temperatura. Isso pode representar uma grande vantagem para sua integração ao envelope de edificações no Brasil, onde geralmente os módulos atingem grandes temperaturas, devido à falta de ventilação de sua face posterior (RÜTHER, 2004). As figuras 22 e 23 mostram dois exemplos de módulos de filmes finos.

Figura 22 – Módulo de telureto de cádmio



(fonte: FARKAS et alli, 2012)

Figura 23 – Módulo fotovoltaico de silício amorfo



(fonte: FARKAS et alli, 2012)

4.1.3 Células sensibilizadas por corantes

São compostas por um substrato inorgânico formado por nano partículas de dióxido de titânio, que é coberto com um corante molecular que realiza um processo de fotossíntese artificial para gerar eletricidade. A principal vantagem desta tecnologia é o seu baixo custo, mas devido a sua baixa eficiência (4 a 10%) e durabilidade, ainda não é competitiva no mercado (FARKAS et alli, 2012).

4.2 TIPOS DE CONEXÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A geração de sistemas fotovoltaicos é garantida quando os módulos estão expostos à luz, esta energia deve ser consumida imediatamente ou então armazenada.

4.2.1 Sistemas isolados

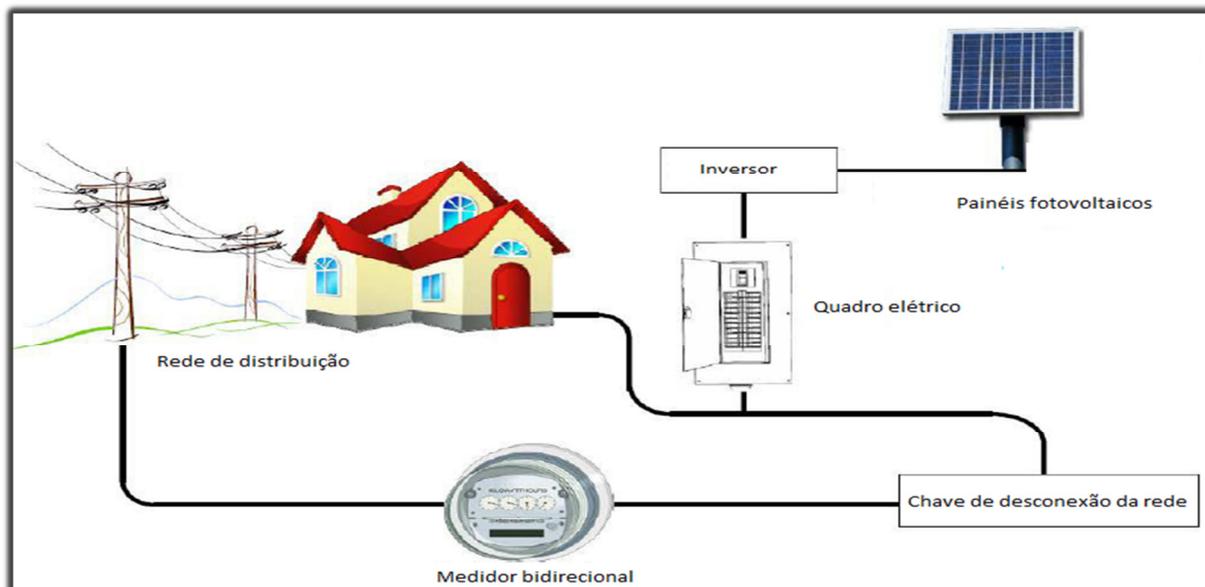
Esses sistemas têm por característica armazenar a energia gerada em acumuladores. Geralmente são baterias químicas; tem desvantagens devido ao uso de baterias que possuem custo elevado e a utilização de elementos tóxicos na sua fabricação. São utilizados principalmente em regiões afastadas, onde não chega a rede elétrica (SANTOS, 2013).

4.2.2 Sistemas conectados à rede de distribuição

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são os que predominam no mercado atualmente, como mostra a figura 24. Estes sistemas funcionam como usinas descentralizadas, fornecendo energia à rede pública quando expostos à luz, não necessitando de baterias. Nesta configuração os módulos são conectados a inversores, que convertem a corrente contínua em corrente alternada na tensão e frequência da rede, que são conectados a relógios medidores, que contabilizam a energia fornecida à rede. Assim, a rede funciona como uma bateria infinita. Possuem a desvantagem de não poder operar quando a rede elétrica está sem energia.

Nos sistemas conectados à rede é possível estabelecer um sistema de compensação de energia, segundo a resolução normativa 482 de 2012 da Aneel. No Brasil este sistema funcionará da seguinte maneira: a energia que for injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora, será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, e a unidade consumidora terá um crédito em quantidade de energia a ser consumida por um prazo de trinta e seis meses, as medições serão feitas por um relógio bidirecional ou dois relógios medidores independentes; um medindo a energia injetada e outro medindo consumida pela unidade consumidora. Na figura 24 está representado de forma esquemática um sistema com medidor bidirecional para compensação de energia.

Figura 24 – Componentes de um sistema fotovoltaico conectado a rede de distribuição



(fonte: adaptado de AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2011)

4.3. COMPONENTES BÁSICOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA DE DISTRIBUIÇÃO

Os principais componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de distribuição são os módulos fotovoltaicos e os inversores. Suas principais características e funções estão descritas nos próximos parágrafos.

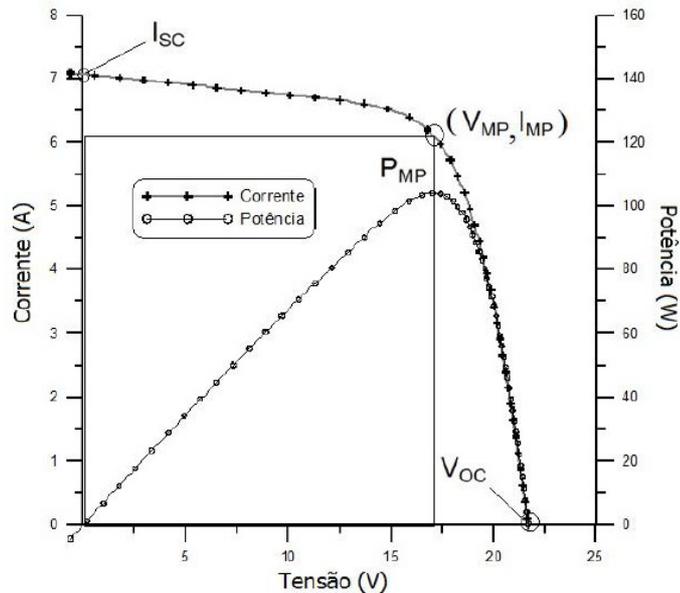
4.3.1 Módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas conectadas em arranjos, para produzir tensão e corrente suficientes para a utilização prática da energia, ao mesmo tempo em que promove a proteção das células, podendo ser um módulo rígido ou flexível, dependendo da tecnologia da célula fotovoltaica, podendo ser emoldurados facilitando sua instalação em painéis fotovoltaicos ou não, para sua utilização como parte de uma construção (PINHO; GALDINO, 2014).

Os módulos são identificados pela sua potência elétrica de pico (W_p), a tensão de circuito aberto (V_{oc}), a corrente de curto circuito (I_{sc}). Porém, estes não nos dão a informação necessária sobre a potência real do módulo. Para isso, os módulos são ensaiados em

condições-padrões de ensaio, e são geradas as suas curvas características corrente-tensão (I-V) (PINHO; GALDINO, 2014), conforme é mostrado na figura 25.

Figura 25 - Gráfico com curvas I-V e P-V de um módulo fotovoltaico



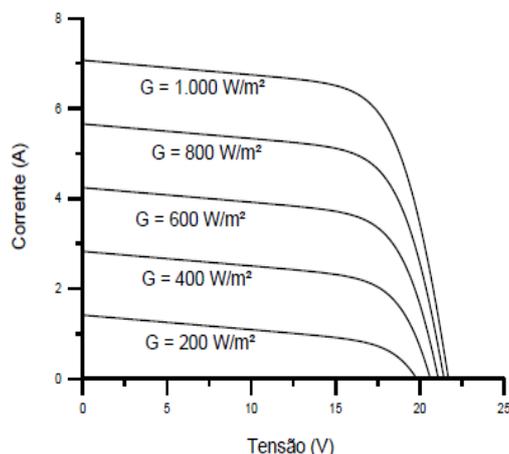
(fonte: PINHO; GALDINO, 2014)

Para cada ponto sobre a curva I-V, o produto corrente-tensão representa a potência gerada para aquela condição de operação, que está representada pela curva potência-tensão (P-V). O ponto onde a potência é máxima, é denominado como ponto de máxima potência (P_{mp}), corresponde a valores de tensão e corrente específicos, chamados de tensão e corrente de máxima potência (V_{mp} , I_{mp}).

A variação na irradiância solar e na temperatura dos módulos podem afetar seu rendimento. Os gráficos das figuras 26 e 27 mostram como ocorrem essas variações.

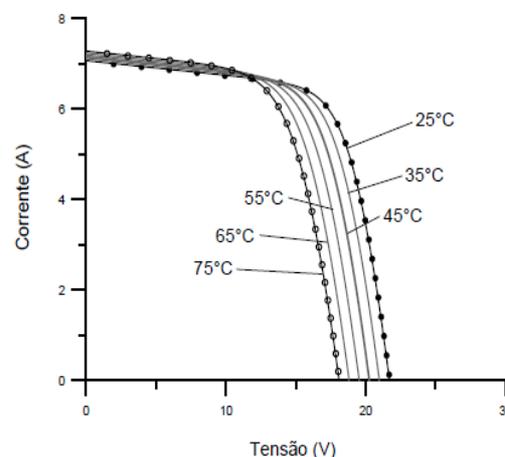
Percebe-se que a variação é bem mais sensível em relação a radiação solar do que com a variação de temperatura.

Figura 26 – Gráfico da variação da tensão e da corrente gerada de determinado módulo fotovoltaico, em função da variação da irradiância solar



(fonte: PINHO; GALDINO, 2014.)

Figura 27 – Gráfico da variação da tensão e da corrente gerada de determinado módulo fotovoltaico, em função da variação da temperatura



(fonte: PINHO; GALDINO, 2014)

4.3.2 Inversor

A corrente elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos é contínua (c-c), enquanto a da rede elétrica é corrente alternada (c-a). Os inversores são dispositivos eletrônicos que, a partir de uma fonte de energia em c-c, fornecem energia elétrica em c-a, com amplitude e frequência adequadas às cargas que serão alimentadas. Logo, tornam-se indispensáveis em sistemas conectados à rede. Eles devem atender às exigências das concessionárias, quanto à segurança e qualidade da energia injetada na rede (PINHO; GALDINO, 2014).

A função anti-ilhamento também é executada pelo inversor, e é caracterizada pela desconexão imediata do sistema fotovoltaico da rede elétrica de distribuição, sempre que esta estiver sem energia, devido à falha ou manutenção.

Outra função importante do inversor para os sistemas fotovoltaicos é o Seguidor do Ponto de Potência Máxima (SPPM). Como já foi mostrado, a variação da temperatura ou da radiação fará com que o módulo opere em tensões e correntes diferentes das de máxima potência. Então, o inversor mede continuamente as modificações na curva I-V, e atua de modo a manter o gerador fotovoltaico operando na tensão de máxima potência. Alguns inversores possuem mais de uma entrada, podendo se instalar dois arranjos fotovoltaicos eletricamente diferentes

ou com orientações diferentes (PINHO; GALDINO, 2014), ideal para fachadas de edifícios em diferentes orientações ou com telhados duas águas.

Os principais parâmetros na especificação de inversores para sistemas conectados a rede segundo (PINHO; GALDINO, 2014) são:

- a) forma de onda e distorção harmônica (distorção harmônica total inferior a 5%);
- b) eficiência na conversão de potência;
- c) potência nominal de saída (está associada à potência do painel fotovoltaico);
- d) tensão de entrada(atendida pela associação em série e paralelo dos módulos);
- e) tensão de saída (127V ou 220V);
- f) regulação da tensão;
- g) frequência da tensão de saída (no Brasil devem operar a 60 Hz);
- h) fator de potência(deve ser próximo de 1);
- i) grau de proteção.

4.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS AO ENVELOPE DE EDIFICAÇÕES

Como mostrado no Capítulo 3, o consumo das edificações, se for somado o setor residencial, comercial e público, correspondem a aproximadamente metade do total de energia consumido no País. Então, nada mais racional que as edificações contribuam para a o sistema energético brasileiro. Isso pode ser conseguido através da geração fotovoltaica integrada às edificações. Segundo Rüter (2004), analisando-se a integração da tecnologia fotovoltaica em edificações, do ponto de vista das instalações elétricas e da construção civil, precebe-se que já se possui todas as tecnologias e o conhecimento dos processos para se realizar esta integração com sucesso.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados em qualquer local, sobre o solo ou integrado a uma edificação, desde que receba irradiação solar em grande quantidade (SANTOS, 2013). Esses sistemas estão bem consolidados em diversos países, principalmente na Europa. As instalações em edificações, como pontua Rüter (2004 p. 9), tem como principais vantagens:

- a) utilização da área externa do próprio edifício;

- b) geração da energia próxima ao ponto de consumo, o que elimina perdas por transmissão e distribuição de energia.

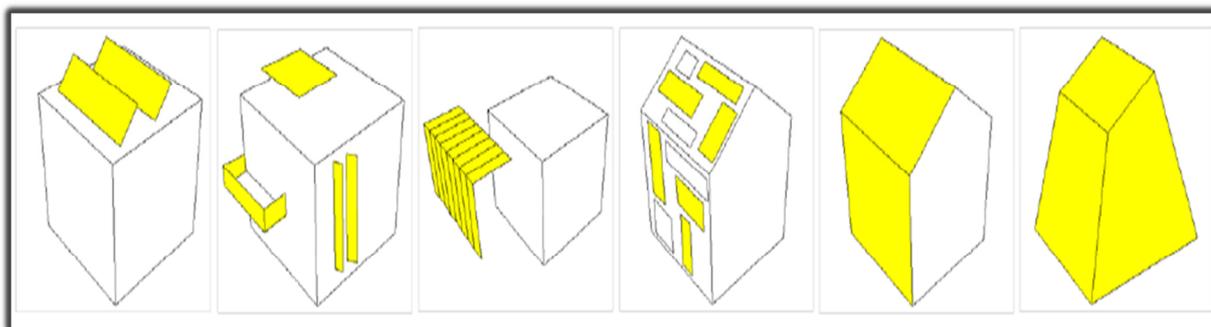
As edificações com integrações de sistemas fotovoltaicos podem ser classificadas quanto ao processo destas. As edificações que foram projetadas para receber os sistemas fotovoltaicos no seu entorno são denominadas BIPV (sigla em inglês para building integrated photovoltaics) e as denominadas BAPV (do inglês, building applied photovoltaic) são edificações que foram construídas e depois se adaptou um sistema fotovoltaico a elas (SANTOS, 2013). Este é o caso da maioria dos telhados fotovoltaicos e das fachadas ventiladas fotovoltaicas.

Rüther (2004, p. 44) ressalta que, comparando o custo de módulos fotovoltaicos e outros elementos de revestimento considerados de alto padrão, como vidros blindados e mármore ou granitos polidos, pode-se chegar a conclusão que os edifícios revestidos com a tecnologia fotovoltaica apresentam melhor rendimento econômico, devido à dupla função dos módulos fotovoltaicos, que atuam como elementos arquitetônicos e geradores de energia.

Pode-se, basicamente integrar os módulos fotovoltaicos em três regiões da edificação: na cobertura, nas fachadas e em elementos externos da edificação. Abaixo, estão listadas as maneiras que podem ser incorporadas a tecnologia fotovoltaica em edificações, e figura 28 representa esquematicamente cada uma dessas integrações:

- a) elemento técnico adicionado;
- b) elementos com dupla função;
- c) estruturas independentes;
- d) parte da composição de uma superfície;
- e) superfície completa de uma edificação;
- f) forma otimizada para energia solar.

Figura 28 – Possibilidades de integração fotovoltaica no envelope da edificação



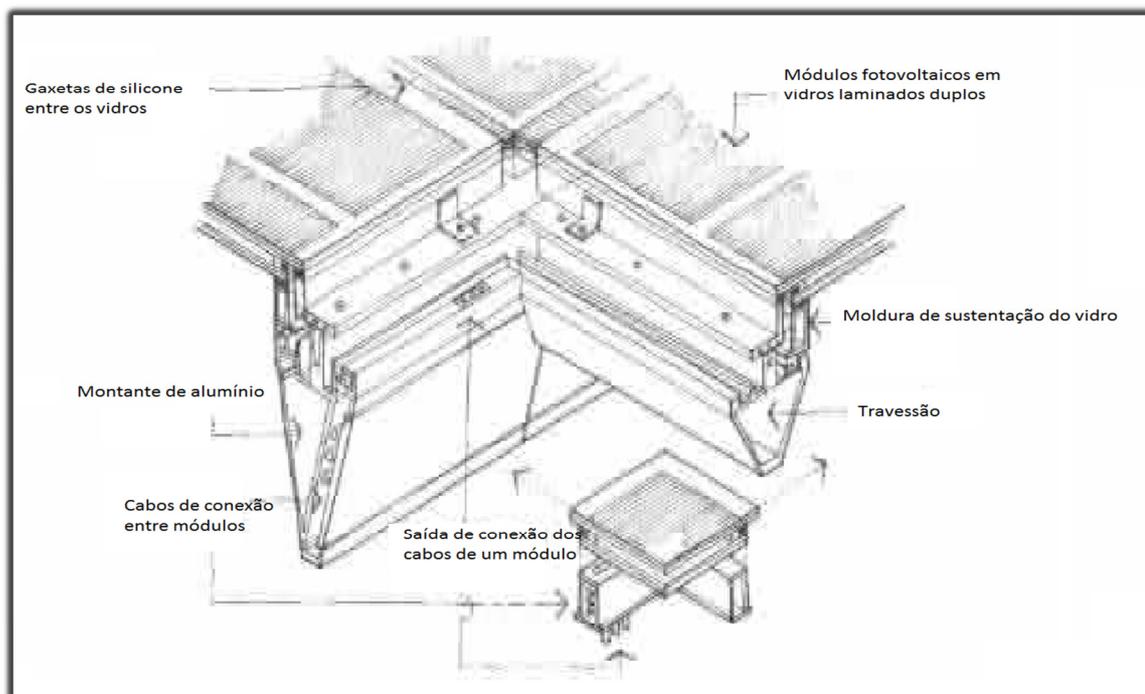
(fonte: FARKAS et alli, 2012)

4.4.1 Coberturas

A integração fotovoltaica em edificações iniciou-se primeiramente nos telhados das edificações. As primeiras integrações dos módulos foram, na verdade, uma sobreposição (CHIVELET; SOLLA, 2010), sendo classificada como BAPV. Construir sistemas fotovoltaicos adicionados é muito comum em telhados inclinados, especialmente no caso de integração em edifícios existentes. Utilizando esta solução, geralmente é preciso uma montagem de um sistema adicional para fixação dos módulos, e na maioria dos casos, o reforço da estrutura do telhado, devido às cargas adicionais (FARKAS et alli, 2012). Assim o próximo passo para a integração em coberturas é utilizar os módulos fotovoltaicos como único elemento de vedação (CHIVELET, SOLLA, 2010).

As claraboias e átrios também oferecem a possibilidade de integração de módulos fotovoltaicos, podendo-se substituir os painéis de vidros duplos das coberturas por módulos fotovoltaicos encapsulados em vidros duplos, como mostra a figura 29, também para que não se tenha perdas térmicas por condução. A manutenção e a limpeza devem ser feitos pela parte externa da cobertura; então é necessário já na fase de projeto prever um fácil acesso que permita a visita a todos módulos e caixas de conexão (CHIVELET; SOLLA, 2010).

Figura 29 – Esquema de uma cobertura envidraçada fotovoltaica



(fonte: CHIVELET; SOLLA, 2010)

4.4.2 Fachadas

Os módulos fotovoltaicos podem substituir a camada externa de uma fachada, como em uma fachada ventilada, ou pode substituir toda a fachada, como no caso de fachadas parede-cortina (FARKAS et alli, 2012).

4.4.2.1 Fachadas ventiladas

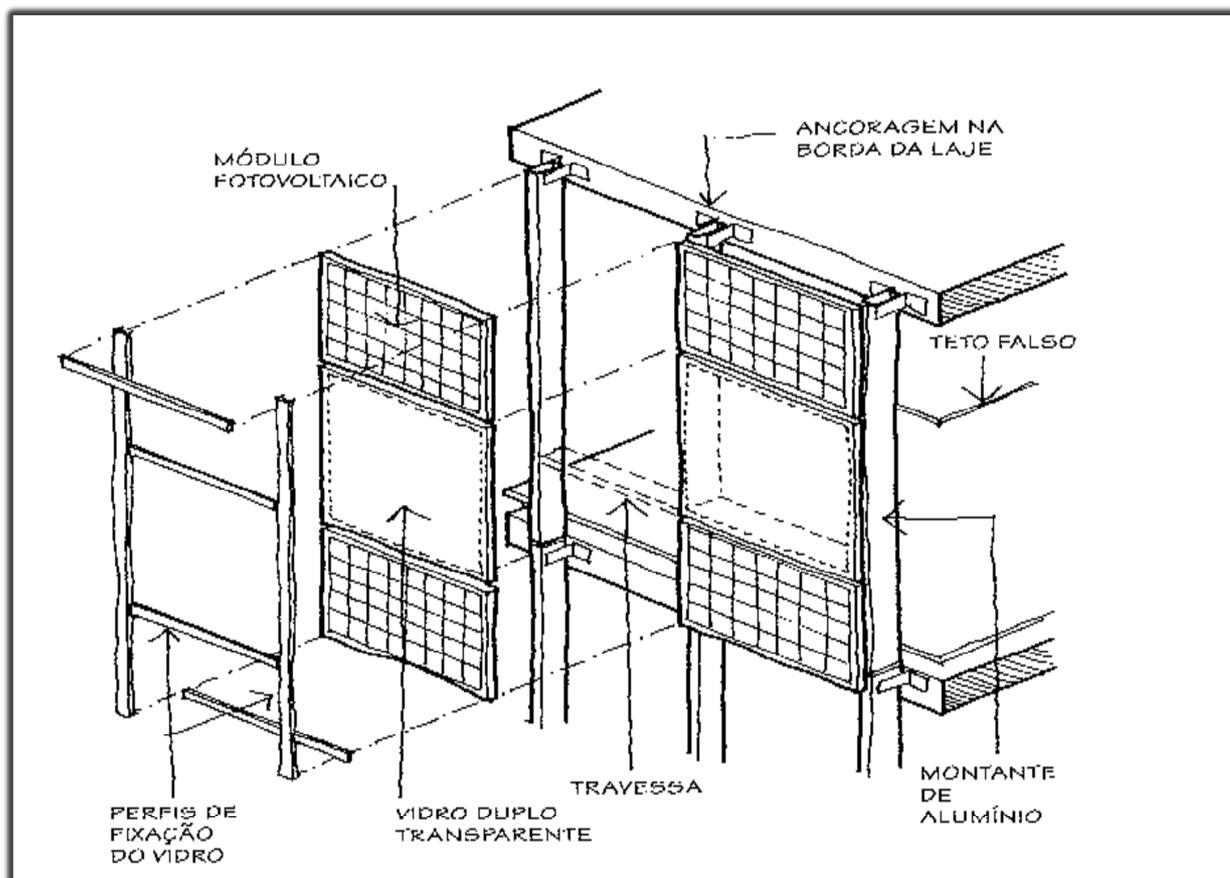
Nas fachadas ventiladas, os sistemas de fachada são formados por dois panos independentes, separados por uma câmara de ar. O pano interno geralmente é de concreto, ou de alvenaria de cerâmica e o externo, uma pele impermeável à água, que permite a passagem de ar. Sobre a pele interna são instaladas as ancoragens para fixação da pele externa. As fachadas ventiladas são uma ótima opção para integração da tecnologia fotovoltaica, devido à câmara de ar criada entre a pele externa e a estrutura da edificação mantendo a temperatura dos módulos adequada para seu melhor rendimento. No caso de grandes fachadas é válido o investimento em um sistema de gôndola para realizar limpezas periódicas e eventuais manutenções dos módulos (CHIVELET; SOLLA 2010).

4.4.2.2 Fachadas parede-cortina

As fachadas parede-cortina podem ser divididas em convencionais, (figura 30), que são as montadas na obra, com o sistema de montantes e travessas, e as moduladas que são pré-fabricadas (figura 31) e transportadas até o local de aplicação, onde são içadas e fixadas à estrutura da edificação.

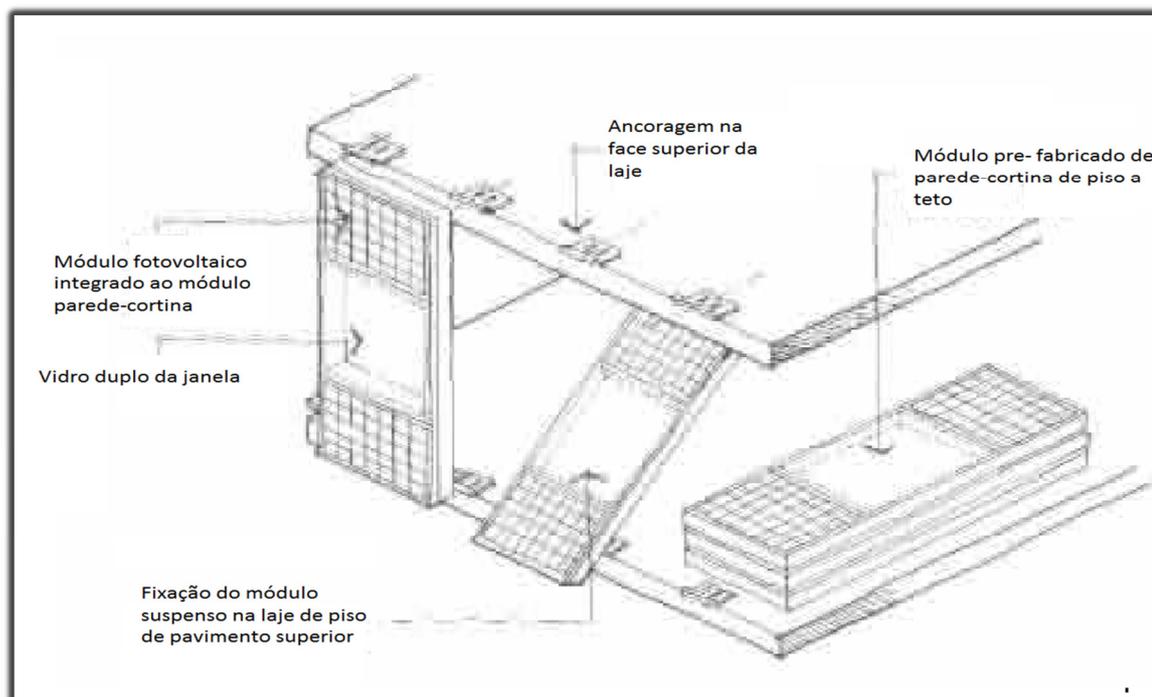
Embora não seja uma regra, a maioria das fachadas deste tipo utilizam painéis de vidros como elementos de vedação, formando as conhecidas peles de vidro. Segundo Chivelet e Solla (2010), estes sistemas começaram a receber grandes críticas a partir de 1973, após a primeira grande crise energética, devido a sua baixa eficiência energética, principalmente no verão, com grandes ganhos térmicos no interior da edificação. Assim, a integração de módulos fotovoltaicos pode ser uma maneira de mitigar este problema.

Figura 30 – Componente de um sistema parede-cortina convencional com módulos fotovoltaicos instalados nas regiões opacas da fachada



(fonte: CHIVELET; SOLLA, 2010)

Figura 31 – Componente de um sistema parede-cortina modulada com módulos fotovoltaicos instalados nas regiões opacas da fachada



(fonte: CHIVELET; SOLLA, 2010)

4.4.3 Elementos externos

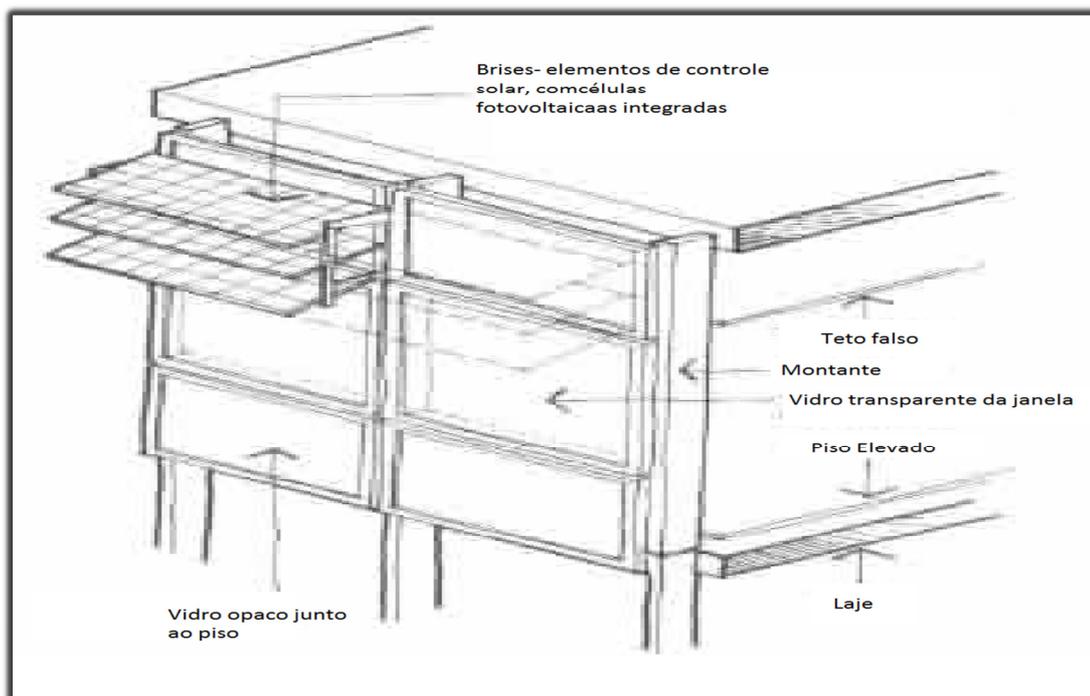
Desde que os painéis fotovoltaicos recebam radiação solar adequada para a produção significativa de energia elétrica, eles podem ser instalados em qualquer local da edificação. Entre os elementos externos das edificações onde se pode integrar a tecnologia fotovoltaica, destacam-se as proteções solares, os parapeitos e as marquises.

4.4.3.1 Proteções solares

Em países de clima predominantemente tropical, a utilização de proteções solares para edificações é necessária, para a atenuação do desconforto térmico e para a redução do consumo de energia em prédios climatizados (trabalho não publicado)². É óbvio que elementos que têm a função de proteger a edificação do Sol, como os brises, oferecem uma ótima alternativa para a integração de módulos fotovoltaicos, exercendo duas funções: controle solar e geração de energia (CHIVELET; SOLLA, 2010). Um exemplo desta integração pode ser vista na figura 32.

² Informação obtida na apostila da disciplina de Habitabilidade I, ministrada pelo prof. Miguel Aloyso Satler, no curso de Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, semestre 2014/1.

Figura 32 – Esquema típico de brises fotovoltaicos integrados a uma parede cortina



(fonte: CHIVELET; SOLLA, 2010)

4.4.3.2 Parapeitos e marquises

Estes elementos também são uma boa opção para a instalação dos módulos. Por ficarem na parte externa da edificação e receberem grande radiação solar, deve-se atentar para que as instalações elétricas fiquem protegidas, principalmente em parapeitos onde há circulação de pessoas próximo aos módulos.

4.5 EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Zomer (2010) salienta que existem diversas formas para se estimar a energia que pode ser gerada por um sistema fotovoltaico. Entre elas a equação 1, a seguir, se baseia na irradiação solar local, rendimento do sistema fotovoltaico e na potência instalada.

$$E = G \times r \times P_{cc} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

E = geração solar fotovoltaica (kWh/dia).

G= irradiação solar diária (kWh/m²/dia).

r = rendimento do sistema inversor e conexões. (0,8)

P_{cc} = potência do sistema em corrente contínua(KWp).

Segundo Zomer (2010) a potência total instalada pode ser obtida de duas formas, a primeira conforme a equação 2, abaixo:

$$P_{cc} = A \times \text{Eff} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

P_{cc}= potência instalada (kWp).

A= área disponível para integração dos módulos fotovoltaicos (m²).

Eff= densidade de potência(kWp/m²)

Esta maneira de se obter o potencial é limitada, pois assume que não há nenhum espaçamento entre os módulos e que todos estão localizados no mesmo plano. A segunda maneira de se obter o potencial que poderá ser instalado é através da área livre para integração, considerando a dimensão dos módulos, seu espaçamento e reservando os espaços necessários para manutenção. Então, com o auxílio do Autocad se obtém o número de módulos que podem ser instalados, calculando-se a potência total instalada através da equação 3, a seguir (ZOMER, 2010):

$$P_{cc} = n^{\circ} \times \text{Pot.Nom} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

P_{cc} = potência instalada (kWp)

n° = quantidade de módulos fotovoltaicos que cabem em determinada área

Pot.Nom = potência nominal do módulo fotovoltaico (kW)

Para o dimensionamento dos fios condutores utilizou-se a equação 4, obtida na NBR 5410 de 2004.

$$S = 100 \cdot (2 \cdot L \cdot P \cdot 0,0178) / (V^2 \cdot \Delta V) \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

S = área da seção transversal dos condutores (mm²)

L = comprimento do condutor (m)

P = potência (W)

V = tensão de operação (V)

ΔV = queda de tensão admissível (%)

Para se analisar a o retorno do investimento, foram calculados o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o tempo de retorno do investimento. De acordo com Montenegro (2013) para análise do retorno de investimento também é necessário definir a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que é uma taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou o máximo que uma pessoa se propõe a pagar quando faz um financiamento. Neste trabalho foi utilizada a renumeração próxima a da caderneta de poupança, de 6% ao ano.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{Fct}{(1 + TMA)^t}$$

Onde:

Fct = fluxos de caixa anual

TMA = Taxa Mínima de Atratividade

t = número de ordem do ano de operação do sistema

Sobre o valor da tarifa sem impostos homologada pela ANEEL, incidem o imposto estadual ICMS e as contribuições federais PIS e COFINS. Após a inclusão desses impostos sem tem a tarifa final de energia elétrica cobrada ao consumidor, definida pela seguinte equação:

$$PF = PH / (1 - PIS - COFINS - ICMS)$$

PF = preço final da tarifa (R\$/kWh)

PH = preço homologado (R\$/kWh)

PIS = Programa de Integração Social (%)

COFINS = Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (%)

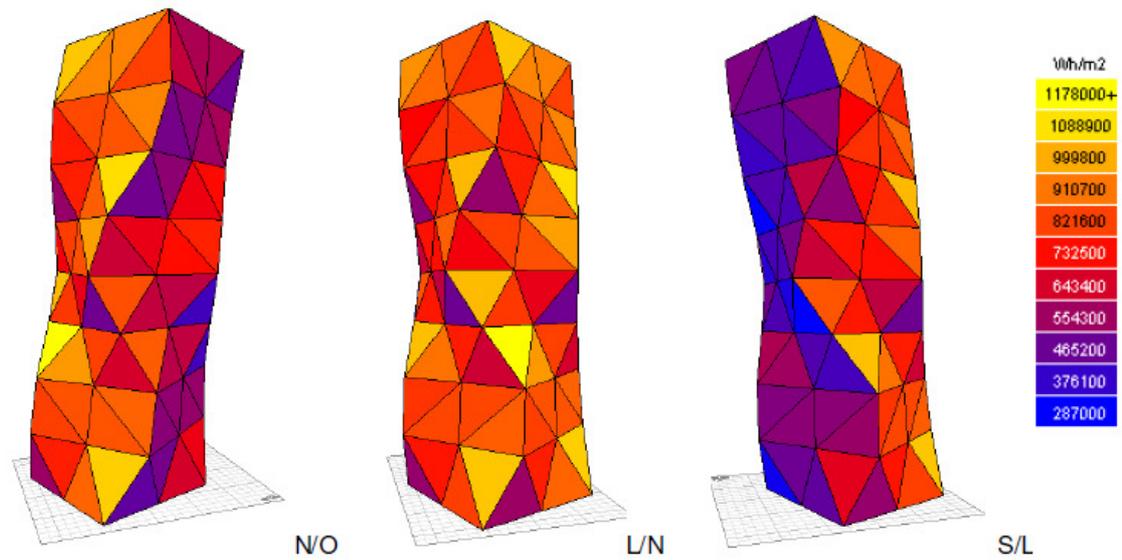
ICMS = Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (%)

5. SOFTWARES DE CARACTERIZAÇÃO E SIMULAÇÃO

O programa de computador que será utilizado para a caracterização arquitetônica da edificação será o Autocad da empresa Autodesk, muito conhecido no meio da engenharia, para se fazer desenhos técnicos das mais diversas intervenções necessárias para construção das obras. Em edificações, por exemplo, ele é utilizado para representação de projetos desde as fundações até o paisagismo. Este programa poderá ser usado, também, nas etapas de elaboração de projetos de integração dos módulos.

Para se realizar as simulações da disponibilidade de radiação solar será utilizado o programa Ecotect Analysis também da empresa Autodesk, o que permitirá exportar os dados do Autocad para sua plataforma. Este programa foi desenvolvido para se criar projetos de construções sustentáveis e oferece uma vasta gama de funcionalidades de análise e simulação energética para edificações e tem a capacidade de se integrar com outras ferramentas, que permitem visualizar e simular o desempenho de um edifício, dentro do contexto de seu ambiente. Pode-se destacar, entre suas principais funcionalidades: análise do consumo total de energia da edificação e as emissões de carbono; análise de aquecimento e refrigeração da edificação; estimar o uso de água dentro e fora do edifício; visualização da radiação solar incidente nas janelas e superfícies e visualização da iluminação e sombreamento, em qualquer ponto no modelo (AUTODESK, [2014]). Segundo Vannini (2011, p 58), o Ecotect permite que as visualizações das simulações e análises sejam feitas de uma forma rápida e intuitiva e que, com o comando <solar access analysis>, pode-se analisar a radiação solar acumulada de um superfície, permitindo a visualização da distribuição da radiação solar no edifício. Assim, ele se torna uma ótima ferramenta de apoio para se determinar a melhor localização e orientação para integrar os módulos fotovoltaicos à edificação. Um exemplo de simulação de disponibilidade de radiação solar pode ser visto na figura 33.

Figura 33 – Visualização da radiação solar em uma edificação com uso do software Ecotect



(fonte: VANNINI, 2011)

O programa Radiasol 2, desenvolvido pela LabSolar da UFRGS, também será utilizado nos cálculos de irradiação solar. No programa os cálculos são realizados de maneira que determinam o efeito da inclinação da superfície receptora e da anisotropia da radiação solar, em suas componentes direta e difusa, gerando gráficos e tabelas que podem ser exportados para o ambiente Windows.

6. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado, passo a passo, como foram realizados os estudos e cálculos para integração dos módulos fotovoltaicos na edificação.

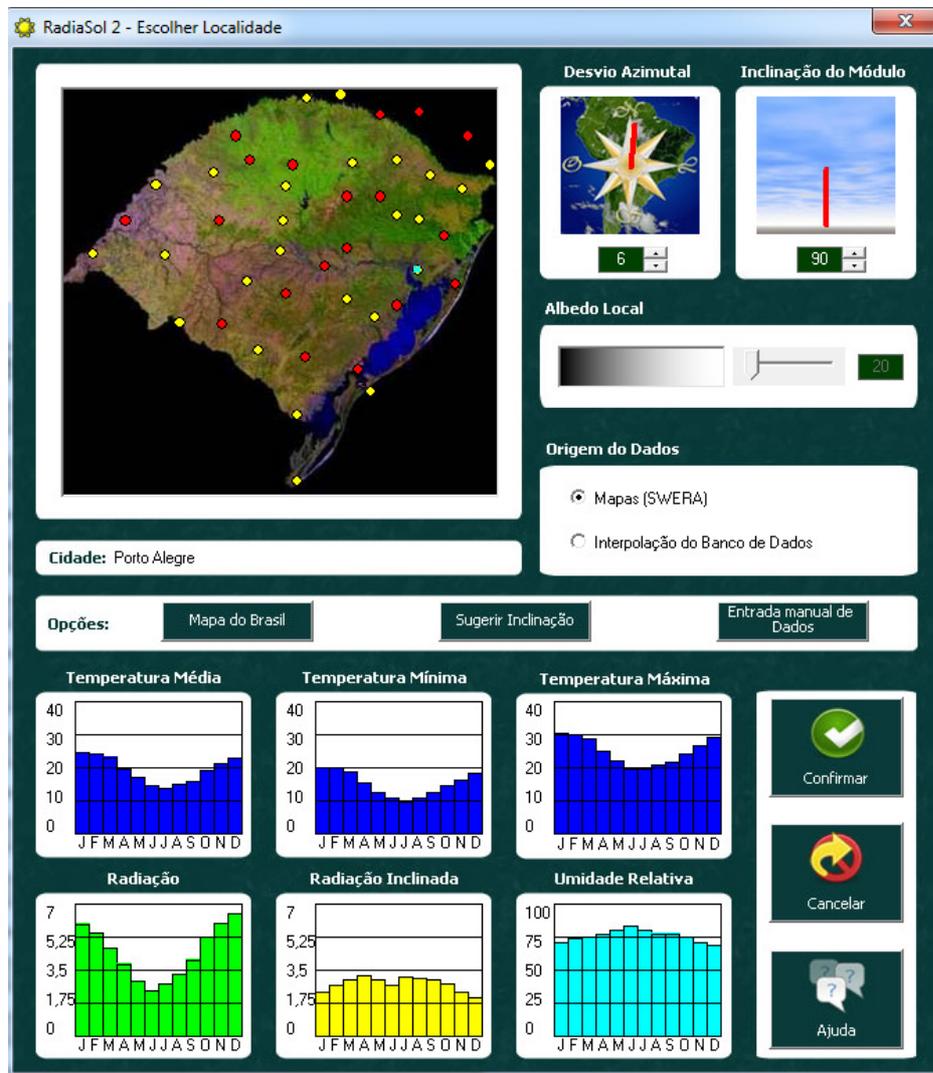
6.1 ANÁLISE DE SOMBREAMENTO DA EDIFICAÇÃO

O software Ecotect foi utilizado para realizar a análise de sombreamento das edificações. Foi feito o modelo, sendo ele geo-referenciado; então simulou-se o a trajetória do Sol ao longo de um ano.

6.2 ANÁLISE DE DISPONIBILIDADE DE IRRADIAÇÃO SOLAR

Inicialmente, iria se utilizar o Ecotect para estimativa da irradiação solar, já que neste mesmo software é possível realizar cálculos de integração de módulos fotovoltaicos de maneira muito rápida. Porém, no seu banco de dados não se encontram os dados climáticos de Porto Alegre. Então se recorreu ao programa Radiasol 2. Neste programa se entra com os dados sobre a localização da edificação, albedo do local, inclinação do módulo e o desvio azimutal da superfície onde ele será instalado e como resposta se tem a quantidade de irradiação solar global, direta, difusa e inclinada. Esta última será utilizada nos cálculos, para estimar a energia que poderá ser produzida.

Figura 34 – Interface de entrada de dados do programa Radiasol 2



(fonte: Radiasol 2, 2015)

6.3 ANÁLISE DAS ÁREAS DISPONÍVEIS PARA INTEGRAÇÃO

As áreas consideradas disponíveis para integração dos módulos fotovoltaicos foram as superfícies opacas da fachada de vidro e também o terraço da edificação.

Será calculado, para quatro diferentes modelos de módulos fotovoltaicos, a energia total produzida e o custo; então, se adotará o módulo que apresentar a maior relação energia produzida/ custo.

6.4 ACOPLAMENTO ENTRE O PAINEL FOTOVOLTAICO E INVERSOR

A escolha do inversor deve ser realizada de acordo com as características elétricas e a configuração do painel fotovoltaico para que toda a energia gerada pelo sistema seja enviada para a rede com a maior eficiência possível.

Os requisitos que devem ser verificados são os seguintes:

- a) a potência total do painel fotovoltaico deve ser menor que a potência de entrada máxima do inversor;
- b) a tensão de circuito aberto do painel deve ser menor que a tensão de entrada máxima do inversor;
- c) a tensão nominal do painel deve estar entre a faixa de tensões do seguidor de máxima potência do inversor;
- d) a corrente nominal do painel deve ser menor que a corrente máxima de entrada do inversor.

Com os painéis fotovoltaicos e inversores determinados, deve-se determinar as seções dos fios condutores, tanto do lado de corrente contínua, quanto no lado de corrente alternada. Isto é feito através da equação 4, a seguir.

6.5 CUSTOS DO SISTEMA

O custo do total do sistema é composto pelo custo inicial de instalação e pelo custo de operação e manutenção.

6.5.1 Custo inicial

Para se estimar o custo do sistema fotovoltaico integrado à edificação foram considerados dois orçamentos diferentes, um, para a fachada que foi efetivamente executada na edificação, apenas com vidros e estrutura metálica; e outro, com a estrutura metálica, vidros e os módulos fotovoltaicos e o telhado. A diferença entre os dois é que no segundo caso os vidros das regiões opacas seriam substituídos por módulos fotovoltaicos. O valor discriminado no

orçamento da fachada existente é o preço cobrado pelo serviço completo de instalação da fachada e o sistema construtivo utilizado foi do tipo parede-cortina, então optou-se por este mesmo sistema para o caso da fachada fotovoltaica. No caso desta edificação os vidros e os elementos da estrutura metálica chegavam até obra separados e eram montados os módulos da fachada no próprio canteiro, para depois serem içados e instalados com ancoragens nas lajes. Para este trabalho foi considerado que a empresa que realizava este serviço seria capaz de fazer o mesmo com módulos fotovoltaicos inseridos nas regiões opacas e que cobraria o mesmo valor. Considerou-se que a estrutura metálica não faria parte do orçamento, por ela ser necessária nos dois casos de fachada, porém ela poderia ser mais leve para o sistema fotovoltaico, visto que, o vidro tem uma densidade de 25 kg/m^2 , enquanto que os módulos têm $11,34 \text{ kg/m}^2$. O valor calculado como custo inicial do sistema, então, foi o custo dos elementos para compor o sistema fotovoltaico, ou seja, módulos, inversores, cabos e disjuntores.

6.5.1 Custos de manutenção

Os serviços de limpeza, manutenção ou reposição dos módulos são feitos pelo lado externo da edificação devido a pouca quantidade de janelas, para isso já está previsto no projeto original uma ancoragem para um sistema de gôndolas. Trata-se de um serviço simples e que não gera muitos custos. Portanto foi estimado o valor de 1% do investimento inicial para a manutenção anual do sistema.

6.6 ESTIMATIVA DA ENERGIA GERADA PELO SISTEMA E ECONOMIA GERADA

De acordo com a maioria dos fabricantes a potência dos módulos fotovoltaicos vai decaindo ao longo dos anos com uma taxa de 0,8%. Então, foi calculada a energia gerada ao longo de vinte e cinco anos, utilizando a equação 3. Para estimar a economia obtida pelo sistema foi considerado que toda energia gerada seria imediatamente consumida pela edificação, isso é razoável para uma edificação comercial onde o consumo acontece no mesmo horário da geração de energia solar. Logo, toda energia produzida será descontada em créditos na fatura de luz.

Para se estimar o quanto iria variar o valor cobrado pela tarifa de energia elétrica ao longo dos anos se recorreu ao histórico dessas variações.

Desde 2003 até 2015 teve momentos em que a tarifa cobrada para edificações comerciais decaiu até 15,2% em 2013 e altas de até 39,3% no último ano. Ao longo deste período a variação média foi um aumento de 6,4% ao ano.

Foi considerado 6 cenários diferentes para a tarifa cobrada pela CEEE, com aumento de 1%, 2%, 3%, 4% , 5% e 6% ao ano, respectivamente, e que o sistema iria começar a operar na data de referência 01.01.2015. Foi necessário definir uma data de referência pois os valores do PIS e COFINS variam mensalmente, assim é necessário ter uma data estabelecida para se ter uma tarifa elétrica inicial e depois aplicar a ela os seis cenários de variação.

Para que o sistema seja considerado viável, é necessário atender a três requisitos: o VPL ao final de 25 anos deve ser positivo; o valor da TIR deve ser superior ao do TMA e ainda um tempo de retorno inferior a 25 anos.

Tabela 1 - Variação dos valores cobrados pela CEEE pela tarifa de energia elétrica de edificações comerciais

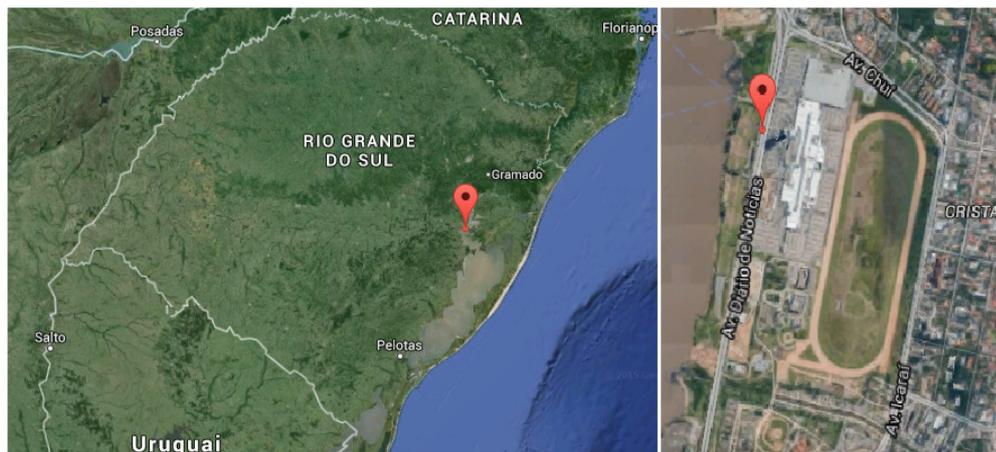
Ano	Tarifa sem impostos(R\$/MWh)	Variação	Tarifa com impostos(R\$/MWh)	Variação
2003	230,84	-	308,25	-
2004	249,83	8,2%	333	8,0%
2005	249,32	-0,2%	353,99	6,3%
2006	255,58	2,5%	345,57	-2,4%
2007	237,31	-7,1%	337,86	-2,2%
2008	255,44	7,6%	365,32	8,1%
2009	266,82	4,5%	378,02	3,5%
2010	286,25	7,3%	380,2	0,6%
2011	280,99	-1,8%	399,97	5,2%
2012	300,13	6,8%	426,61	6,7%
2013	261,29	-12,9%	361,85	-15,2%
2014	284,8	9,0%	392,27	8,4%
2015	385,51	35,4%	546,51	39,3%
	Variação (2003-2015)	5,6%	Variação 2003-2015	6,4%

(fonte: elaborado pelo autor, com base nos dados do site da ANEEL)

7. RESULTADOS

A edificação estudada se localiza na Avenida Diário de Notícias nº 500, na cidade de Porto Alegre-RS, no bairro Cristal. Fazem parte do mesmo empreendimento uma torre comercial e outra residencial. Foi necessária a análise de sombreamento para decidir em qual edificação seria integrado o sistema. Do ponto de vista da distribuidora está edificação é considerada como uma unidade consumidora no grupo A, pois a energia recebida é em tensão superior a 2,3 kV, considerado então de alta tensão, o grupo de unidades consumidoras que recebem energia abaixo de 2,3kV são denominadas de baixa tensão e pertencem ao grupo B.

Figura 35 – Localização da edificação escolhida para ser analisada



(fonte: GoogleEarth, 2015)

Figura 36 – Foto das duas edificações objeto do estudo.



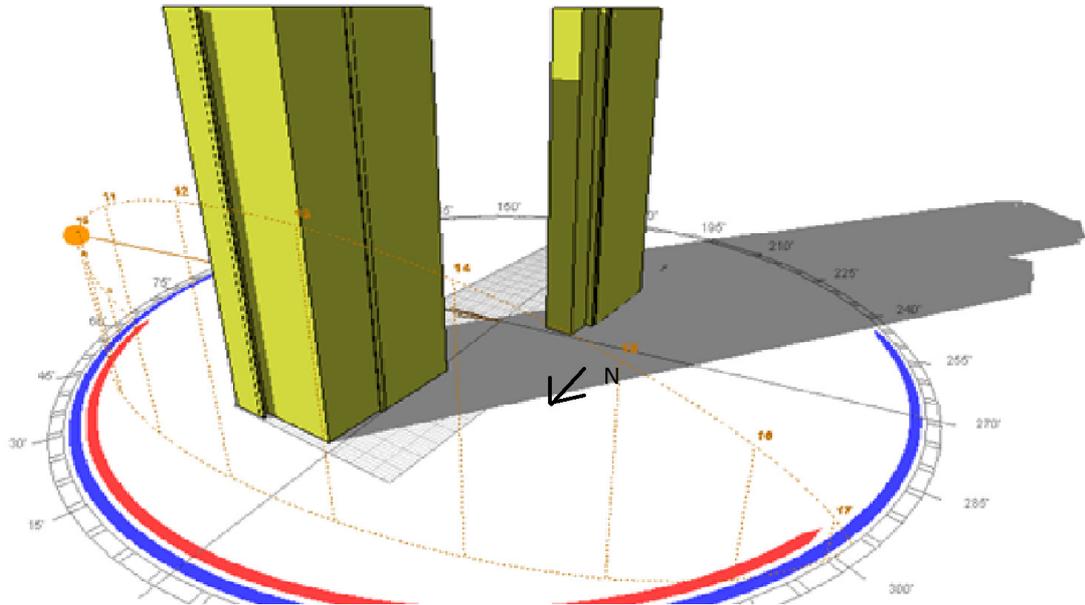
(fonte: GoogleEarth, 2015)

Os resultados obtidos estão apresentados nos parágrafos a seguir:

7.1 SOMBREAMENTO DA EDIFICAÇÃO

Os resultados obtidos na análise sombreamento foram úteis para não se posicionar módulos em regiões com sombra, então, foi necessário modificar as abas das fachadas Norte e Sul. Nessa etapa do estudo que se optou pela edificação comercial para se realizar o sistema fotovoltaico, por não ser sombreada pela outra edificação.

Figura 37 – Análise de sombreamento realizada no Ecotect para às 9:45 horas do dia 21 de junho



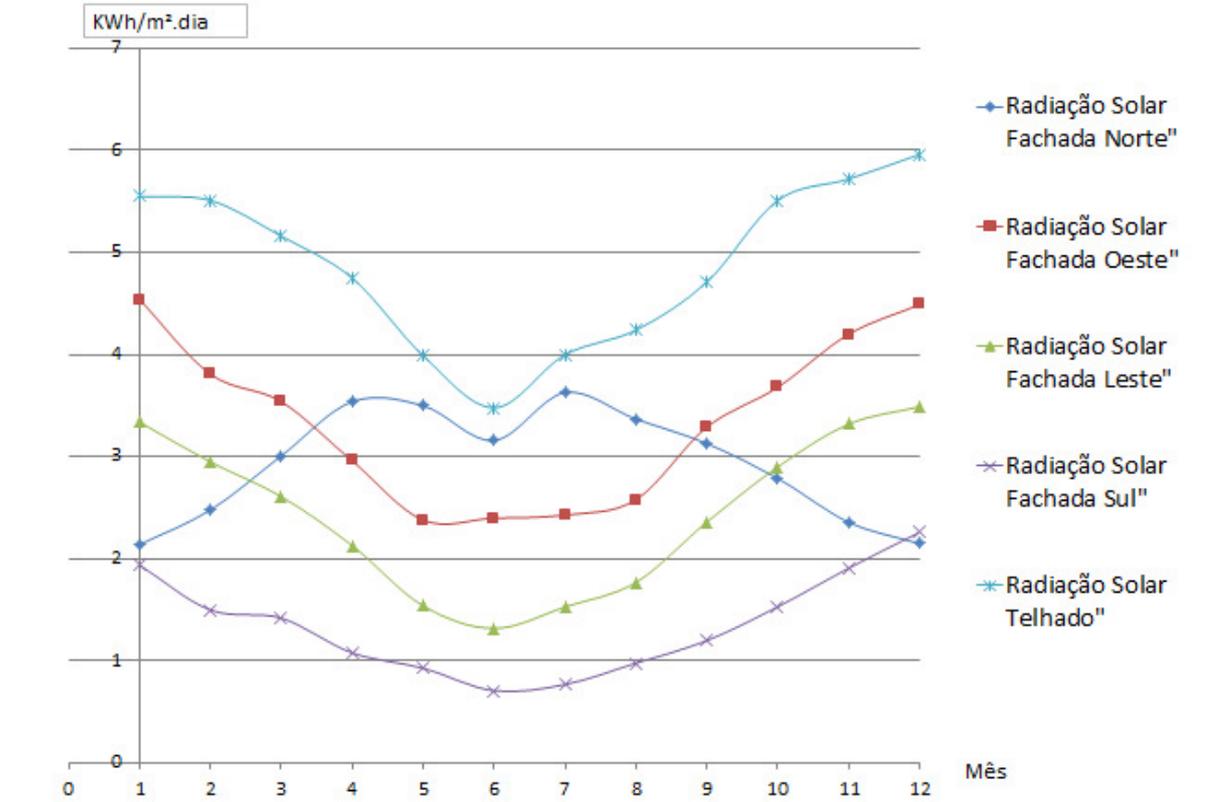
(fonte: elaborado pelo autor com o software Ecotect)

7.2 DISPONIBILIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR

Após ser definida a edificação que seria estudada para a incorporação do sistema fotovoltaico, simulou-se para as fachadas norte, sul, leste, oeste e para o telhado da edificação a disponibilidade de radiação solar recebida mensalmente, para superfícies com inclinação de 90°, para as fachadas, e de 30°, para o telhado. Os resultados obtidos foram os seguintes:

A região do telhado é a que recebe maior quantidade de irradiação solar durante o ano. Isso ocorre para uma simulação em que os módulos estejam inclinados a 30°. As fachadas norte e oeste também recebem uma boa quantidade de irradiação solar durante o ano, com um total de 35,26 KWh/m².dia e 40,3 KWh/m².dia, respectivamente. Já, as fachadas leste e oeste não recebem irradiação solar significativa para a geração de energia fotovoltaica. É importante salientar que a denominação das fachadas é simplificada, na realidade existe um desvio azimutal de 6 graus, por isso as fachadas leste e oeste têm diferentes disponibilidades de radiação solar durante o ano.

Figura 38– Gráfico da radiação solar para as quatro fachadas e telhado da edificação



(fonte: elaborado pelo autor com auxílio do Radisol 2)

7.3 ÁREAS DISPONÍVEIS PARA INTEGRAÇÃO

Após a análise de insolação, optou-se por se descartar as fachadas sul e leste, para a integração dos módulos fotovoltaicos. A fachada sul, por receber muito pouca insolação e a fachada leste, que apesar de não receber tão pouca irradiação, pela limitação em área disponível. Foi calculado, para quatro modelos diferentes de módulos fotovoltaicos, de diferentes fabricantes, o número de módulos que cada fachada poderia receber em função de sua área disponível. Considerando-se a área de elementos opacos na fachada que poderiam ser dispostos na fachada; o potencial energético e a energia total gerada em um ano; e o custo total do painel fotovoltaico. Os custos foram obtidos na internet e por contato por email com os fabricantes de módulos fotovoltaicos. Foram encontrados apenas módulos de silício cristalino no mercado.

Para se escolher o módulo entre os pré-selecionados multiplicou-se a quantidade de módulos que caberiam em determinada área pelo seu custo individual e se calculou a relação entre a energia gerada e o preço dos módulos.

Mesmo já descartada a possibilidade de integração dos módulos nas fachas leste e sul foi feita a análise do custo da energia gerada para todas as fachadas.

Tabela 2 – Planilha de cálculo de estimativa de geração de energia e o parâmetro Energia Produzida / Custo

Fabricante	Modelo	Nº Módulos	Potencia (KWp)	Energia(MWh/ano)	Fachada	Preço(R\$)	Custo	MWh/ano/Reais
Axitec	AC-255P/156-60S	492	125,47	107,65	Norte	950	R\$ 467.421,78	0,230
Canandian Solar	CS6P-260P	492	125,47	107,65		860	R\$ 423.139,71	0,254
Kyocera	KD250GX-LFB2	477	119,23	102,30		950	R\$ 453.087,34	0,226
Minasol	MS-150	787	118,04	101,27		1100	R\$ 865.598,54	0,117
Axitec	AC-255P/156-60S	422	107,58	76,60	Leste	950	R\$ 400.789,13	0,191
Canandian Solar	CS6P-260P	422	107,58	76,60		860	R\$ 362.819,64	0,211
Kyocera	KD140SX-UFBS	409	102,24	72,79		950	R\$ 388.498,12	0,187
Minasol	MS-150	675	101,21	72,06		1100	R\$ 742.204,38	0,097
Axitec	AC-255P/156-60S	641	163,46	160,29	Oeste	950	R\$ 608.964,41	0,263
Canandian Solar	CS6P-260P	641	163,46	160,29		860	R\$ 551.273,04	0,291
Kyocera	KD140SX-UFBS	621	155,34	152,33		950	R\$ 590.289,28	0,258
Minasol	MS-150	1025	153,78	150,80		1100	R\$ 1.127.715,33	0,134
Axitec	AC-255P/156-60S	508	129,57	51,17	Sul	950	R\$ 482.701,76	0,106
Canandian Solar	CS6P-260P	508	129,57	51,17		860	R\$ 436.972,12	0,117
Kyocera	KD140SX-UFBS	493	123,13	48,63		950	R\$ 467.898,73	0,104
Minasol	MS-150	813	121,89	48,14		1100	R\$ 893.894,89	0,054
Axitec	AC-255P/156-60S	72	18,28	26,05	Telhado	950	R\$ 68.087,38	0,383
Canandian Solar	CS6P-260P	72	18,28	26,05		860	R\$ 61.637,00	0,423
Kyocera	KD140SX-UFBS	69	17,37	24,76		950	R\$ 65.999,34	0,375
Minasol	MS-150	115	17,19	24,51		1100	R\$ 126.088,13	0,194

(fonte: elaborado pelo autor)

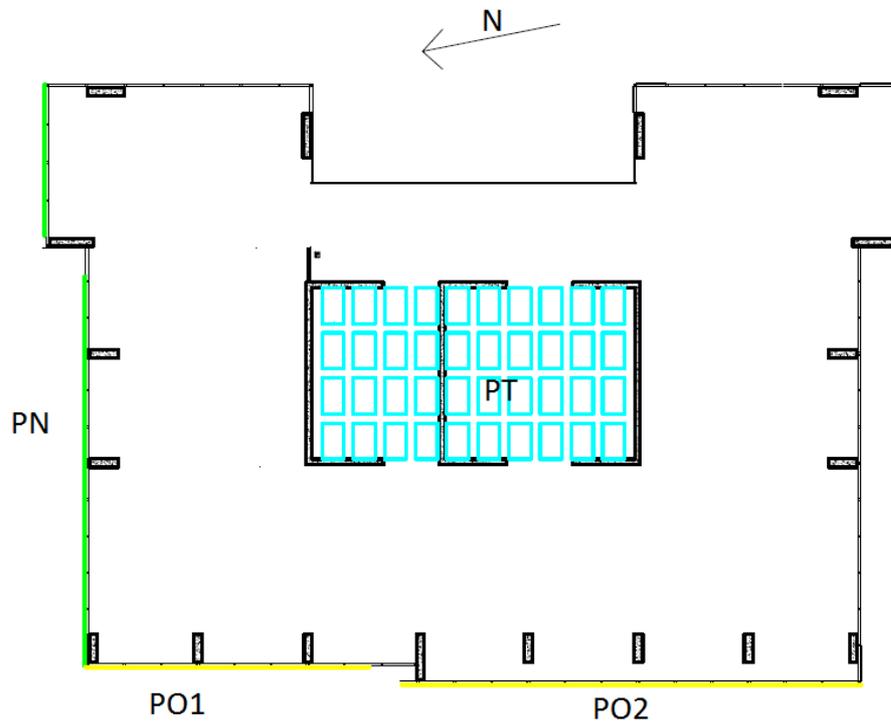
Após estes cálculos, adotou-se o módulo Canadian Solar CS6P-255P, por ser o que apresentou a maior relação Energia Produzida/ Custo. Esta relação representa quantos MWh/ano são produzidas a cada real investido nos diferentes tipos de módulos. Com isso foi possível desenhar os módulos no Autocad e encaixá-los nas fachadas, quantificando quantos módulos seria possível instalar em cada região. Por pavimento, chegou-se ao um total de 25 módulos na fachada norte; 34, na fachada oeste; e 40 no telhado, totalizando, em toda torre, 1279 módulos. A solução adotada para a integração dos módulos foi do tipo fachada parede-cortina modulada.

7.4 ACOPLAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO E INVERSOR

Com o modelo do módulo fotovoltaico já determinado, iniciou-se o processo para definir as configurações dos painéis fotovoltaicos, como: quantos módulos irão formar cada painel e como eles serão conectados entre si e ao inversor e, ainda que inversor seria especificado. Então, dividiu-se o sistema fotovoltaico em quatro grandes painéis. O primeiro faz parte da fachada norte (PN); já, na fachada oeste, dividiu-se em dois painéis (PO1 e PO2) e, ainda, foi previsto um painel para o telhado (PT).

O método utilizado para determinar o inversor foi de tentativa e erro, buscando sempre atender os requisitos de tensão máxima de circuito aberto, tensão de máxima potência, corrente máxima, e potência máxima, mudando a configuração dos módulos ou modelo do inversor.

Figura 39 – Planta baixa com a indicação da posição de cada circuito da edificação

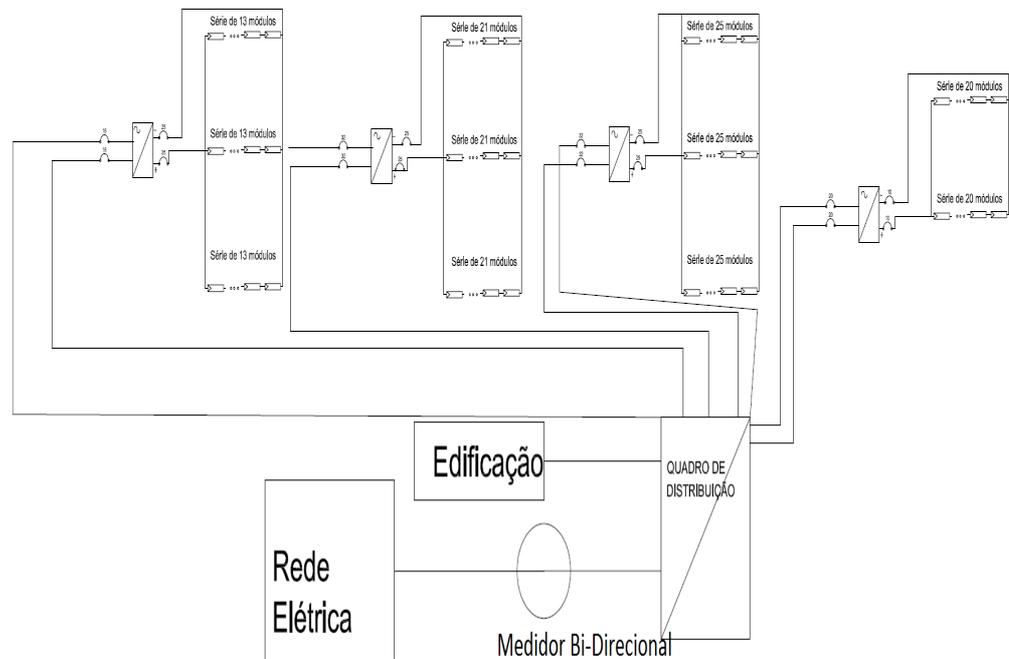


(fonte: elaborado pelo autor)

Os painéis das fachadas foram projetados de forma a aproveitar a característica do inversor de poder receber até três circuitos. Isto levou à opção de instalar um inversor a cada três andares.

Como a edificação tem 21, andares foram necessários 7 circuitos para cada fachada. Com o número de inversores e painéis determinados, fez-se o dimensionamento das seções dos condutores.

Figura 40 – Esquema elétrico básico dos painéis fotovoltaicos



(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 2- Quadro resumo dos circuitos do sistema fotovoltaico projetado para edificação

Número de Circuitos	PAINEL	Painel Fotovoltaico	Inversor	Verificação			Seção Dos Condutores (mm ²)			
				Requisitos	Painel	Inversor	Unidade	Comprimento Fios (CC)	Lado CC	Lado CA
7	PN	Formado por 3 séries de 25 módulos ligadas em paralelo	Marca: Fronyus Modelo: Symo 20. 0-3M	Voc max	945	1000	Volts	70	6	185
				Vmpp	760	420-800	Volts			
				Imax	25	27	Amperes			
				Potencia	19215	20000	Watts			
7	PO1	Formado por 3 séries de 13 módulos ligadas em paralelo	Marca:Fronyus Modelo: Symo 10. 0-3M	Voc max	491	1000	Volts	85	10	95
				Vmpp	395	270-800	Volts			
				Imax	25	27	Amperes			
				Potencia	9945	10000	Watts			
7	PO2	Formado por 3 séries de 21 módulos ligadas em paralelo	Marca: Fronyus Modelo: Symo 17. 5-3M	Voc max	794	1000	Volts	103	10	185
				Vmpp	638	320-800	Volts			
				Imax	25	27	Amperes			
				Potencia	16065	17500	Watts			
1	PT	Formado por 2 séries de 20 módulos ligadas em paralelo	Marca: Fronyus Modelo: Symo 12. 5-3M	Voc max	756	1000	Volts	20	4	120
				Vmpp	608	420-800	Volts			
				Imax	8	27	Amperes			
				Potencia	10200	12500	Watts			

(fonte: elaborado pelo autor)

7.5 CUSTOS DO SISTEMA

Os preços dos elementos do sistema fotovoltaico foram obtidos em sites de empresa fornecedoras de módulos e inversores e o preço dos vidros e estrutura metálica foram os praticados durante a execução da edificação. Os resultados são mostrados abaixo:

Tabela 3 – Orçamento o para a estrutura portante, vidros e sistema fotovoltaico.

Orçamento				
Serviço	Unidade	Quantidade	Preço	Valor
1. Elementos da fachada				
1.1 Estrutura metálica	m ²	4208,27	R\$ 540,00	R\$ 2.272.467,96
1.2 Vidros	m ²	2454,83	R\$ 148,00	R\$ 363.314,32
Total				R\$ 2.635.782,28
2. Elementos do sistema fotovoltaico				
2.1 Módulos	Unidade	1279	R\$ 860,00	R\$ 1.099.940,00
2.2 Inversor Fronius Modelo 10. 3-M	Unidade	7	R\$ 12.290,00	R\$ 86.030,00
2.3 Inversor Fronius Modelo 12. 5-M	Unidade	1	R\$ 18.890,00	R\$ 18.890,00
2.4 Inversor Fronius Modelo 17. 5-M	Unidade	7	R\$ 22.290,00	R\$ 156.030,00
2.5 Inversor Fronius Modelo 20. 3-M	Unidade	7	R\$ 25.290,00	R\$ 177.030,00
2.6 Disjuntores e fios	Vb	1	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
Total				R\$ 1.557.920,00
TOTAL GERAL				R\$ 4.193.702,28

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 4 – Orçamento para a estrutura portante e vidros.

Orçamento				
Serviço	Unidade	Quantidade	Preço	Valor
1. Elementos da fachada				
1.1 Estrutura metálica	m ²	4208,27	R\$ 540,00	R\$ 2.272.467,96
1.2 Vidros	m ²	4539,60	R\$ 148,00	R\$ 671.860,28
Total				R\$ 2.944.328,24

(fonte: adaptado do orçamento geral da obra)

O custo inicial do sistema é de R\$ 1.557.920,58 (um milhão quinhentos e cinquenta e sete mil novecentos e vinte reais e novecentos e vinte centavos). O custo de manutenção anual é 1%

do custo inicial gerando um valor de R\$ 389.480,00 (trezentos e oitenta e nove mil quatrocentos e oitenta reais).

7.6 ESTIMATIVAS DA ENERGIA GERADA PELO SISTEMA E ECONOMIA GERADA

No grupo A, subdividido em seis subgrupos, geralmente se enquadram indústrias e estabelecimentos comerciais, como a edificação analisada é alimentada com tensão de 15 kV ela pertence ao grupo A4. O valor da tarifa varia de acordo com o horário e a estação do ano, como para este trabalho não foi avaliada a geração de energia horária e mensal, e sim a anual geral, foi considerada o menor valor de tarifa sem impostos, que é de R\$ 0,30503, este foi o valor que entrou na equação de cálculo para a tarifa junto com os impostos. Para os diversos cenários de variação do preço da tarifa se obteve diferentes resultados para o tempo de retorno do investimento, como era de se esperar. Os cálculos levaram em consideração o investimento inicial e a manutenção como geradores de custo, e a energia economizada foi considerada como receita, já que deixa de consumir da rede de distribuição.

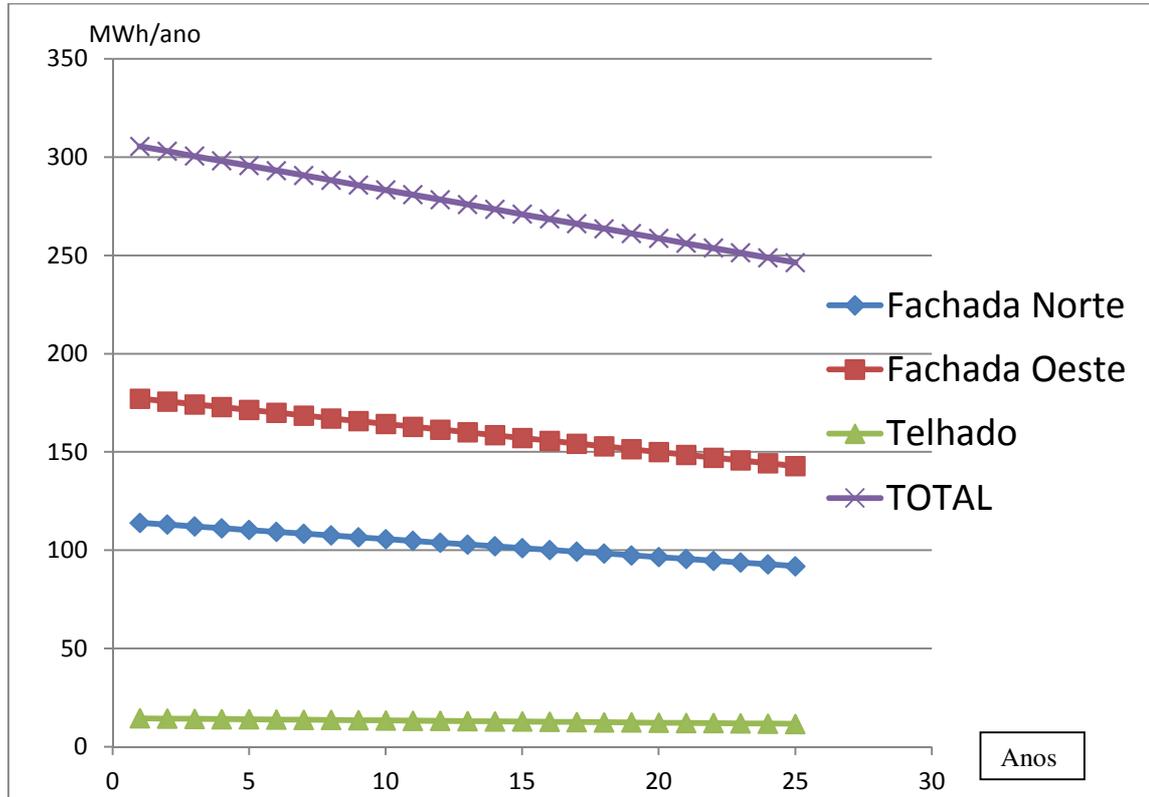
Observa-se que a geração de energia vai decaindo ao longo dos anos devido à característica de perda de potência dos módulos fotovoltaicos. A fachada oeste é a que mais produz energia por receber maior quantidade de radiação solar durante o ano e por ter a maior área. A região do telhado apesar de ser que tem maior disponibilidade de radiação solar é a que menos produz energia, por ter uma área muito pequena de módulos instalados.

Tabela 5– Tabela de tarifas de energia elétrica alta tensão em R\$/KWh

			A1 (230 kV)	A2 (138 kV)	A3 (69 kV)	A4 (13,8/25 kV)	A5 (220/217 V)
Modalidade Tarifária Horária Azul	Demanda Ponta	R\$/kW	2,38	5,32	7,24	22,02	28,59
	Demanda Fora Ponta	R\$/kW	2,42	4,17	4,05	9,13	15,12
	Energia Ponta	R\$/kWh	0,43871	0,44403	0,44280	0,45243	0,48106
	Energia Fora Ponta	R\$/kWh	0,29131	0,29663	0,29540	0,30503	0,33366
			A4 (13,8/25 kV)	A5 (220/217 V)			
Modalidade Tarifária Horária Verde	Demanda	R\$/kW	9,13	15,12			
	Energia Ponta	R\$/kWh	0,991020	1,18015			
	Energia Fora Ponta	R\$/kWh	0,30503	0,33366			
			A4 (13,8/25 kV)	A5 (220/217 V)			
Mod. Convencional Binômica	Demanda	R\$/kW	24,98	35,71			
	Energia	R\$/kWh	0,31731	0,34594			

(fonte: COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015)

Figura 41 – Gráfico da estimativa da energia gerada pelas fachadas norte e oeste e pelo telhado ao longo de 25 anos



(fonte: elaborado pelo autor)

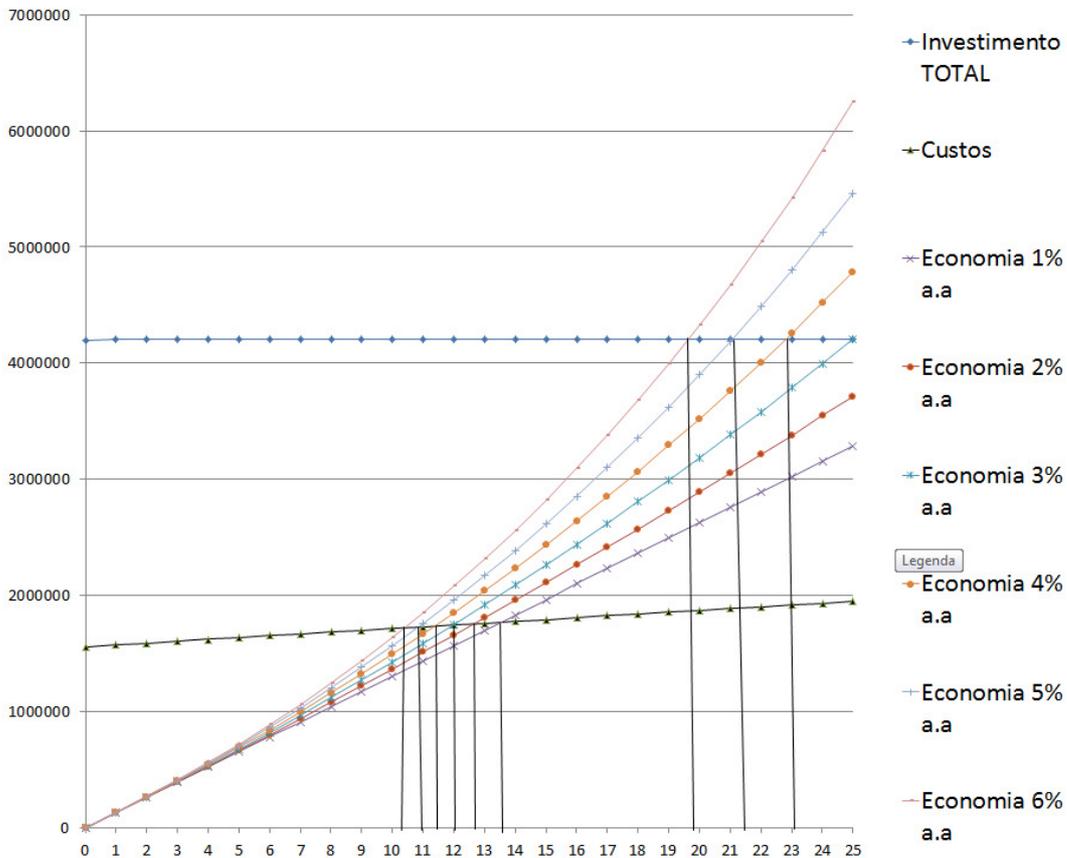
Os estudos de viabilidade econômica se apresentaram positivos, com a VPL positiva para todos os cenários e TIR acima da TMA, se considerado apenas o custo do sistema fotovoltaico, para todo o sistema não apresenta valores positivos, mas também não apresentaria para uma fachada convencional só de vidros, pois a mesma não gera nenhuma receita.

Tabela 6 – TIR e VPL do sistema para os diferentes cenários de crescimento da tarifa de energia elétrica.

Cenário	TIR	VPL
1	8%	R\$ 299.578,09
2	9%	R\$ 452.309,61
3	10%	R\$ 626.905,99
4	12%	R\$ 944.969,03
5	12%	R\$ 1.056.582,86
6	12%	R\$ 1.320.732,17

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 42 - Curva do custo e da economia gerada acumulada pelo sistema ao longo de 25 anos



(fonte: elaborado pelo autor)

Observa-se neste gráfico os diferentes cenários de aumento da tarifa de energia elétrica e o quanto o sistema economizaria para cada um destes cenários. Para uma variação de um 1% ao ano o sistema é capaz de se pagar em aproximadamente 13 anos e meio. Com a tarifa subindo 3% ao ano, ao longo de 25 anos é possível pagar todo o sistema da fachada, inclusive a estrutura portante. Já com um crescimento da tarifa igual a 6% ao ano o sistema fotovoltaico se pagaria em aproximadamente 10 anos e toda a fachada em 20 anos.

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a análise solar e de custo do sistema pode-se apontar as principais conclusões chegadas e também são feitas sugestões para trabalhos futuros.

8.1 CONCLUSÕES

Apesar de o uso de sistemas fotovoltaicos integrados à edificações ainda esteja em fase inicial no Brasil, este estudo representa um grande incentivo para a continuidade de pesquisas e desenvolvimento de novas aplicações.

Foi dimensionado um sistema fotovoltaico integrado à edificação, para as fachadas norte e oeste e também para uma região do telhado, totalizando 345 kW de potência. Os resultados apontaram uma energia total produzida por este sistema, ao longo de 25 anos, de 7501,60 MWh, que corresponde em uma economia nas contas de energia elétrica entre R\$ 3.288.378,94 (três milhões, duzentos e oitenta e oito mil trezentos e setenta e oito reais e noventa e quatro centavos) e R\$ 6.249.776,12 (seis milhões duzentos e quarenta e nove mil setecentos e setenta e seis reais e doze centavos) dependendo de como a tarifa irá variar ao longo dos próximos anos.

O custo total estimado para o projeto de instalação de sistemas fotovoltaicos foi de R\$ R\$ 4.193.702,28 (quatro milhões, cento noventa e três mil, setecentos e dois reais e vinte e oito centavos). À primeira vista, parece que o objetivo almejado do trabalho não foi atingido, pois a economia gerada não superou o custo de implementação. No entanto, percebe-se que a estrutura metálica e o preço dos vidros são os mesmos, para as duas opções de fachada (com e sem o sistema fotovoltaico). Então, se considerarmos o custo do sistema fotovoltaico composto apenas pelos módulos, cabos e inversores chegamos a conclusão que o custo do sistema foi de R\$ 1.557.920,00 (um milhão quinhentos e cinquenta e sete mil novecentos e vinte reais). Diante desses resultados verifica-se que o sistema poderia ser pago entre 13,5 e 10 anos, com a economia de energia alcançada.

O estudo de viabilidade econômica se mostrou positivo com a TIR variando entre 8% e 12%, o que mostra que é vantajoso investir em sistemas fotovoltaicos integrados a edificações.

8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros recomenda-se que seja levantado o consumo da edificação e então estimar quanto da energia demanda o sistema fotovoltaico pode suprir. Junto com esta análise é interessante estimar a energia gerada horária, desta forma se pode reduzir a demanda total da edificação e diminuir ainda mais a conta da energia elétrica, visto que a conta de energia elétrica leva em conta a demanda total da edificação. Sistemas fotovoltaicos podem diminuir esta demanda, pois muitas vezes o pico de consumo se dá nas horas em que se tem radiação solar máxima, como nos dias muito quentes em que são ligados os sistemas de ar-condicionado. Ainda com esta análise mais detalhada pode-se estimar com mais precisão o quanto seria economizado por um sistema como este, pois como mostrado, a tarifa de energia elétrica varia dependendo da hora e da estação do ano.

Percebeu-se que o telhado era a melhor região para instalação de um sistema fotovoltaico devido a alta disponibilidade de irradiação solar, então seria interessante um estudo semelhante ao feito neste trabalho para um condomínio de casas, que possuem grandes áreas de telhado.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição. **Audiência Pública 42/2011: redução de barreiras para geração distribuída de pequeno porte, conectadas na rede de distribuição, e para fonte solar, Brasília, 2011.** Apresentação em Power Point. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/042/apresentacao/aneel_apresentacao.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2014.
- AMÉRICA DO SOL. Atlas brasileiro de energia solar. [S. l., 2014] Disponível em: <<http://www.americadosol.org/atlas-brasileiro-de-energia-solar>>. Acesso em: 15 dez. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira.** São Paulo: 2012. Disponível em: <<http://abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr_5410.pdf>. Acesso em 15 jun. 2015
- AUTODESK. Sustainable Building Design Software. [S. l.; 2014] Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>>. Acesso em: 15 dez. 2014.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2014: Ano base 2013.** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2014.
- CARPENTER, M.. Mercado de energia solar teve bons resultados em 2014. **Jornal Brasileiro de Energia Solar.** Ponta Grossa, ano 1, n. 2, p. 15-16, nov./dez. 2014. Disponível em: <http://issuu.com/jornalenergiasolar/docs/jbes_edi____o_02_low>. Acesso em: 15 dez. 2014
- CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F. **Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura.** Tradução de SALVATERRA, A. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Instrução Técnica IT- 81.081.** Acesso de microgeração e minigeração com fontes renováveis e cogeração qualificada ao sistema de distribuição. Porto Alegre. 2014. Disponível em:<<http://www.ceee.com.br/PPortal/CEEE/Archives/Download/Padrao%20Tecnico/IT-81.081%20Acesso%20de%20microgera%C3%A7%C3%A3o%20e%20minigera%C3%A7%C3%A3o%20com%20fontes%20renovaveis%20e%20cogera%C3%A7%C3%A3o%20qualificada%20ao%20sistema%20de%20distribui%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 09 jul 2015.

COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Tarifas e custo de serviços. Porto Alegre. 2015 Disponível em: <<http://www.ceeel.com.br/portal/ceeel/archives/Tabela%20Grupo%20B%20marco%202015.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2015

COSMOS: a spacetime odyssey. ep. 12. The World Set Free. Direção: Brannon Braga, Bill Pope e Ann Druyan. Produção: Livia Hanich e Steven Holtzman. Apresentador: Neil de Grasse Tyson. Los Angeles: Fuzzy Door Productions, 2014.

DIAS, S. B. **Incorporação de sistemas fotovoltaicos em envoltórias de edificações: tecnologia e arquitetura.** 2014. 144 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-01072014-112103/pt-br.php>> Acesso em: 15 dez. 2014.

ENERGIA solar: potencial. **Fator CREA-DF**, Brasília, ano I, n. 1, p. 14-15, 2013. Disponível em: <<http://www.creadf.org.br/index.php/2011-08-19-13-59-20/publicacoes/book/5-revista-fator-crea-df-01-2013/3-fator-crea-df>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. **Global market outlook for photovoltaics 2014-2018.** Brussels: 2014. Disponível em: <<http://www.epia.org/news/publications/global-market-outlook-for-photovoltaics-2014-2018>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

FARKAS, K.; FRONTINI, F.; MATURI, L.; ROECKER, C.; SCOGNAMIGLIA, A.; ZANETTI, I. Part b: photovoltaic technologies. In: PROBST, M; ROECKER, C (Ed). **Solar energy systems in architecture: integration criteria and guidelines.** Task 41 Solar energy and architecture. [s.l] International Energy Agency, 2012. p. 83-156. Disponível em: <<http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March2013.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2014

GALDINO, M. A. Análise de custos históricos de sistemas fotovoltaicos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 4.; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DA INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY, 5., 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IEE-USP; INCT-VEREEA, 2012. Não paginado. Disponível em:<http://www.acquaviva.com.br/CD_CBENS/trabalhos/T267.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2014.

GOOGLE EARTH. MAPLINK/TELE ATLAS IMAGE. DIGITALGLOBE 2015

HECKTHEUER, L. A. **Análise de associações em módulos fotovoltaicos.** 2001. 138 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/2125>>. Acesso em: 15 dez. 2014

KEPLER, S. O; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica** 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004. v. 1. 760 p. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>>. Acesso em: 16 dez. 2014.

LINHAS: ligando os pontos das energias do Brasil. Ep. 1. A luz que vem das águas. Direção: Eliza Capai. Produção: Marina Yamoka. Fotografia: Carolina Quintanilha. São Paulo:

Greenpeace, 2014. Disponível em: <<http://linhas.miniserie.org.br>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

MONTENEGRO, A. A. **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil**. 2013. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em:<<https://www.dropbox.com/s/vdaee4psr79buny/Montenegro2013.pdf>>. Acesso em: 09 jun 2015.

PINHO, J.T; GALDINO, M. A (Org). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014. Disponível em: <http://www.creseb.cepel.br/publicações/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2014.

RADIASOL 2. Software para geração de dados horários de radiação solar. Porto Alegre, 2015. Disponível em<<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. Acesso em 15 jun. 2015

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: Labsolar, 2004. Disponível em: <<http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

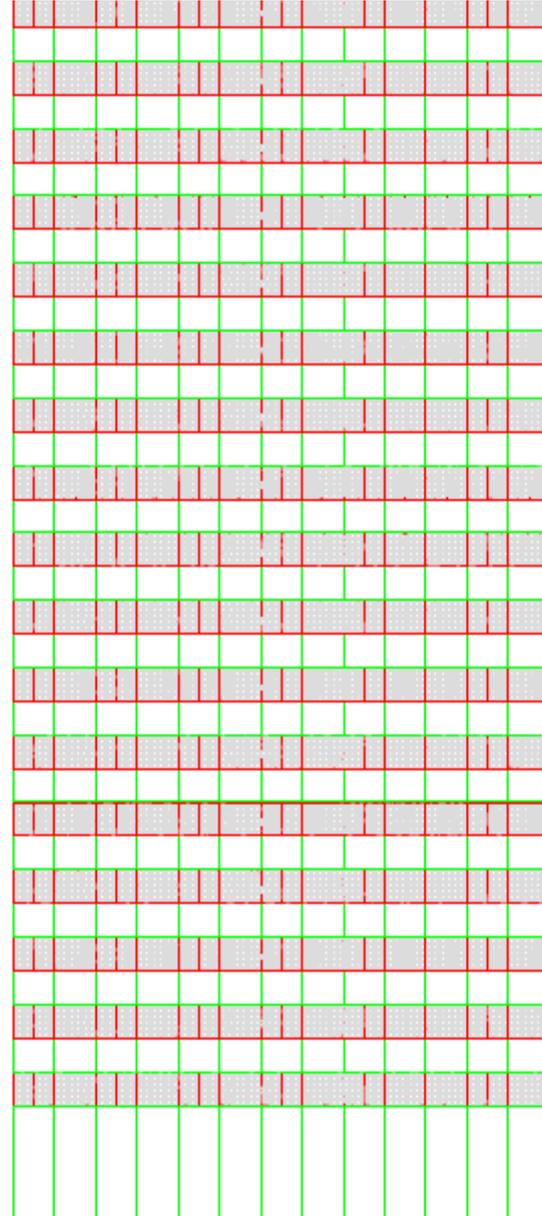
RÜTHER, R; SALAMONI. I. O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações. **Fórum Patrimônio: mudanças climáticas e o impacto nas cidades**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 84-94, 2011. Disponível em: <http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/view/16>. Acesso em: 15 dez. 2014.

SANTOS, I. P dos. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura**. 2013. 278 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_IsisPortolanDosSantos.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2014.

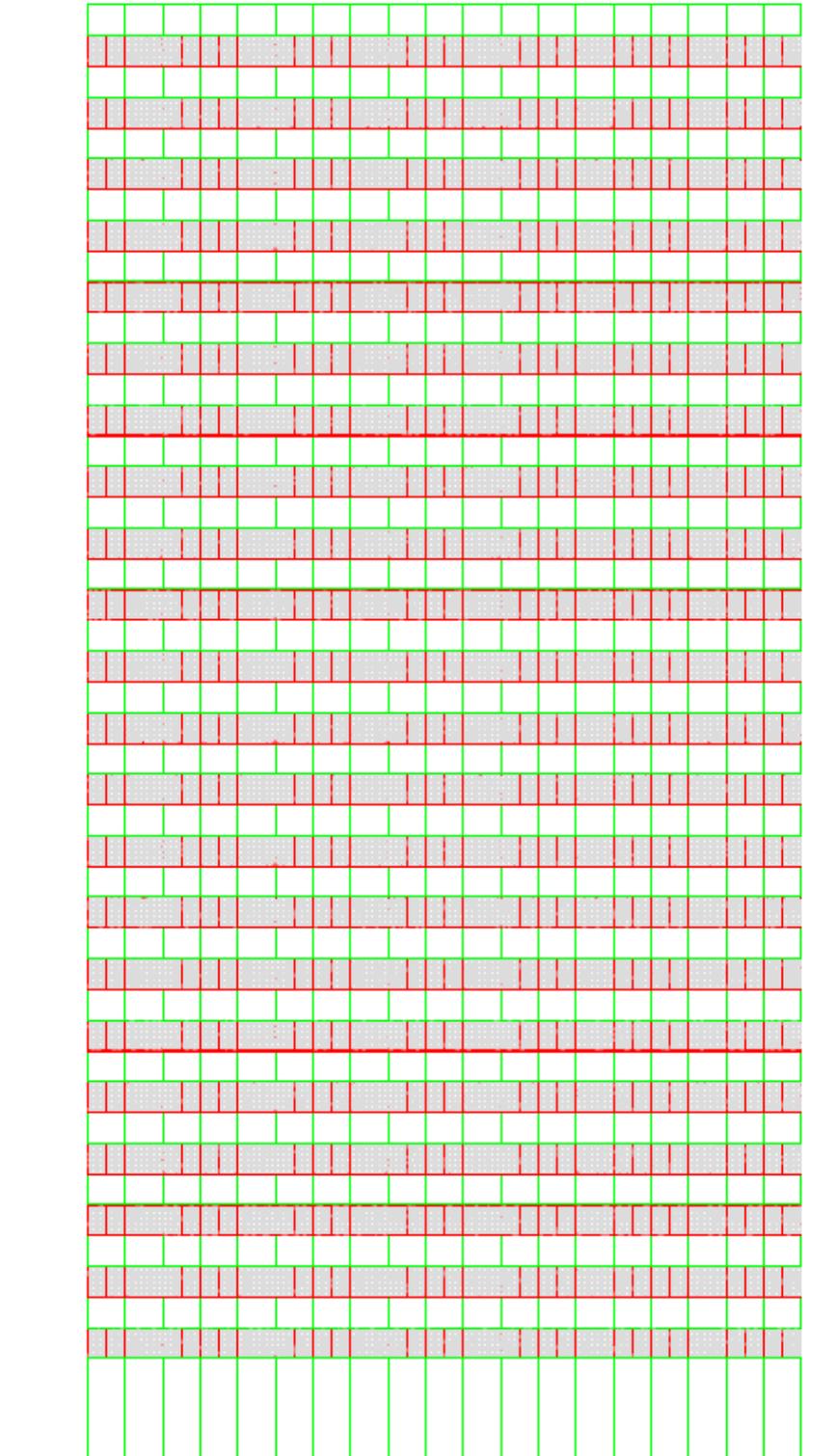
VANNINI, V. C. **Otimização da forma para captação da radiação solar sobre superfícies de edifícios: um exercício de integração entre os programas Rhinoceros e Ecotect**. 2011. 249 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/33454>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

VIANA, T. **Energia Solar Fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Centro Federal de Educação Celso Suckow Da Fonseca, 2014. Disponível em: <http://noticias.cefet-rj.br/wp-content/uploads/2014/03/Energia-Solar-Fotovoltaica__Trajano-Viana__Parte_1.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2014.

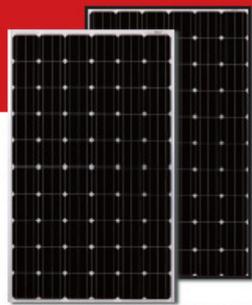
ZOMER, C. D. **Megawatt Solar:** geração solar fotovoltaica integrada a uma edificação inserida em meio urbano e conectada à rede elétrica pública-estudo de caso: edifício sede da Eletrosul, Florianópolis – Santa Catarina. 2010. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93727>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

A**E**

ANEXO B – ELEVAÇÃO FACHADA OESTE



ANEXO C – CATÁLOGO MÓDULO FOTOVOLTAICO ESCOLHIDO



CS6P-255 | 260M

*Black frame product can be provided upon request.

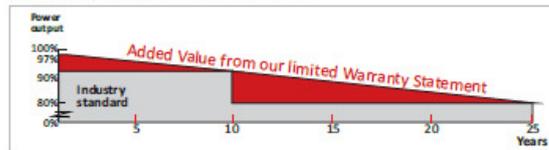
PRODUCT | KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency up to 16.16%
-  High performance at low irradiance above 96.5%
-  Positive power tolerance up to 5w
-  High PTC rating up to 91.31%
-  Anti-glare module surface available
-  IP67 junction box long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400pa
-  Salt mist, ammonia and blown sand resistance, for seaside, farm and desert environment

THE BEST IN CLASS

Canadian Solar's modules are the best in class in terms of power output and long term reliability. Our meticulous product design and stringent quality control ensure our modules deliver an exceptionally high PV energy yield in live PV system as well as in PVsyst's system simulation. Our accredited in-house PV testing facilities guarantee all module component materials meet the highest quality standards possible.

PRODUCT | WARRANTY & INSURANCE



25 Year Industry leading linear power output warranty
10 Year Product warranty on materials and workmanship



Canadian Solar provides 100% non-cancellable, immediate warranty insurance

PRODUCT & MANAGEMENT SYSTEM | CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / MCS / CE / CECAU / CQC
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / PSEC (US Florida)
UL 1703: CSA | IEC 61701 ED2: VDE | IEC 62716: TUV | IEC60068-2-68: SGS
PVCYCLE (EU) | UN9177 Reaction to Fire: Class 1

ISO9001:2008 | Quality management system
ISO15169:2009 | The automotive industry quality management system
ISO14001:2004 | Standards for environmental management system
QC080000:2012 | The certificate for hazardous substances process management
OHSAS 18001:2007 | International standards for occupational health and safety



*Please contact your sales representative for the entire list of certificates applicable to your products.

CANADIAN SOLAR INC.

Founded in 2001 in Canada, Canadian Solar Inc., (NASDAQ:CSIQ) is the world's TOP 3 solar power company. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with about 6 GW of premium quality modules deployed around the world in the past 13 years, Canadian Solar is one of the most bankable solar companies in Europe, USA, Japan and China. Canadian Solar operates in six continents with customers in over 90 countries and regions. Canadian Solar is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world.

www.canadiansolar.com
support@canadiansolar.com

Canadian Solar Inc.
545 Speedvale Avenue West
Guelph | Ontario N1K 1E6 | Canada



ANEXO D – CATÁLOGO INVERSOR

SHIFTING THE LIMITS

FRONIUS SYMO

/ Maximum flexibility for the applications of tomorrow.



/ SnapInverter technology



/ Integrated data communication



/ SuperFlex Design



/ Dynamic Peak Manager



/ Smart Grid Ready



/ Boasting power categories ranging from 3.0 to 20.0 kW, the transformerless Fronius Symo is the three-phase inverter for systems of every size. Owing to the SuperFlex Design, the Fronius Symo is the perfect answer to irregularly shaped or multi-oriented roofs. The standard interface to the internet via WLAN or Ethernet and the ease of integration of third-party components make the Fronius Symo one of the most communicative inverters on the market. Furthermore, the meter interface permits dynamic feed-in management and a clear visualisation of the consumption overview.

TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

INPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Max. input current ($I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}^{1)}$)				16.0 A / 16.0 A		
Max. array short circuit current (MPP ₁ /MPP ₂ ²⁾)				24.0 A / 24.0 A		
Min. input voltage ($U_{dc\ min}$)				150 V		
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)				200 V		
Nominal input voltage (U_{dcr})				595 V		
Max. input voltage ($U_{dc\ max}$)				1,000 V		
MPP voltage range ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	200 - 800 V	250 - 800 V	300 - 800 V		150 - 800 V	
Number MPP trackers		1			2	
Number of DC connections		3			2+2	
OUTPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
AC nominal output (P_{ac2})	3,000 W	3,700 W	4,500 W	3,000 W	3,700 W	4,500 W
Max. output power	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA
AC output current ($I_{ac\ nom}$)	4.3 A	5.3 A	6.5 A	4.3 A	5.3 A	6.5 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)					
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)					
Total harmonic distortion	< 3 %					
Power factor ($\cos\ \phi_{ac2}$)	0.70 - 1 ind. / cap.			0.85 - 1 ind. / cap.		
GENERAL DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Dimensions (height x width x depth)				645 x 431 x 204 mm		
Weight	16.0 kg			19.9 kg		
Degree of protection	IP 65					
Protection class	1					
Overvoltage category (DC / AC) ²⁾	2 / 3					
Night time consumption	< 1 W					
Inverter design	Transformerless					
Cooling	Regulated air cooling					
Installation	Indoor and outdoor installation					
Ambient temperature range	-25 - +60 °C					
Permitted humidity	0 - 100 %					
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)					
DC connection technology	3x DC+ and 3x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm ²			4x DC+ and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16mm ² ³⁾		
Mains connection technology	5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm ²			5-pole AC screw terminals 2.5 - 16mm ² ³⁾		
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777 ⁴⁾ , CEI 0-21 ⁵⁾ , NRS 097					

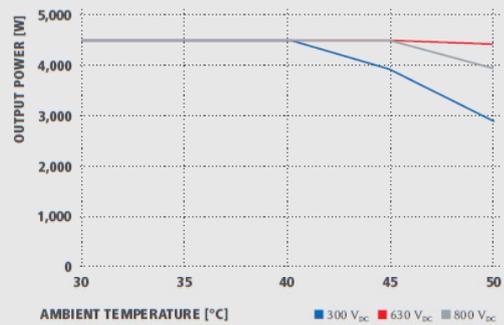
¹⁾ This applies to Fronius Symo 3.0-3-M, 3.7-3-M and 4.5-3-M.
²⁾ According to IEC 62109-1.
³⁾ 16 mm² without wire end ferrules. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at www.fronius.com.

Potencial de geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico conectado à rede e integrado à uma edificação na orla de Porto Alegre: verificação do tempo de retorno do investimento

FRONIUS SYMO 4.5-3-S EFFICIENCY CURVE



FRONIUS SYMO 4.5-3-S TEMPERATURE DERATING



TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

EFFICIENCY	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Max. efficiency	98.0 %					
European efficiency (η _{EU})	96.2 %	96.7 %	97.0 %	96.5 %	96.9 %	97.2 %
η at 5 % P _{AC,r} ¹⁾	80.3 / 83.6 / 79.1 %	83.4 / 86.4 / 80.6 %	84.8 / 88.5 / 82.8 %	79.8 / 85.1 / 80.8 %	81.6 / 87.8 / 82.8 %	83.4 / 90.3 / 85.0 %
η at 10 % P _{AC,r} ¹⁾	87.8 / 91.0 / 86.2 %	90.1 / 92.5 / 88.7 %	91.7 / 93.7 / 90.3 %	86.5 / 91.6 / 87.7 %	87.9 / 93.6 / 90.5 %	89.2 / 94.1 / 91.2 %
η at 20 % P _{AC,r} ¹⁾	92.6 / 95.0 / 92.6 %	93.7 / 95.7 / 93.6 %	94.6 / 96.3 / 94.5 %	90.8 / 95.3 / 93.0 %	91.9 / 96.0 / 94.1 %	92.8 / 96.5 / 95.1 %
η at 25 % P _{AC,r} ¹⁾	93.4 / 95.6 / 93.8 %	94.5 / 96.4 / 94.7 %	95.2 / 96.8 / 95.4 %	91.9 / 96.0 / 94.2 %	92.9 / 96.6 / 95.2 %	93.5 / 97.0 / 95.8 %
η at 30 % P _{AC,r} ¹⁾	94.0 / 96.3 / 94.5 %	95.0 / 96.7 / 95.4 %	95.6 / 97.2 / 95.9 %	92.8 / 96.5 / 95.1 %	93.5 / 97.0 / 95.8 %	94.2 / 97.3 / 96.3 %
η at 50 % P _{AC,r} ¹⁾	95.2 / 97.3 / 96.3 %	96.9 / 97.6 / 96.7 %	96.4 / 97.7 / 97.0 %	94.3 / 97.5 / 96.5 %	94.6 / 97.7 / 96.8 %	94.9 / 97.8 / 97.2 %
η at 75 % P _{AC,r} ¹⁾	95.6 / 97.7 / 97.0 %	96.2 / 97.8 / 97.3 %	96.6 / 98.0 / 97.4 %	94.9 / 97.8 / 97.2 %	95.0 / 97.9 / 97.4 %	95.1 / 98.0 / 97.5 %
η at 100 % P _{AC,r} ¹⁾	95.6 / 97.9 / 97.3 %	96.2 / 98.0 / 97.5 %	96.6 / 98.0 / 97.5 %	95.0 / 98.0 / 97.4 %	95.1 / 98.0 / 97.5 %	95.0 / 98.0 / 97.6 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %					

¹⁾ And at U_{mpp,min} / U_{dcr} / U_{mpp,max}

PROTECTIVE DEVICES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
DC insulation measurement	Yes					
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation					
DC disconnect	Yes					

INTERFACES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)					
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver					
USB (A socket) ²⁾	Datalogging, inverter update via USB flash drive					
2x RS422 (RJ45 socket) ²⁾	Fronius Solar Net					
Signalling output ²⁾	Energy management (potential-free relay output)					
Datalogger and Webservice	Included					
External input ²⁾	S0-Meter Interface / Input for overvoltage protection					
RS485	Modbus RTU SunSpec or meter connection					

²⁾ Also available in the light version.

TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

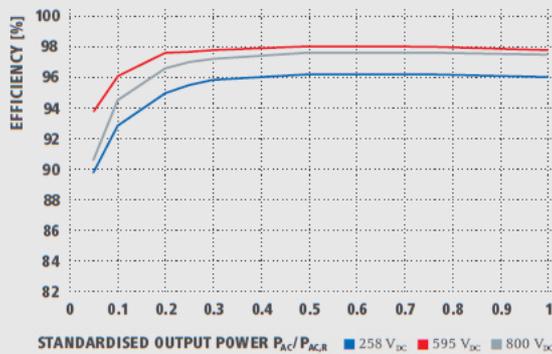
INPUT DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Max. input current ($I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$)			16.0 A / 16.0 A	
Max. array short circuit current (MPP ₁ /MPP ₂)			24.0 A / 24.0 A	
Min. input voltage ($U_{dc\ min}$)			150 V	
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)			200 V	
Nominal input voltage ($U_{dc\ n}$)			595 V	
Max. input voltage ($U_{dc\ max}$)			1,000 V	
MPP voltage range ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	163 - 800 V	195 - 800 V	228 - 800 V	267 - 800 V
Number MPP trackers			2	
Number of DC connections			2 + 2	
OUTPUT DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
AC nominal output ($P_{ac,n}$)	5,000 W	6,000 W	7,000 W	8,200 W
Max. output power	5,000 VA	6,000 VA	7,000 VA	8,200 VA
AC output current ($I_{ac\ nom}$)	7.2 A	8.7 A	10.1 A	11.8 A
Grid connection (voltage range)		3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)		
Frequency (Frequency range)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Total harmonic distortion		< 3 %		
Power factor ($\cos\ \varphi_{ac,n}$)		0.85 - 1 ind. / cap.		
GENERAL DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Dimensions (height x width x depth)		645 x 431 x 204 mm		
Weight	19.9 kg			21.9 kg
Degree of protection		IP 65		
Protection class		1		
Overvoltage category (DC / AC) ¹⁾		2 / 3		
Night time consumption		< 1 W		
Inverter design		Transformerless		
Cooling		Regulated air cooling		
Installation		Indoor and outdoor installation		
Ambient temperature range		-25 - +60 °C		
Permitted humidity		0 - 100 %		
Max. altitude		2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)		
DC connection technology		4x DC+ and 4x DC- Screw terminals 2.5 - 16mm ² ²⁾		
Mains connection technology		5-pole AC Screw terminals 2.5 - 16mm ² ²⁾		
Certificates and compliance with standards		ÖVE / ÖNORM E 8001-4712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-21, NRS 097		

¹⁾ According to IEC 62109-1.

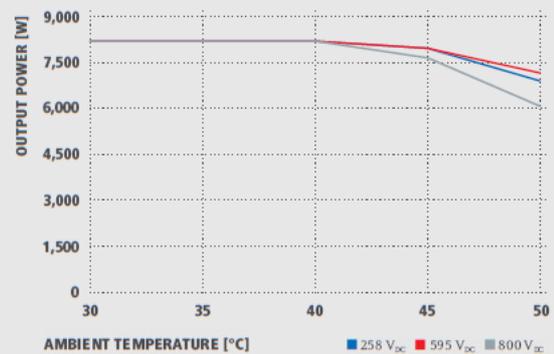
²⁾ 16 mm² without wire end ferrules.

Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at www.fronius.com.

FRONIUS SYMO 8.2-3-M EFFICIENCY CURVE



FRONIUS SYMO 8.2-3-M TEMPERATURE DERATING



TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

EFFICIENCY	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Max. efficiency	98.0 %			
European efficiency (η _{EU})	97.3 %	97.5 %	97.6 %	97.7 %
η at 5 % P _{Ac,r} ¹⁾	84.9 / 91.2 / 85.9 %	87.8 / 92.6 / 87.8 %	88.7 / 93.1 / 89.0 %	89.8 / 93.8 / 90.6 %
η at 10 % P _{Ac,r} ¹⁾	89.9 / 94.6 / 91.7 %	91.3 / 95.6 / 93.0 %	92.0 / 95.9 / 94.7 %	92.8 / 96.1 / 94.5 %
η at 20 % P _{Ac,r} ¹⁾	93.2 / 96.7 / 95.4 %	94.1 / 97.1 / 95.9 %	94.5 / 97.3 / 96.3 %	95.0 / 97.6 / 96.6 %
η at 25 % P _{Ac,r} ¹⁾	93.9 / 97.2 / 96.0 %	94.7 / 97.5 / 96.5 %	95.1 / 97.6 / 96.7 %	95.5 / 97.7 / 97.0 %
η at 30 % P _{Ac,r} ¹⁾	94.5 / 97.4 / 96.5 %	95.1 / 97.7 / 96.8 %	95.4 / 97.7 / 97.0 %	95.8 / 97.8 / 97.2 %
η at 50 % P _{Ac,r} ¹⁾	95.2 / 97.9 / 97.3 %	95.7 / 98.0 / 97.5 %	95.9 / 98.0 / 97.5 %	96.2 / 98.0 / 97.6 %
η at 75 % P _{Ac,r} ¹⁾	95.3 / 98.0 / 97.5 %	95.7 / 98.0 / 97.6 %	95.9 / 98.0 / 97.6 %	96.2 / 98.0 / 97.6 %
η at 100 % P _{Ac,r} ¹⁾	95.2 / 98.0 / 97.6 %	95.7 / 97.9 / 97.6 %	95.8 / 97.9 / 97.5 %	96.0 / 97.8 / 97.5 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %			

¹⁾ And at U_{mpp min} / U_{dc,r} / U_{mpp max}

PROTECTIVE DEVICES	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
DC insulation measurement	Yes			
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation			
DC disconnect	Yes			

INTERFACES	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)			
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver			
USB (A socket) ²⁾	Datalogging, inverter update via USB flash drive			
2x RS422 (RJ45 socket) ²⁾	Fronius Solar Net			
Signalling output ²⁾	Energy management (potential-free relay output)			
Datalogger and Webserver	Included			
External input ²⁾	S0-Meter Interface / Input for overvoltage protection			
RS485	Modbus RTU SunSpec or meter connection			

²⁾ Also available in the light version.

ANEXO E- MÓDULO A VENDA

minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/prod,IDLoja,14743,IDProduto,4800190,painel-solar-fotovoltaico-painel-de-205w-a-260w-painel-solar-fotovoltaico canadian solar

boleto: por R\$ 701,32 boleto: por R\$ 110,67 boleto: por R\$ 841,77

ENCONTRE AQUI SEU PRODUTO

- Accessórios Energia Solar
 - Condutores elétricos
 - Conectores e Terminais
 - Fusíveis e Porta-fusíveis
- Bateria Estacionária
 - Bosch Estacionária
 - Freedom Estacionária
- Bomba de Água Solar
 - Accessórios de Bomba Solar
 - Bomba Anauzer Solar
 - Bomba Shurflo Solar
 - Carregador de baterias
- Controlador de carga
 - Interfaces e Medidores
 - EP Solar
 - MorningStar
 - Phocos
 - Unitron
 - Xantrex
 - Cursos e Treinamentos

Produtos

Painel Solar Fotovoltaico Policristalino de 255W Canadian Solar – CS6P-255P
 Ref: CS6P-255P - Departamento: [Painel de 205W a 260W](#)

Zoom 

- Canadian Solar

de ~~R\$ 955,00~~
 por **R\$ 860,00** ou
 3x sem juros de R\$ 286,67
 Economize R\$ 95,00 (9%)

Comprar 

Ampliar imagem 

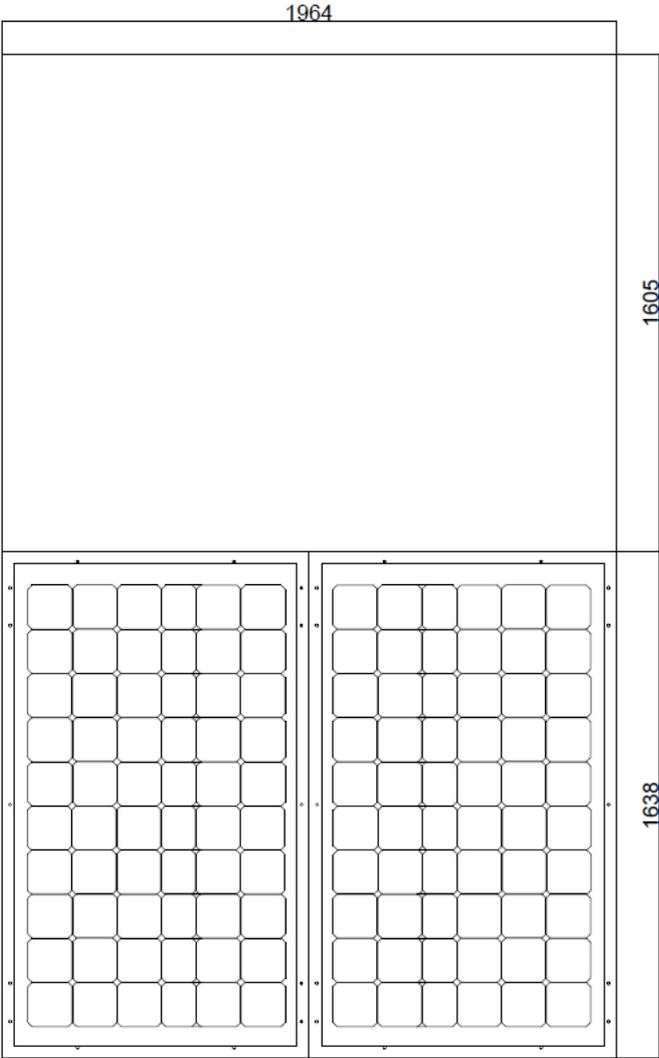
Opções de parcelamento

Parcelas	Valor	Total
1x sem juros	R\$ 860,00	R\$ 860,00
2x sem juros	R\$ 430,00	R\$ 860,00
3x sem juros	R\$ 286,67	R\$ 860,00
4x com juros	R\$ 225,80	R\$ 903,20
5x com juros	R\$ 182,40	R\$ 912,00
6x com juros	R\$ 153,48	R\$ 920,88
7x com juros	R\$ 132,83	R\$ 929,81
8x com juros	R\$ 117,35	R\$ 938,80
9x com juros	R\$ 105,31	R\$ 947,79
10x com juros	R\$ 95,69	R\$ 956,90

Desconto Especial
 Pague com boleto e ganhe **7%** de desconto
 Com desconto **R\$ 799,80** Economize **R\$ 60,20**

Potencial de geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico conectado à rede e integrado à uma edificação na orla de Porto Alegre: verificação do tempo de retorno do investimento

ANEXO F- MÓDULO DA FACHADA FOTOVOLTAICA



ANEXO G– DETALHES CONSTRUTIVOS