

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
UMA EMPRESA DO RAMO DE TRANSPORTES DE PORTO ALEGRE

por

Giovani Gayer de Oliveira

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, julho de 2017



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
UMA EMPRESA DO RAMO DE TRANSPORTES DE PORTO ALEGRE

por

Giovani Gayer de Oliveira

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof^a. Dr^a. Thamy Cristina Hayashi
Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Energia e Fenômenos de Transporte**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Letícia Jenisch Rodrigues

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Volnei Borges

Prof. Dr. Cirilo Seppi Bresolin

Prof^a. Dr^a. Thamy Cristina Hayashi

Porto Alegre, 07 de julho de 2017

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha orientadora Prof^a. Dr^a. Letícia Jenisch Rodrigues, por toda a atenção, dedicação e disponibilidade ao longo do desenvolvimento deste trabalho, fundamentais para concluí-lo.

Agradeço aos meus colegas de trabalho Bruno Moreira e Pablo Natividade, por toda ajuda e por sempre lembrarem da minha capacidade, incentivos que foram muito importantes nesta etapa da minha vida.

Agradeço a todos meus amigos, em especial os colegas de curso, pelo auxílio nos momentos de dificuldades e de dúvidas, e também por proporcionar boas lembranças.

Por fim, agradeço a meus pais, Gisela e Paulo, que me apoiaram em todos aspectos da vida e foram essenciais em todas conquistas que já obtive.

DE OLIVEIRA, G.G. “**Avaliação do Potencial de Instalação de um Sistema Fotovoltaico para uma Empresa do Ramo de Transportes de Porto Alegre**”. 2017. 19 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o potencial de instalação de um sistema fotovoltaico em uma empresa de transportes. Esta empresa, com matriz em Porto Alegre, apresenta uma demanda energética expressiva no setor de lavagem de veículos. Para o dimensionamento do mesmo, com auxílio de satélites e plantas baixas, são selecionadas três áreas com potencial de instalação e realizados estudos sobre sombreamento e ângulo azimutal. Estima-se a geração anual de energia utilizando os valores de irradiação fornecidos por softwares livres, e o dimensionamento é realizado após a escolha de um modelo de painel fotovoltaico específico. Verifica-se a redução no custo anual com energia elétrica, que chega a aproximadamente 83%, mostrando o potencial de aproveitamento desta fonte de energia. Por fim, a viabilidade financeira é realizada, demonstrando um cenário positivo no investimento, com retorno entre 8 e 9 anos, para uma vida útil do sistema de 25 anos.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema fotovoltaico, Geração de energia, Sistema de compensação de energia elétrica

DE OLIVEIRA, G.G. “**Evaluation of the Installation Potential of a Photovoltaic System for a Company of the Transport Sector of Porto Alegre**” 2017. 19 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

ABSTRACT

This work has as main objective to evaluate the potential of installation of a photovoltaic system in a transport company. This company, headquartered in Porto Alegre, presents an expressive energy demand in the vehicle wash sector. For the size determination, with the aid of satellites and blueprints, three areas with potential of installation were selected and studies on shading and azimuth angle were carried out. The annual energy generation was estimated by using the irradiation values provided by free software, and the size determination was done after choosing a specific photovoltaic panel model. There was a reduction in the annual cost of electricity, which reached approximately 83%, showing the potential of this energy source. Finally, financial feasibility was achieved, demonstrating a positive investment scenario, with a payback between 8 and 9 years, for a 25-year system life.

KEYWORDS: Photovoltaic system, Power generation, Electrical energy compensation system

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	2
4. ASPECTOS GERAIS	2
4.1 Célula Fotovoltaica	2
4.2 Sistema de Créditos	3
5. METODOLOGIA.....	4
5.1 Avaliação das Áreas Disponíveis.....	4
5.2 Demanda Energética.....	5
6. RESULTADOS	7
6.1 Dimensionamento do Sistema.....	7
6.2 Redução do Custo de Energia.....	9
6.3 Resistência Mecânica do Telhado	9
6.4 Análise Econômica	10
6.4.1 Título Indexado ao IPCA.....	11
6.6.2 Título Prefixado.....	11
7. CONCLUSÕES	122
7.1 Discussão.....	122
7.2 Trabalhos Futuros	13
REFERÊNCIAS.....	13

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, segundo o Banco de Informações de Geração [ANEEL, 2017], a matriz energética no Brasil é composta em sua maioria por geração hídrica, com 61,42%. Isto mostra que grande parte da produção de energia vem de uma fonte renovável, mas também demonstra a dependência dos sistemas de chuvas e rios. Fica evidente a necessidade de diversificação deste quadro, utilizando outras fontes, como energia solar, por exemplo. Em operação, há cerca de 144 MW de potência instalada com sistemas fotovoltaicos, o que representa 0,09% do total gerado [ANEEL, 2017]. A Figura 1.1 apresenta a atual matriz elétrica brasileira.

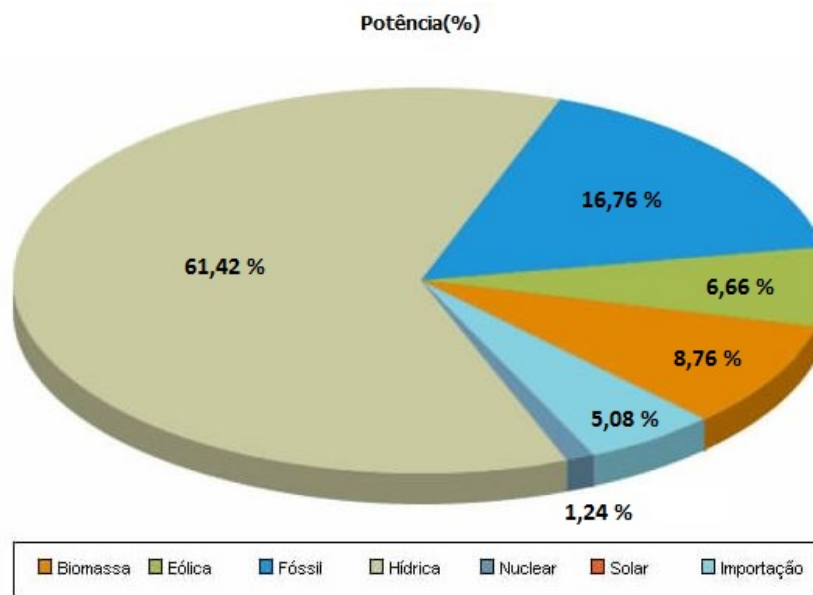


Figura 1.1 – Distribuição elétrica nacional. Fonte: adaptado de ANEEL, 2017.

Esta participação poderia ser maior, pois conforme apontado por Villalva e Gazoli, 2014, o Brasil apresenta um potencial de geração 10 vezes maior que a potência instalada na Alemanha, país em quarta posição mundial de geração fotovoltaica. Faria Jr. *et al.*, 2017, analisaram as barreiras da instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil, mencionando a necessidade de maiores incentivos fiscais e menor burocracia. Contudo, há uma evolução neste cenário, pois se estima que no Brasil serão implementados entre 3,8 e 9,9 MW de potência entre os anos de 2017 e 2021 [EPIA, 2017].

Gasparin e Krenzinger, 2016, estudaram a influência da variação dos ângulos de painéis fotovoltaicos em relação ao ângulo ideal, na geração de energia, para diversas cidades brasileiras. Em seu trabalho, salientaram a elevada viabilidade dos sistemas fotovoltaicos para produção de energia elétrica no Brasil.

A partir da Resolução Normativa nº 482/2012, há a possibilidade da troca bilateral de energia elétrica entre as distribuidoras e as unidades particulares geradoras. Para isso é utilizado um sistema de créditos, de modo que o excedente gerado mensalmente seja armazenado na rede de distribuição, para uso futuro. Além da economia para o consumidor, estes sistemas, como ressalta Possebon, 2016, possuem menor desperdício na transmissão, visto que a geração está próxima do consumidor, o que é mais um fator de incentivo para sua utilização.

Vários estudos comprovaram a viabilidade econômica de investimentos nesta área. Cascaes, 2016, em avaliação do potencial de geração no Campus do Vale da UFRGS, realizou ampla análise financeira, incluindo, além de comparativos entre possíveis conjunturas

econômicas, também, comparações entre diferentes custos de investimento. Os resultados foram viáveis para todos os casos.

O presente projeto ambientou-se em uma empresa de grande porte em Porto Alegre e visou a possibilidade de a mesma utilizar energia gerada pela captação solar, com a consequente redução do consumo de energia gerada por outras fontes.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o potencial de instalação de um sistema fotovoltaico em uma empresa de transportes. Isto é, dimensionar e avaliar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico para suprir parte da demanda energética de uma empresa. O dimensionamento realizado contempla apenas o gerador fotovoltaico, conjunto de módulos. Os inversores e demais equipamentos não são objeto de estudo. Para isso, analisam-se três áreas úteis por meio de plantas baixas e potencial de geração utilizando dados de softwares livres e fabricantes de painéis solares, buscando determinar a energia gerada ao longo de um ano. Por fim, realiza-se uma análise econômica em diferentes cenários comparando o investimento com distintas aplicações financeiras.

3. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa onde se estuda instalar os painéis fotovoltaicos está localizada em Porto Alegre e atua no sistema de transportes, realizando viagens rodoviárias. Apresenta terreno próprio com estrutura para realizar os serviços relacionados aos cuidados dos veículos, como abastecimento, avaliação de avarias, lavagem externa e interna, áreas de manutenção corretiva e preventiva, além de uma cabine de pintura. A área da lavagem externa é composta por uma estação de tratamento de água, além de mangueiras e um equipamento com escovas rotativas e jatos d'água. Selecionou-se este setor para realização do estudo, devido sua alta demanda de serviços e facilidade de medição da energia consumida.

4. ASPECTOS GERAIS

Nesta seção apresenta-se o princípio básico de funcionamento de uma célula fotovoltaica e o sistema de compensação de energia elétrica utilizado no Brasil.

4.1 Célula Fotovoltaica

A conversão de energia solar em energia elétrica ocorre por meio do efeito fotovoltaico, que se manifesta quando a luz incide sobre um material semicondutor e promove o deslocamento de elétrons. Uma célula fotovoltaica constitui-se de dois materiais semicondutores, dos tipos P e N, uma grade de coletores metálicos e uma base metálica. O silício é o material semicondutor mais utilizado, seus átomos possuem quatro ligações e formam uma rede cristalina. Ao se adicionar átomos com cinco elétrons, como o fósforo, haverá um elétron a mais que, ao receber energia extra, irá facilmente se desprender. Esta camada de material é chamada de dopante N. De forma semelhante, ao se adicionar átomos com três elétrons, como o boro, haverá espaço para ocorrer a ligação com um elétron livre. Esta é a camada denominada dopante P. Assim, na incidência da luz solar os elétrons se desprendem da camada superior e são conduzidos para a base metálica, sendo então gerada uma corrente contínua por meio do efeito fotovoltaico [Villalva e Gazoli, 2014].

As camadas de silício podem ser fabricadas de formas variadas, sendo as mais comuns de silício policristalino, monocristalino e amorfo. Villalva e Gazoli, 2014 apresentam os tipos existentes, citando as formas de fabricação e principais características, além de realizar uma

comparação com as eficiências dessas diferentes tecnologias. As maiores eficiências são atingidas com células de silício monocristalino e policristalino, em experiências realizadas em laboratório (24,7% e 19,8%, respectivamente) e no uso final (18% e 15%, respectivamente).

Devido à baixa geração individual das células, que fornecem uma tensão de até 0,6 V, os painéis apresentam 36, 54 ou 60 células fotovoltaicas interligadas em série [Villalva e Gazoli, 2014]. Painéis comerciais são capazes de gerar corrente elétrica de aproximadamente 8 A, dependendo de sua área.

4.2 Sistema de Créditos

A Resolução Normativa nº 482/2012 regulamentou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, que permite a unidades micro e minigeradoras o recebimento de créditos no momento que a geração de energia for maior que o consumo. Após Resolução Normativa nº 687/2015, define-se microgeração como unidades com potência instalada de até 75 kW, e minigeração com potência entre 75 kW e 3 MW. A energia sobressalente é injetada na rede de distribuição. Há, porém, algumas condições a serem seguidas, de acordo com o caderno temático da ANEEL sobre geração distribuída [ANEEL, 2016]:

- O custo de disponibilidade, valor em reais referente a uma quantidade mínima de kWh, deve ser pago mesmo em meses de consumo menor que a geração;
- Os créditos são faturados apenas no mês seguinte ao seu fornecimento;
- Há o prazo de 60 meses para os créditos serem utilizados.

Os créditos são descontados apenas em quantidade suficiente para atingir o custo da disponibilidade, que é 30 kWh para rede monofásica, 50 kWh para bifásica e 100 kWh para trifásica. Na contabilização da fatura é calculada mensalmente a energia demandada, a energia gerada e os créditos acumulados até o mês anterior, conforme exemplificado na Figura 4.1 para uma rede trifásica com tarifa de 0,51 R\$/kWh.

Mês	Consumo (kWh)	Injetado (kWh)	Crédito acumulado (kWh)	Fatura sem GD*	Fatura com GD*	Diferença
Jan	330	353	23	R\$ 168,30	R\$ 51,00	R\$ 117,30
Fev	360	360	23	R\$ 183,60	R\$ 51,00	R\$ 132,60
Mar	460	335	0	R\$ 234,60	R\$ 52,02	R\$ 182,58
Abr	440	357	0	R\$ 224,40	R\$ 51,00	R\$ 173,40
Mai	450	333	0	R\$ 229,50	R\$ 59,67	R\$ 169,83
Jun	390	308	0	R\$ 198,90	R\$ 51,00	R\$ 147,90
Jul	350	360	10	R\$ 178,50	R\$ 51,00	R\$ 127,50
Ago	476	370	4	R\$ 242,76	R\$ 51,00	R\$ 193,80
Set	484	380	0	R\$ 246,84	R\$ 51,00	R\$ 183,60
Out	480	378	0	R\$ 244,80	R\$ 52,02	R\$ 192,78
Nov	430	338	0	R\$ 219,30	R\$ 51,00	R\$ 168,30
Dez	390	332	0	R\$ 198,90	R\$ 51,00	R\$ 147,90
Total	5.100	4.204	-	R\$ 2.560,20	R\$ 622,71	R\$ 1.937,49

Figura 4.1 – Exemplo de faturamento pelo sistema de compensação de energia. Fonte: adaptado de ANEEL, 2016.

No mês de março tem-se que o consumo foi 125 kWh acima do gerado. Utilizando a quantidade de 23 kWh creditados até o mês anterior, chega-se em 102 kWh a serem pagos.

Para o mês de agosto, houve um consumo de 106 kWh superior ao injetado. Percebe-se que são descontados apenas 4 dos 10 kWh de créditos, suficiente para atingir o custo de disponibilidade de 100 kWh.

5. METODOLOGIA

Esta seção apresenta a metodologia utilizada para avaliar o potencial de instalação do sistema fotovoltaico. Para tanto, são apresentadas as áreas disponíveis para a instalação do mesmo, a estimativa do número de carros lavados e, conseqüentemente, a demanda de energia elétrica.

5.1 Avaliação das Áreas Disponíveis

Uma primeira análise foi realizada por meio de fotos de satélite, bem como visitas ao local, buscando levantar informações acerca das possíveis áreas de instalação, avaliar a melhor direção dos painéis e possíveis sombreamentos. No terreno há três prédios principais, numerados neste trabalho como 1, 2 e 3, conforme apresentado na Figura 5.1. No prédio de número 1 funcionam a borracharia da empresa e as estruturas de verificação de avarias, e é o mais próximo da área de lavagem, o que diminui perdas com transmissão. Além disso, nenhuma estrutura no entorno causa sombreamento. O prédio 2 constitui-se das oficinas, onde são realizados todos serviços de manutenção dos veículos, como elétrica, carroceria e chassis. Apresenta maior área entre os locais selecionados, porém sua inclinação favorece sombreamento parcial de seu telhado. Já no prédio 3 são organizados carregamentos de itens que são transportados nos veículos, como serviço de fretamento. Não apresenta sombreamento, porém é o local mais afastado da área de lavagem.



Figura 5.1 – Áreas disponíveis para instalação de painéis.(1) Borracharia, (2) Oficinas e (3) Logística.

Um dado importante de ser mensurado é o azimute, ângulo formado pela direção dos painéis solares e o norte geográfico, visto que a geração de energia é maior, no hemisfério sul, quando o sistema está orientado em direção ao norte geográfico. Para este cálculo foi utilizado o software livre de design Blender [Blender, 2017], onde o ângulo é facilmente obtido a partir do traçado de retas. Partes dos telhados possuem inclinação voltada para o sul, então não foram

consideradas as áreas totais como úteis. Também a área total dos telhados deve ser conhecida, e para isso utilizou-se as plantas baixas do local. No presente trabalho foram utilizados os parâmetros elétricos do painel Canadian Solar, modelo CS6P-P, com 60 células e potência nominal de 260 W.

Para cada uma das três áreas em análise foi calculada a quantidade de painéis comportados nos espaços selecionados. Estes valores foram obtidos ao se comparar as medidas laterais dos telhados com os painéis, que apresentam 0,99 m de largura e 1,65 m de profundidade, resultando na área individual de 1,65 m² [Canadian Solar, 2017]. Com o número de painéis conhecido, multiplica-se esse valor pela área individual, a fim de se obter a área total de captação de energia. A Tabela 5.1 apresenta os dados, obtidas referentes a cada prédio.

Tabela 5.1 – Informações dos prédios da empresa.

Prédio	Azimute	Área Disponível (m ²)	Quantidade de módulos FV	Área Coletora (m ²)
1	11,50°	743,52	420	687,46
2	20,89°	2122,91	1287	2106,56
3	20,89°	616,05	360	589,25

5.2 Demanda Energética

Para se conhecer a demanda energética, há a necessidade de se obter a quantidade de carros lavados ao longo de um ano. No caso específico desta empresa, houve uma fusão em 2016, aumentando o número de carros e, conseqüentemente, o consumo de energia. Desta forma, não existem dados durante doze meses de operação nos níveis da demanda atual. Assim, a quantidade de lavagens realizadas para alguns meses do ano teve que ser estimada.

Para obter a demanda mensal ao longo de um ano, foi utilizado o consumo real conhecido nos meses de janeiro a maio de 2017, enquanto que, para os meses de novembro e dezembro de 2017 utilizou-se a demanda ocorrida nos mesmos meses de 2016, resultando nos valores da Tabela 5.2.

Tabelas 5.2 Número de lavagens medidas.

Ano de 2017						
Medido					Estimado	
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Novembro	Dezembro
3352	3206	3348	3311	3530	3598	4231

Para os meses de junho a outubro de 2017 foram feitas estimativas tomando-se como base os valores referentes a 2014 e 2015. Calculou-se a média dos valores ocorridos nesses anos em cada mês e verificou-se o percentual que cada média representou em relação à média de dezembro desses anos, mês de maior atividade. Obteve-se assim uma distribuição que reflete o comportamento mensal de lavagens da empresa realizadas ao longo de um ano, relativo a um mês base, no caso, dezembro.

Utilizando-se essa série percentual no ano de 2017, aplicada sobre o mês de dezembro, resultou para os meses de janeiro a maio, porém, valores em média 14,5% superiores à realidade. Todavia, observou-se que, se aplicada sobre o mês de novembro, resultava em valores com divergência média de 0,5%, muito próximos da realidade naqueles primeiros cinco meses. Assim, se conclui que a utilização desta série, tomando-se como base o mês de novembro, fornece valores coerentes para a estimativa dos meses de junho a outubro. Foi então aplicada esta série, tendo novembro como base, resultando nos valores da Tabela 5.3.

Nos meses de janeiro a maio de 2017 a energia mensal consumida e o número de carros lavados são conhecidos, de modo que se pode obter a média de energia por carro neste período, conforme apresentados na Tabela 5.4.

Com base na média de energia por carro lavado desses meses, que foi igual a 1,45 kWh, obtém-se a demanda energética dos meses de junho a dezembro, utilizando-se as quantidades de carros estimadas na Tabela 5.3. A Tabela 5.5 apresenta os resultados assim obtidos.

5.3 – Estimativa de carros lavados nos meses de junho a outubro de 2017.

Mês	Média de Carros Lavados 2014 e 2015	Razão das lavagens mensais pelas lavagens de dezembro
Janeiro	2876	0,96
Fevereiro	2570	0,85
Março	2799	0,93
Abril	2900	0,96
Maior	2812	0,93
Junho	2901	0,96
Julho	2855	0,95
Agosto	2796	0,93
Setembro	2687	0,89
Outubro	2790	0,93
Novembro	2761	0,92
Dezembro	3010	1,00

Tabela 5.4 – Valores conhecidos, de 2017, de demanda energética e quantidade de carros lavados.

Mês	Demanda Energética (kWh)	Quantidade de Carros Lavados	Energia Utilizada (kWh/carro)
Janeiro	4003	3352	1,19
Fevereiro	5390	3206	1,68
Março	5707	3348	1,70
Abril	4016	3311	1,21
Maior	5096	3530	1,44

Tabela 5.5 – Demanda estimada nos meses de junho a dezembro de 2017.

Mês	Quantidade de Carros Lavados	Energia Utilizada (kWh/carro lavado)	Demanda Energética (kWh)
Junho	3467	1,45	5018
Julho	3413	1,45	4939
Agosto	3342	1,45	4837
Setembro	3212	1,45	4649
Outubro	3334	1,45	4826
Novembro	3598	1,45	5207
Dezembro	4231	1,45	6124

6. RESULTADOS

Aplicando-se a metodologia descrita na seção anterior obteve-se a demanda anual de energia ao longo de 2017, utilizando cinco meses de dados reais e sete meses de dados estimados, conforme acima demonstrado. Porém, devido ao custo de disponibilidade que, neste caso é de 100 kWh, a geração efetiva de energia deverá ser igual à demandada subtraída desta disponibilidade, conforme demonstrado na tabela 6.1.

Tabela 6.1– Demanda estimada efetiva para um ano de operação.

Mês	Demanda Energética (kWh)	Demanda Efetiva (kWh)
Janeiro	4003	3903
Fevereiro	5390	5290
Março	5707	5607
Abril	4016	3916
Maio	5096	4996
Junho	5018	4918
Julho	4939	4839
Agosto	4837	4737
Setembro	4649	4549
Outubro	4826	4726
Novembro	5207	5107
Dezembro	6124	6024

6.1 Dimensionamento do Sistema

Visto que o prédio 1 possui menor ângulo de azimute, além de não haver nenhum sombreamento, busca-se realizar a instalação neste espaço. Também, é necessário considerar a inclinação dos painéis no dimensionamento do sistema, para se gerar a maior quantidade de energia possível. Segundo as plantas do prédio, o decaimento de seu telhado é de 12,3°. O maior aproveitamento da energia solar se dá em uma inclinação igual à latitude da cidade escolhida, que no caso de Porto Alegre, é de 30° [Pinho e Galdino, 2014]. Em princípio seria necessária uma estrutura para elevar os painéis de 12,3° para 30°. Contudo, conforme dados de Gasparin e Krenzinger, 2016, o ganho na geração de energia seria de aproximadamente 3%, não se justificando o custo de uma estrutura extra. Assim, tem-se que a energia gerada a 12,3° é 96% da energia gerada a 30° [Gasparin e Krenzinger, 2016]. A relação entre a área necessária e a energia gerada é dada por

$$E = \overline{H} A \eta N \quad (6.1)$$

na qual \overline{H} é a irradiação média mensal em kWh/m²/dia, A é a área de captação em m², η é a eficiência de conversão e N corresponde ao número de dias no mês, no caso, considerado 30 dias.

Os valores da irradiação média mensal foram obtidos pelo *software* livre Radiasol2 [RADIASOL, 2017], obtidos para Porto Alegre com azimute de 11° e inclinação de 12,3°. A eficiência dos painéis é obtida do fabricante para o painel Canadian Solar CS6P 260P, cujo valor é de 16,16% [Canadian Solar, 2017].

Dimensiona-se a área de modo que a energia gerada seja exatamente a demanda efetiva de cada mês. Porém, a irradiação média e o consumo variam mensalmente, o que resultaria em áreas diferentes a cada mês. Assim, utilizou-se o valor médio do ano, que foi de 226,5 m². Entretanto, calculando-se mês a mês a energia gerada com esta área média, se obteria uma energia anual de 62153 kWh, 5,7% superior ao necessário. Dessa forma, definiu-se uma área 5,7% inferior à área média, igual a 213,6 m². Com essa nova área, recalculou-se a energia mensal gerada, resultando no valor anual idêntico à demanda efetiva. Os dados mensais são mostrados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Energia gerada conforme área utilizada

Mês	Demanda Efetiva (kWh)	Gerado com 226.5 m ² (kWh)	Gerado com 213,6 m ² (kWh)	Créditos Acumulados (kWh)
Janeiro	3903	6490	6120	2.217
Fevereiro	5290	6182	5830	2.757
Março	5607	5458	5147	2.297
Abril	3916	4711	4443	2.824
Maio	4996	3745	3531	1.359
Junho	4918	3174	2993	-
Julho	4839	3690	3479	-
Agosto	4737	4140	3904	-
Setembro	4549	4876	4598	-
Outubro	4726	5996	5654	-
Novembro	5107	6666	6286	-
Dezembro	6024	7028	6628	-
Total	58612	62153	58612	-

A Figura 6.1 ilustra a geração anual de energia com relação à média da demanda energética, de 4984 kWh. Percebe-se que a geração excede o consumo médio nos meses de verão, quando a irradiação é maior, garantindo créditos a serem utilizados posteriormente em períodos de

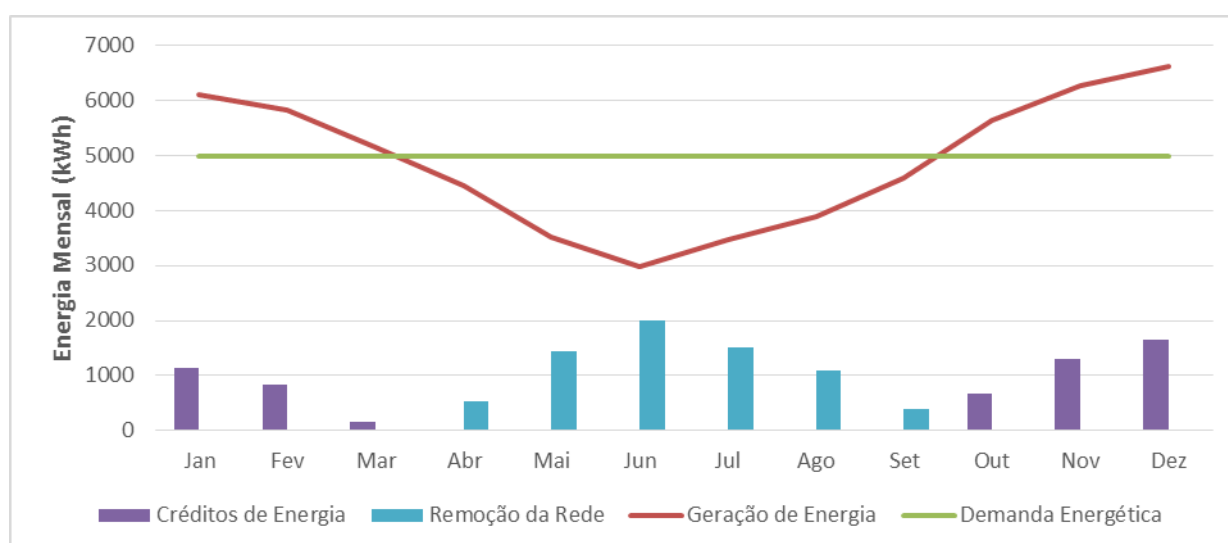


Figura 6.1 – Comparação da geração com a demanda energética média. Fonte: (com base em Possebon, 2016).

Conforme comentado anteriormente, os painéis têm dimensões de 0,992 m por 1,65 m, resultando em uma área individual de 1,64 m². Para atingir os 213,6 m² anteriormente calculados são necessários no mínimo 130,5 painéis. Assim, determina-se que 131 painéis de 260 W serão usados, resultando em uma potência de pico instalada de 34,06 kW.

6.2 Redução do Custo de Energia

As informações referentes à tarifa de energia elétrica são informadas pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), distribuidora que atende a empresa. Usa-se o valor de 0,39116 R\$/kWh (valor sem impostos) [CEEE, 2017], ICMS de 30% e soma de PIS com COFINS de 4,34%, média dos últimos 12 meses. O preço final é calculado por [CEEE, 2017]

$$PF = \frac{PH}{1 - ICMS - PIS - COFINS} \quad (6.2)$$

na qual PF é o preço final da energia elétrica em R\$/kWh, PH corresponde ao preço homologado pela distribuidora em R\$/kWh, e $ICMS$, PIS e $COFINS$ são os respectivos impostos.

A tarifa final calculada é 0,60 R\$/kWh. Sem a instalação do sistema fotovoltaico a empresa tem o custo anual de R\$ 35.632,25 e um custo, após a inserção, de R\$ 6.283,22, resultando na redução de 82,37%. A menor mensal redução foi de 44%, ocorrida em setembro, e a maior foi de 98%, verificada nos cinco primeiros meses do ano e em dezembro.

6.3 Resistência Mecânica do Telhado

Após realizado o dimensionamento do sistema, fez-se uma análise simplificada da resistência do telhado onde será instalado. O tipo exato das placas metálicas não é conhecido, então para verificar a capacidade da estrutura em suportar o peso dos painéis busca-se em diferentes fabricantes de telhas metálicas suas resistências a sobrecargas. Os menores valores foram encontrados para o fabricante Brasilit [Brasilit, 2017], onde a configuração menos resistente, ou seja, com menor número de apoios e maior espaçamento entre esses, suporta mais de 40 kg/m², conforme mostrado na Figura 6.2.

TABELA DE CARGAS

		Tabela de cargas (kg/m ²)														
Produto	Número de apoios	Distância entre apoios														
		0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20
TopSteel 27	1	185	130	95	71	55	43									
	2	220	174	141	116	98	83	72	63	55	46					
	3	236	187	151	125	105	89	75	61	50	42					
TopSteel 36	1	287	202	147	110	85	67	54	44							
	2	341	269	218	180	151	129	111	97	85	72	61	52	44		
	3	365	289	234	193	162	138	116	95	78	65	55	47	40		
TopSteel 45	1	369	259	189	142	109	86	69	56	46						
	2	436	344	279	230	194	165	142	124	109	93	78	66	57	49	44
	3	467	369	299	247	207	177	150	121	100	84	70	60	51	44	

Figura 6.2 – Resistência de telhas metálicas Brasilit. Fonte: Brasilit, 2017.

Segundo catálogo da Canadian Solar, 2017, os painéis solares apresentam uma massa de 18 kg cada e uma área de 1,64 m², resultando em uma distribuição de aproximadamente 11 kg/m². Portanto, ainda que seja considerada uma estrutura em que o peso fosse 100% maior que os painéis, resultando em uma distribuição de 33 kg/m², ainda assim estaria abaixo do valor mínimo de resistência.

6.4 Análise Econômica

A estimativa do custo de instalação do sistema fotovoltaico é feita através de um estudo realizado pelo Instituto para Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL) chamado “O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica – Edição 2016”, resultado de entrevistas a diversas empresas [IDEAL, 2017]. O estudo apresenta o gráfico mostrado na Figura 6.3, onde constam os valores médios de preço por Wp para algumas faixas de potência nominal, sendo Wp a potência de pico. O dimensionamento do presente trabalho resultou em uma potência instalada de 34,06 kWp, se enquadrando no valor médio de 6,86 R\$/kWp. Assim, estima-se um investimento inicial de R\$ 233.651,60.

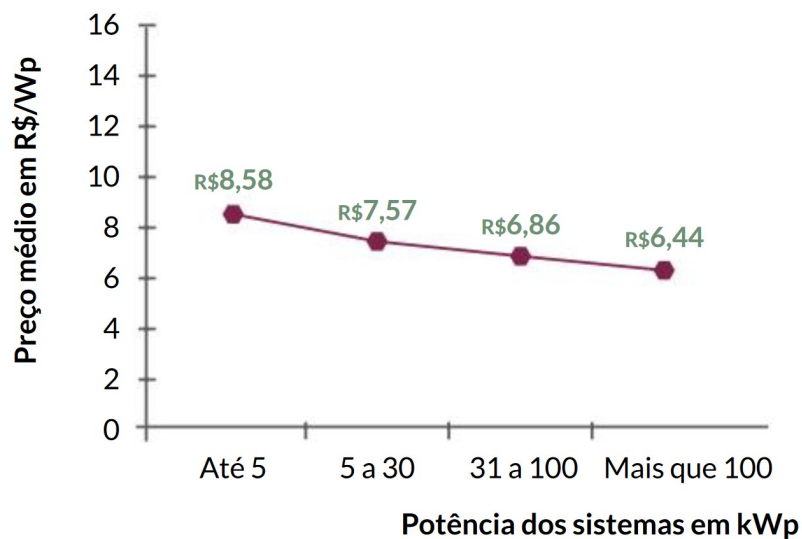


Figura 6.3 – Valores de sistemas fotovoltaicos de acordo com a potência nominal. Fonte: adaptado de IDEAL, 2017.

Na análise de viabilidade econômica é preciso realizar uma comparação com outros tipos de investimento, como títulos do tesouro nacional. Desta forma, assume-se as seguintes hipóteses:

- Custos de manutenção e limpeza desconsiderados;
- Depreciação do sistema negligenciada;
- PIS+COFINS é fixada no valor dos últimos 12 meses, informado pela CEEE, no valor de 4,34%;
- Inflação como média da variação do IPCA nos últimos 10 anos, informada pelo IBGE, no valor de 5,95% a.a.;
- Classificado como classe Comercial;
- ICMS de 30%;
- Custo de disponibilidade do sistema para rede trifásica, 100 kWh;
- Economia mensal considerada a diferença entre contas de luz antes e depois da instalação do sistema fotovoltaico;
- Vida útil de 25 anos.

Uma das formas de se analisar um investimento é pelo método do Valor Presente Líquido (VPL), onde se monta um fluxo de caixa dos 25 anos e se traz para o tempo atual os valores movimentados no futuro,

$$VPL = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (6.3)$$

na qual VPL é o valor presente líquido em R\$, I_0 o investimento inicial em R\$, t o período em análise, R_t o fluxo de dinheiro no período t , i é a taxa mínima de atratividade e n a quantidade de tempo verificada. O investimento inicial é o valor anteriormente calculado de R\$ 219.063,00 e o período analisado é o de 25 anos da vida útil estimada. Assim, tem-se os possíveis resultados:

- $VPL > 0$, investimento economicamente viável
- $VPL = 0$, investimento economicamente indiferente
- $VPL < 0$, investimento economicamente inviável

6.4.1 Título Indexado ao IPCA

No Brasil a inflação é medida por meio de diferentes índices, fornecidos por algumas instituições como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Fundação Getúlio Vargas (FGV) e Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE). Um dos índices divulgados pelo IBGE é o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que resulta da variação de preço de vários produtos e serviços.

Os títulos indexados ao IPCA variam o seu rendimento conforme variação deste índice. Assim, no início da aplicação não se conhece qual será o rendimento ao final do período, pois irá depender da flutuação do IPCA. A Figura 6.4 representa o VPL com base nos rendimentos destes títulos, que atualmente, estão em cerca de 5,60% a.a. [Tesouro Nacional, 2017]. Tem-se neste cenário o tempo de retorno entre 8 e 9 anos.

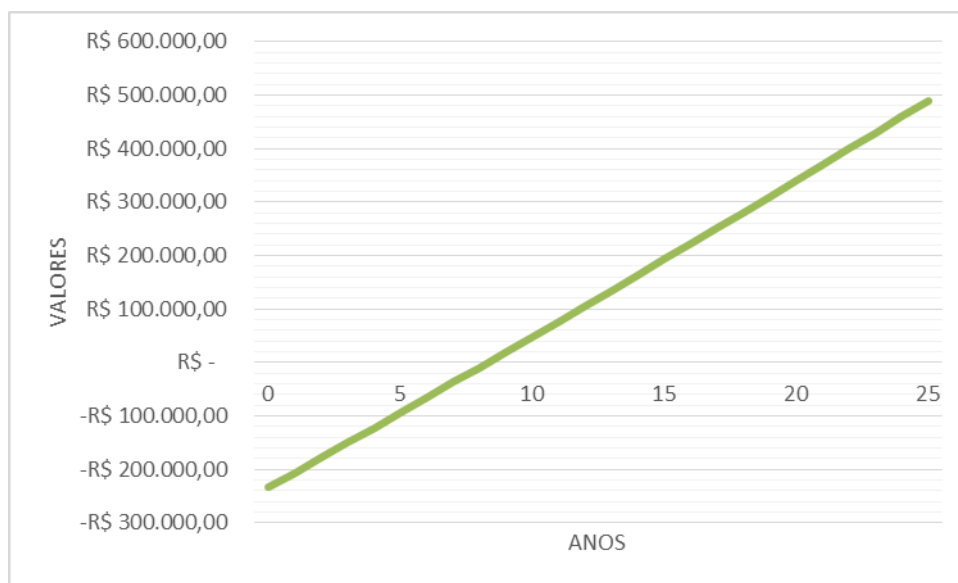


Figura 6.4 – VPL para título indexado ao IPCA.

6.4.2 Título Prefixado

Outra forma de investimento no tesouro nacional é por meio do tesouro prefixado, no qual se tem conhecimento do rendimento exato ao final do período de aplicação. Entretanto, deve-se considerar que caso haja um aumento da inflação a rentabilidade desta modalidade pode diminuir ou até chegar a valor negativo. As taxas de retorno atualmente estão em cerca de 10% a.a. [Tesouro Nacional, 2017], e a Figura 6.5 mostra o VPL para este investimento. O tempo de retorno neste cenário está entre 10 e 11 anos.

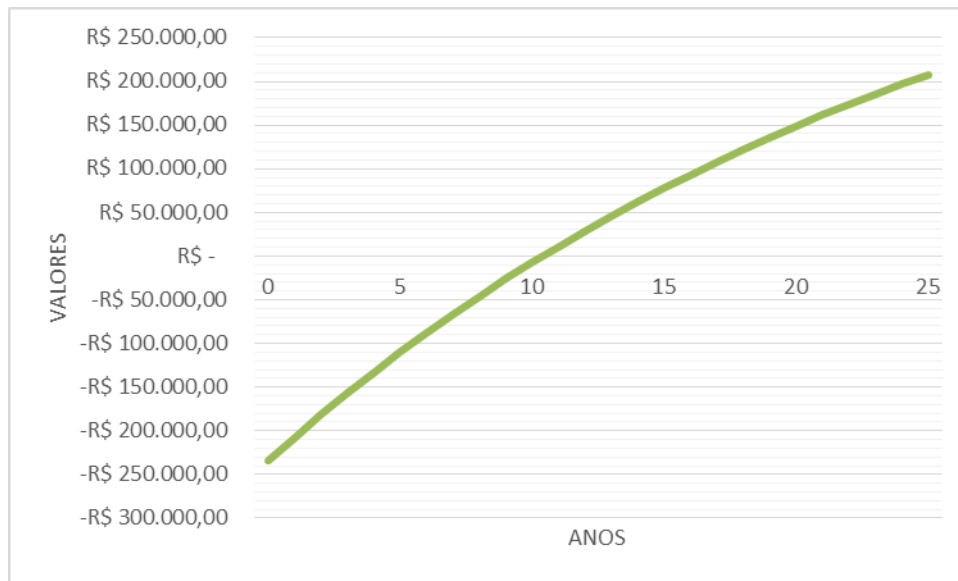


Figura 6.5 – VPL para tesouro nacional prefixado.

A comparação dos dois cenários, ilustrada na Figura 6.6, explicita a diferença no comportamento das curvas. O primeiro cenário apresenta forma linear, pois a taxa mínima de atratividade é menor que o reajuste anual da tarifa energética, diferentemente do segundo cenário, que apresenta uma amortização ao longo da vida do projeto.

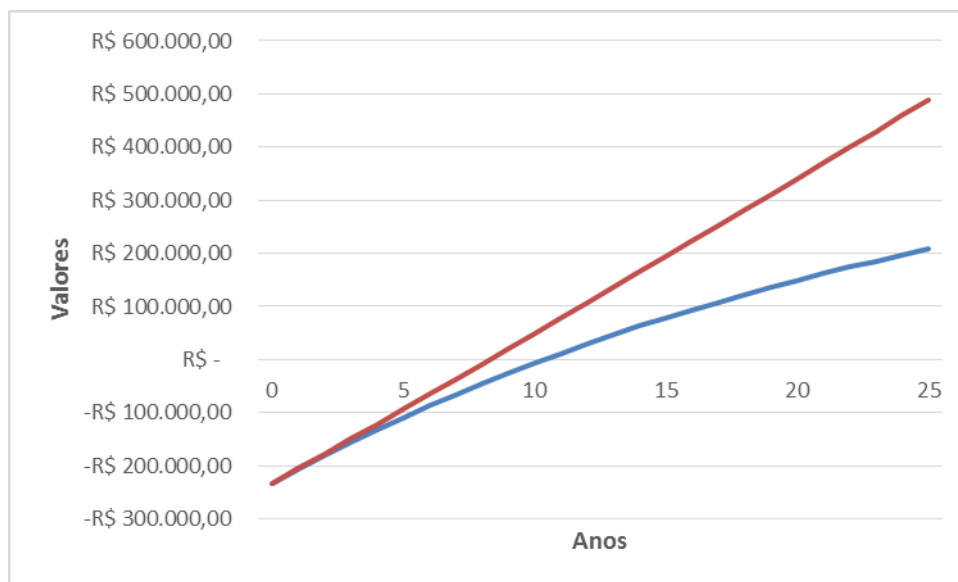


Figura 6.6 – Comparação dos dois cenários

7. CONCLUSÕES

7.1 Discussão

Foi realizado um estudo acerca da viabilidade de instalação de um sistema fotovoltaico para uma empresa do ramo de transportes de Porto Alegre. Sua principal atividade é o

transporte rodoviário de passageiros, e apresenta terreno próprio com estrutura para realização de manutenção de seus veículos. Um de seus setores é a área de lavagem externa, que opera por longos períodos, representando significativa participação no consumo total de energia elétrica. Com isso, a demanda energética deste setor foi objeto de estudo deste trabalho.

A análise realizada neste trabalho se deu inicialmente pela inspeção das possíveis áreas de instalação de um sistema fotovoltaico, verificando orientações e eventuais sombreamentos. Após estimativa do consumo deste setor, e definição de um modelo de painel fotovoltaico, o sistema foi dimensionado. Por fim, fez-se uma análise econômica comparando.

A avaliação deste sistema no local de interesse mostrou capacidade na redução da tarifa energética, com economia anual de 82,37% na conta de energia. Este valor foi atingido com uma área coletora de 213,6 m² e potência instalada de 34,06 kWp. O tempo de retorno para o investimento variou entre 8 e 9 anos para taxa de retorno de 5,60% a.a., sendo economicamente viável, visto ser menor que os 25 anos de vida útil do sistema. Esta análise foi feita baseada em recursos próprios de investimento, não prevendo linhas de crédito. É importante salientar que a análise foi feita com base em estimativas e valores médios de períodos anteriores, não podendo prever o conjunto de fatores a longo prazo. Além disso, o custo do investimento inicial foi calculado com base em uma média de preços, havendo, portanto, margem para redução, o que resultaria em um menor tempo de retorno do capital investido.

7.2 Trabalhos Futuros

A fim de melhor dimensionar o projeto é importante observar a real demanda energética da empresa, e seus respectivos custos, ao decorrer de um ano. Também, seria interessante uma medida da potência elétrica de módulos específicos instalados no local, obtendo-se valores reais de operação. Além do mais, alguns outros fatores poderiam ser considerados, como variação da eficiência dos painéis com aumento da temperatura e a instalação de inversores.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, “**Banco de Informações de Geração**”. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em 03/07/2017.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, “**Resolução Normativa nº 482/2012**”, Brasil, 2012

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, “**Resolução Normativa nº 687/2015**”, Brasil, 2015

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, “**Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica**”, 2ª edição, 2016.

Blender, “**Software Blender 2.78c**”. Disponível em: <https://www.blender.org/download/>. Acesso em 30/04/2017.

Brasilit, “**Catálogo de Produtos Brasilit**”. Disponível em: <http://www.brasilit.com.br/produtos/telha-topsteel-trapezoidal>. Acesso em 28/06/2017.

Brasil - Tesouro Nacional, “**Rentabilidade dos Títulos Públicos**”. Disponível em: <http://www.tesouro.fazenda.gov.br/tesouro-direto-precos-e-taxas-dos-titulos>. Acesso em 29/06/2017.

Canadian Solar, “**Datasheet CS6P-P Series**”. Disponível em:

<https://www.canadiansolar.com/solar-panels/standard.html>. Acesso em 26/06/2017.

CASCAES, B “**Avaliação do Potencial de Utilização de SFCR em uma Universidade no Sul do País**”. 2016. 21 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica, “**Tarifas e Custos dos Serviços**”. Disponível em:

http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/Tabela_de_Tarifas_e_Custos_de_Servicos_80641.pdf. Acesso em 27/06/2017.

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica, “**PIS e COFINS**”. Disponível em: http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/BTFormService_PisCofins.aspx. Acesso em 28/06/2017.

EPIA – European Photovoltaic Industry Association, “**Global Market Outlook for Solar Power / 2017 – 2021**”, 2017.

Gasparin, F., Krenzinger, A., “**Desempenho de um Sistema Fotovoltaico em Dez Cidades Brasileiras com Diferentes Orientações do Painel**”, 2016.

H. de Faria Jr., Trigo, F., Cavalcanti, J.; “**Review of Distributed Generation with Photovoltaic Grid Connected Systems in Brazil: Challenges and Prospects**”, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “**Série Histórica dos Acumulados no Ano – IPCA**”. Disponível em:

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpcipca/ipcainpc_201705_3.shtm. Acesso em 29/06/2017.

IDEAL – Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina, “**O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica – Edição 2016**”, 2016.

Pinho, J.T.; Galdino, M. A.; “**Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**”. Rio de Janeiro, 2014.

Possebon, R.; “**Avaliação do Desempenho de um Arranjo Fotovoltaico Para Uma Residência Típica no Sul do País**”. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016

Radiasol – Laboratório de Energia Solar, “**Software Radiasol2**”. Disponível em <http://www.solar.ufrgs.br/#radiasol>. Acesso em 07/07/2017.

Villalva e Gazoli, M. G., Gazoli, J. R. “**Energia Solar Fotovoltaica**”, Érica, 1ª edição, 2014