

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA  
DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA DE TECNOLOGIA  
LOCALIZADA NO CAMPUS DA UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE  
JOINVILLE.**

NATAN PINTO BITTENCOURT

JOINVILLE

2018

NATAN PINTO BITTENCOURT

VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE ENERGIA  
FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA DE TECNOLOGIA LOCALIZADA NO  
CAMPUS DA UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE.

Dissertação de mestrado apresentada como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia de Processos na  
Universidade da Região de Joinville.  
Orientadora Dra. Sandra Medeiros.

JOINVILLE

2018

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

Bittencourt, Natan Pinto

B624 Viabilidade para implantação de usina de energia fotovoltaica em uma empresa de tecnologia localizada no campus da Universidade da Região de Joinville/ Natan Pinto Bittencourt; orientadora Dra. Sandra Helena Westrupp Medeiros. – Joinville: UNIVILLE, 2018.

71 p.: il. tab. graf. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos – Universidade da Região de Joinville)

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia solar. 3. Geração de energia fotovoltaica. 4. Estudos de viabilidade. I. Medeiros, Sandra Helena Westrupp (orient.). II. Título.

CDD 333.794

Elaborada por Christiane de Viveiros Cardozo – CRB-14/778

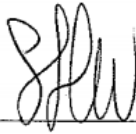
## Termo de Aprovação

### “Viabilidade para Implantação de Usina de Energia Fotovoltaica em uma Empresa de Tecnologia localizada no Campus da Universidade da Região de Joinville”

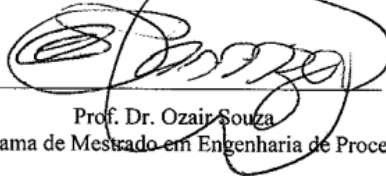
por

Natan Pinto Bittencourt

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado em Engenharia de Processos.



Prof. Dra. Sandra Helena Westrupp Medeiros  
Orientadora (UNIVILLE)

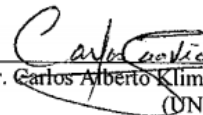


Prof. Dr. Ozair Souza  
Coordenador do Programa de Mestrado em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

**Banca Examinadora:**



Prof. Dra. Sandra Helena Westrupp Medeiros  
Orientadora (UNIVILLE)



Prof. Dr. Carlos Alberto Klimeck Gouvêa  
(UNISOCIESC)



Prof. Dra. Josiane Costa Riani  
(UNIVILLE)

Joinville, 26 de junho de 2018.

Dedicado a Deus, a minha esposa Jéssica Bittencourt, aos meus pais, Antônio e Edecir Bittencourt, e a todos familiares, pela compreensão e amor em todas as etapas da minha vida.

Dá instrução ao sábio, e ele se fará mais sábio; ensina o justo e ele aumentará em entendimento. O temor do Senhor é o princípio da sabedoria, e o conhecimento do Santo a prudência. Porque por meu intermédio se multiplicam os teus dias, e anos de vida se te aumentarão.

(Provérbios 9:9-11)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pelo folego de vida, por ter me amparado e me dado força para concluir essa jornada.

A minha esposa Jéssica Bittencourt, pelo amor, apoio, admiração, confiança e dedicação que teve em todos os momentos, pelas palavras de incentivo ministradas em tempos difíceis.

Aos meus pais Antonio e Edecir Bittencourt pelo esforço, apoio, confiança e dedicação que tiveram por mim em toda a minha vida, apoiando-me nos momentos difíceis com força, exemplo, confiança e amor, incentivando-me a persistir em meus sonhos e ajudando-me a alcançá-lo, mesmo quando isso significava abrir mão de seus próprios sonhos.

À minha irmã Lilian Kelly Bittencourt agradeço pelo carinho, apoio e pela torcida pela realização dos meus sonhos.

À minha orientadora Dra. Sandra W. Medeiros, primeiramente pela confiança e paciência durante esses anos, que mesmo em momentos difíceis orientou e apoiou meus propósitos.

À Prof<sup>a</sup> Dra. Ana Paula Testa Pezzin, pela ajuda, disponibilidade e palavras de incentivo em momentos difíceis durante essa caminhada.

Ao Rivelino Eyng, coordenador de patrimônio e infraestrutura da Univille, que prontamente me atendeu e ajudou com dados utilizados nesta dissertação.

## RESUMO

Com a evolução da humanidade as demandas por energia são cada vez maiores, um grande crescimento da necessidade por energia ocorreu durante a revolução industrial, no século XVIII, onde se optou pela utilização dos combustíveis fósseis não renováveis. Estes apresentam, poluição ambiental para extração, poluição atmosférica durante sua queima e alto custo de produção. Com a escassez desses, a busca por energias limpas, com baixo custo de produção, se tornou necessária. As energias renováveis são geradas por meio de processos e recursos naturais, dentre elas se destacam a hidráulica, biomassa, solar e eólica. A energia solar vem mostrando um grande potencial no Brasil, a implantação de usinas de geração de energia fotovoltaica vem apresentando crescimento, visto que os mapas solarimétricos globais indicam que os locais com menor incidência solar no Brasil (cerca de 3,5 kW/m<sup>2</sup>/dia) apresentam índices quatro vezes maior ao índice médio da Alemanha (cerca de 0,9 kW/m<sup>2</sup>/dia), segundo país, atualmente, com maior capacidade instalada de painéis fotovoltaicos (17,3% do mundo segundo EPIA, 2016). Neste contexto, o presente trabalho analisou a viabilidade de implantação de painéis fotovoltaicos em local com o menor índice de radiação solar do Brasil, ou seja, o litoral norte de Santa Catarina e, mais especificamente, o município de Joinville. Para isso, um sistema protótipo composto por placas fotovoltaicas instalado no campus da Universidade da Região de Joinville - Univille, foi utilizado para medir a capacidade de produção de energia da região. As medições desta produção de energia fotovoltaica foram realizadas durante seis meses consecutivos, de outubro de 2016 a abril de 2017. Os resultados obtidos foram comparados com os dados reais coletados na 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), publicado em julho de 2017. O sistema protótipo apresentou uma média mensal de geração de energia fotovoltaica de 6,56 kWh/m<sup>2</sup>, com uma incidência solar média de sete horas diárias (08:30 – 15:30). Assim, prevê-se um retorno de investimento entre 8,2 anos para os dados teóricos dos mapas, e 8,9 anos para dados reais coletados pelo sistema protótipo. O estudo pode ser usado como base de comparação em sistemas similares conectados à rede, que apresentem o maior consumo de energia em horários similares aos de maior incidência solar, de modo que não ocorreram grandes compensações de energia, o que poderia inviabilizar o projeto, pois o valor de venda do kW para a companhia de energia pode ser inferior ao valor de compra. Avaliando as condições desfavoráveis do local de estudo e o prazo do retorno do investimento, o fluxo de caixa apresentou um retorno financeiro de, aproximadamente, R\$ 700.000,00 após 25 anos que é a vida útil estimada do sistema fotovoltaico. Os resultados podem se apresentar mais atrativos se influenciados por incentivos fiscais ou linhas de financiamentos do (ProGD) comentadas no trabalho.

**Palavras Chave:** Placas fotovoltaicas, Energias renováveis, Viabilidade, Índi de radiação solar do Brasil.



## ABSTRACT

With the evolution of humanity demands for energy are increasing, a great growth in the need for energy occurred during the industrial revolution in the eighteenth century, where it was opted for the large-scale use of non-renewable fossil fuels. These present, environmental pollution for extraction, atmospheric pollution during its burning and high cost of production. With the shortage of these, the search for clean energy with low cost of production became necessary. Renewable energies are generated through processes and natural resources, among them hydro, biomass, solar and wind. Solar energy is showing great potential in Brazil, the deployment of photovoltaic power generation plants has been growing, since global solarimetric maps indicate that the places with the lowest solar incidence in Brazil present indexes four times higher than the average index of Germany, the second country, currently with greater installed capacity of photovoltaic panels. In this context, the present work analyzed the feasibility of implantation of photovoltaic panels in a place with the lowest solar radiation index in Brazil, that is, the northern coast of Santa Catarina and, more specifically, the city of Joinville. For this, a prototype system composed of photovoltaic panels installed on the campus of the University of the Region of Joinville - Univille, was used to measure the region's energy production capacity. Measurements of this photovoltaic energy production were carried out for six consecutive months, from October 2016 to April 2017. The results obtained were compared with the actual data collected in the 2nd Edition of the Brazilian Solar Energy Atlas of INPE, published in July 2017. The prototype system presented a monthly average of photovoltaic power generation of 6.56 kWh / m<sup>2</sup>, with an average solar incidence of seven hours daily (08:30 - 15:30). Thus, an investment return of 8.2 years is predicted for theoretical map data, and 8.9 years for actual data collected by the prototype system. The study can be used as a basis for comparison in similar systems connected to the grid, which present the highest energy consumption at times similar to those of higher solar incidence, so that there were no large energy compensations, which could make the project unfeasible, since the sales value of the kW to the energy company may be lower than the purchase value. Evaluating the unfavorable conditions of the study site and the term of the return on investment, the cash flow presented a financial return of approximately U\$ 190,000.00 after 25 years, which is the estimated useful life of the photovoltaic system. The results may be more attractive if influenced by tax incentives or the (ProGD) lines of financing discussed in the paper.

**Keywords:** Photovoltaic panels, Renewable energies, Viability, Solar radiation index of Brazil.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
2.1 A HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	17
2.1.1 Os módulos fotovoltaicos .....	18
2.1.2 O progresso da energia fotovoltaica .....	18
2.2 A PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR MUNDIAL.....	20
2.2.1 Dados globais e suas tendências .....	21
2.3 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	26
2.3.1 A produção de energia Solar no Brasil .....	29
2.3.1.1 O incentivo nacional através de publicações do MME .....	30
2.3.1.2 O incentivo regional com o PEE da ANEEL/Celesc.....	32
2.3.1.3 A geração distribuída e suas diretrizes .....	33
2.3.2 Custo painel fotovoltaico .....	34
2.4 CONCEITOS BÁSICOS.....	37
2.4.1 A estrutura das placas fotovoltaicas .....	37
2.4.2 Fabricação e desenvolvimento nacional das placas fotovoltaicas ...	39
2.4.3 Impactos ambientais da energia fotovoltaica .....	40
2.4.4 Vantagens e desvantagens das placas fotovoltaicas.....	40
2.4.5 Aplicações em Universidades .....	42
2.5 CONDIÇÃO CLIMÁTICA BRASILEIRA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR .....	43
2.5.1 A radiação solar das regiões brasileiras .....	44

<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>46</b>
3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR NO LOCAL DO ESTUDO .....	46
3.2 MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO SISTEMA PROTÓTIPO NO LOCAL DO ESTUDO .....	46
3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA PARA ATENDER À DEMANDA ENERGÉTICA DA EMPRESA.....	49
3.3.1 A coleta de dados de consumo de energia da empresa estudada ..	49
3.3.2 Dimensionamento pelos dados teóricos do mapa solarimétrico .....	50
3.3.3 Dimensionamento pelos dados reais coletados.....	53
3.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONOMICA.....	54
3.4.1 O investimento para implantação de sistemas fotovoltaicos.....	54
3.4.2 A composição da tarifa de energia.....	54
3.4.3 Indicadores financeiros .....	56
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
4.1 DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR NO LOCAL DO ESTUDO .....	57
4.2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DA PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR COLETADOS ATRAVÉS DO SISTEMA PROTÓTIPO INSTALADO NO LOCAL DE ESTUDO.....	58
4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA PARA ATENDER À DEMANDA ENERGÉTICA DA EMPRESA.....	60
4.3.1 Os dados coletados através medidor trifásico instalado na empresa de estudo	60
4.3.2 O dimensionamento pelos dados teóricos do mapa solarimétrico ...	61
4.3.3 O dimensionamento pelos dados reais coletados.....	62
4.4 RESULTADOS DA ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	64
4.4.1 Investimento para implantação do sistema fotovoltaico .....	64

4.4.2	Indicadores financeiros .....	66
	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>68</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Custo médio para implantação de módulos fotovoltaicos e energia eólica por região.....	22
FIGURA 2 – Evolução global da implantação anual de painéis fotovoltaicos. .	22
FIGURA 3 - Evolução global da implantação total de painéis fotovoltaicos. ....	23
FIGURA 4 – A evolução das instalações de painéis fotovoltaicos anual global 2010-2015. ....	24
FIGURA 5 – 10 países com maior capacidade instalada de painéis fotovoltaicos. ....	24
FIGURA 6 – Cenários para os principais países entre os anos de 2016 a 2020. ....	25
FIGURA 7 - Matriz energética brasileira em Nov/2016. ....	27
FIGURA 8 - Curva de aprendizagem dos painéis fotovoltaicos entre 1980 e 2015. ....	35
FIGURA 9 - Comparativo do custo da energia fotovoltaica x residencial e industrial.....	36
FIGURA 10 - Camadas de um módulo fotovoltaico.....	38
FIGURA 11 - Mapa brasileiro de irradiação solar global horizontal- média anual. ....	45
FIGURA 12 - Localização das placas instaladas atualmente no campus em latitude 26°15'08.6"S e longitude 48°51'34.6"W.....	46
FIGURA 13 - Painéis solares instalados no Bloco I da Univille (Joinville).....	47
FIGURA 14 – Fotos do sistema de aquisição de dados NI Lab (a); do detalhe do sistema de Aquisição NI Lab (b), e da lâmpada para consumir a carga das baterias .....	48
FIGURA 15 - Medidor de consumo elétrico trifásico. ....	50
FIGURA 16 - Composição do valor final da tarifa de energia elétrica. ....	55

FIGURA 17 - Mapa de radiação solar focalizado na região norte de Joinville.	57
FIGURA 18 - Média de horas de produção de energia solar. ....	58
FIGURA 19 - Potência horária média mensal em (Wh).....	59
FIGURA 20 - Fluxo de caixa e valor presente líquido.....	67

### **Lista de tabelas**

TABELA 1 - Matriz da capacidade instalada para geração de energia elétrica no Brasil. ....	26
TABELA 2 - Comparativo do desenvolvimento da matriz energética 15/16. ....	28
TABELA 3 - Previsão de Expansão da geração de energia no Brasil. ....	28
TABELA 4- Impactos gerados na implantação de usinas fotovoltaicas.....	41
TABELA 5 - Dados técnicos da placa apresentada nas propostas. ....	51
TABELA 6 - Resultados obtidos pelos dados teóricos do mapa solarimétrico.	62
TABELA 7 - Resultados obtidos pelos dados reais coletados no sistema protótipo. ....	63
TABELA 8 - Custo atual para implantação de sistemas fotovoltaicos por kWp.	64
TABELA 9 – Resultado do comparativo de investimento de implantação.....	65
TABELA 10 – Taxa de retorno <i>Pay Back</i> . ....	66

### **Lista de equações**

EQUAÇÃO 1 - Equação para determinar a taxa média mensal de produção de energia em kWh/m <sup>2</sup> . ....	50
EQUAÇÃO 2 – Determinação da capacidade de produção de energia da placa estudada.....	52
EQUAÇÃO 3 – Determinação da taxa teórica de produção de energia da região pela capacidade de produção de energia da placa. ....	52
EQUAÇÃO 4 - Determinação do tamanho do gerador fotovoltaico.....	52
EQUAÇÃO 5 – Determinação da taxa real média de produção mensal pela capacidade da placa. ....	53
EQUAÇÃO 6 - Determinação do tamanho do gerador fotovoltaico.....	53
EQUAÇÃO 7 - Equação para determinação do retorno do investimento.....	56
EQUAÇÃO 8 - Equação para determinação da economia anual. ....	56

## INTRODUÇÃO

A necessidade de energia pelo ser humano teve início no neolítico, cerca de 7 mil anos antes de cristo, onde usando da fricção entre pedras o homem produzia faísca para fazer fogo. Gradativamente, o ser humano foi desenvolvendo diversas atividades que necessitavam, cada vez mais, de produção de energia, chegando ao primeiro apogeu com o advento da revolução industrial, no século XVIII.

Com a descoberta da eletricidade, no final do século XIX, surgiram demandas referentes às necessidades de conforto da sociedade, onde se optou pela utilização em grande escala dos combustíveis fósseis, principalmente, o petróleo. Em termos de comparação, tem-se que, na pré-história, um homem nômade consumia em torno de 5.000 kcal/dia, enquanto que, no final da revolução industrial, esse valor aumentou para 77.000 kcal/dia. Isso mostra que a humanidade vem aumentando seu consumo de energia elétrica, remetendo à necessidade de se buscar novas fontes de geração de energia para manter o desenvolvimento da sociedade (SILVA, 2012).

As fontes de energia são, basicamente, divididas em dois tipos, as renováveis e as não renováveis. Na sociedade atual, as fontes energéticas renováveis são menos exploradas ao se comparar com as não renováveis, visto ainda serem as mais difundidas e, além de não gerar problemas ambientais como, por exemplo, a degradação ambiental, a poluição atmosférica e o esgotamento de reservas naturais.

As energias renováveis provêm de fontes inesgotáveis e são obtidas na natureza, principalmente, através do Sol, do vento, de recursos hidráulicos (que fazem parte do ciclo da água) e de fontes geotermiais.

A energia proveniente do Sol pode ser aproveitada pela sociedade para suprir suas demandas de energia elétrica. De toda energia solar que chega à Terra, aproximadamente, metade atinge a superfície, totalizando cerca de 885 milhões de TWh/ano, ou seja, mais de 8.000 vezes o consumo final total da

energia mundial em 2013 (IEA, 2016). Esses valores conferem à fonte solar o maior potencial técnico de aproveitamento frente a outras fontes renováveis.

A distribuição desse potencial energético, que ocorre através da radiação solar, varia perante as diferentes condições climáticas do planeta. No Brasil, a menor radiação global é de 4,25 kWh/m<sup>2</sup> (no litoral norte de Santa Catarina) e a maior é de 6,5 kWh/m<sup>2</sup> (norte da Bahia) (INPE, 2017).

Mesmo o Brasil apresentando excelentes índices de irradiação solar, uma das principais dificuldades para implantação de uma usina de energia solar é o seu alto custo, sendo, devido a essa questão, importante avaliar a viabilidade econômica de sua utilização perante a capacidade real de geração de energia da região bem como em relação ao aspecto do cenário nacional das últimas décadas.

Assim, considerando este cenário, o presente trabalho consistiu em estudar a viabilidade técnica e econômica de implantação de uma usina fotovoltaica em uma empresa em Joinville, região esta que possui, segundo indicadores nacionais, o menor índice de radiação solar.

## OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnica e econômica de implantação de uma usina de geração de energia fotovoltaica em uma empresa localizada no campus da Universidade da Região de Joinville (Univille).

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar dados de radiação solar na região de estudo.
- Medir a produção de energia solar no local de estudo.
- Dimensionar um sistema de geração de energia fotovoltaica para atender à demanda do local de estudo.
- Analisar a viabilidade econômica do projeto perante a capacidade de geração de energia fotovoltaica da região.



## REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 A HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O efeito fotovoltaico foi observado, pela primeira vez, em 1839, por Edmond Becquerel que verificou que placas metálicas de platina ou prata, mergulhadas em um eletrólito, produzem uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz. A primeira célula fotovoltaica foi produzida em 1953 por Calvin Fuller. Depois de anos de estudo dessa célula, o projeto de Fuller foi apresentado na reunião anual da *National Academy of Sciences*, em Washington (EUA) e, logo após, foi anunciada em uma conferência à imprensa como uma célula com eficiência de 6%.

Segundo Green (2005), o primeiro módulo de silício projetado para uso exterior foi fabricado em 1955 pela Bell Laboratories, com o objetivo de investigar o potencial da tecnologia para alimentar sistemas de telecomunicações. Este esforço foi prematuro, pois as naves espaciais tiveram a principal aplicação para a energia fotovoltaica nos 20 anos seguintes. O crescente interesse em aplicações terrestres levou a Sharp, Philips e Solar Power, no início da década de 1970, a investirem na produção de placas solares.

Os subsequentes embargos da exploração de petróleo, tornou o uso de energia fotovoltaica viável em grandes sistemas de telecomunicações profissionais o que estimulou o rápido desenvolvimento de novas tecnologias na década de 1970, fazendo com que os primeiros módulos modernos fossem fabricados em 1976. Todos os fabricantes convergiram para um modelo de módulo comum, que desde então, se provou extremamente robusto e confiável no campo (GREEN, 2005).

A partir da primeira década dos anos 2000, a indústria fotovoltaica consolidou-se nos mercados desenvolvidos pelo aumento da demanda e da escala de produção, que, aliadas a desenvolvimentos tecnológicos específicos, viabilizaram a redução de custos e, conseqüentemente, uma maior abrangência

no mercado. Este desenvolvimento tecnológico sucedeu-se, principalmente, na Alemanha, Estados Unidos da América (EUA) e Japão, com participação secundária da Itália, da Espanha e da Noruega (SICILIANO e FUCHS, 2013).

### 2.1.1 Os módulos fotovoltaicos

Nos EUA, a crise política, no início dos anos 70, impulsionou a criação de diversas *startups*, algumas delas visando o desenvolvimento de módulos fotovoltaicos de menor custo. A primeira *startup* a ter lançado o módulo fotovoltaico foi a Power Corporation<sup>4</sup>, estabelecido em abril de 1973. O primeiro produto da empresa era um módulo de cinco células de 5,5 cm de diâmetro montadas numa placa de circuito impresso reforçada com fibra de vidro e cobertas por borracha de silicone. Este módulo foi testado e gerava em torno de 1,25 a 1,5W (eficiência 5-6%). O primeiro grande cliente foi a Tideland Signal Corporation, que comprou um sistema que utilizava 80 desses módulos, por um custo médio de U\$ 20/W (em dólares de 1980) (GREEN, 2005).

### 2.1.2 O progresso da energia fotovoltaica

A era moderna de desenvolvimento de módulos geradores de energia fotovoltaica começou nos EUA por meio dos Blocos (empresa estatal) em meados da década de 1970, com o crescente interesse no uso de energia fotovoltaica para as telecomunicações em áreas remotas. Isso ocasionou um grande crescimento para a indústria emergente que precisou investir em desenvolvimento para melhorar o desempenho dos módulos no quesito eficiência e confiabilidade. O Bloco 1 desenvolveu em meados de 1975-1976 módulos para a geração de 54 kW, uma quantidade considerável para o tempo, com eficiência dos módulos entre 4,8 a 6,5%, com um custo médio de U\$ 20-39/W (dólares de 1980).

A Philips lançou em 1976 o BPX 47A, que foi um projeto conservador, onde 34 células de 5 a 7 cm de diâmetro foram encapsuladas em borracha de silicone entre duas folhas de vidro, com uma correia de vedação de borracha e um revestimento anodizado. As células utilizaram metalização celular evaporada de células espaciais Ti / Pd / Ag, com os 11W de potência nominal correspondente e uma eficiência de 6,4%. O Bloco 2 desenvolveu em 1977 novos módulos para geração de 127 kW e colocaram mais ênfase na durabilidade do módulo. Na entrega do projeto foi fornecido um conjunto de especificações de ensaios ambientais para os módulos, ciclagem de temperatura, umidade, carga cíclica, mais torção e critérios de resistência à terra elétrica, que foram os precursores de requisitos de teste de qualificação moderna. Nesta aquisição quatro fabricantes forneceram módulos com eficiência superior, para a faixa de 6,0 a 7,4%, com o custo mais atrativo em torno de US\$ 17-24 (dólares de 1980).

Em 1982, a ARCO, líder do mercado durante sua década, estava oferecendo o que agora parecia ser um mercado muito conservador 5 anos de garantia em seu produto comercial. Naquela época, foi lançado um sistema de 10 kW que começou a funcionar em maio de 1982. O sistema foi avaliado após mais de 20 anos de serviço de campo, com os seguintes resultados: cerca de 3% da degradação inicial da produção do módulo no primeiro ano de operação e uma degradação adicional de 3% nos 20 anos seguintes. Cerca de 22% dos módulos apresentaram células rachadas, atribuídas ao aquecimento do ponto quente, a maioria mostrou sinais de perda de cor e após o vigésimo ano alguns módulos apresentaram delaminação da camada. Este acompanhamento mostrou a evolução no desenvolvimento da confiabilidade e robustez do sistema fotovoltaico (GREEN, 2005).

## 2.2 A PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR MUNDIAL

A implantação de energia solar fotovoltaica cresceu em taxas sem precedentes desde o início dos anos 2000. A potência global instalada atingiu 222 (GW) no final de 2015 e espera-se que aumente ainda mais, ou seja, próximo de 4.500 GW até 2050. São esperadas altas taxas de implantação na China (1.731 GW), Índia (600 GW), Estados Unidos (600 GW), Japão (350 GW) e Alemanha (110 GW) (IRENA, 2016).

No ano de 2015, mostrou-se que a geração de energia solar tem tido um crescimento exponencial, na Alemanha e na Europa como um todo, mais intenso nos últimos 3 anos. Antes deste ano, os principais mercados eram a China, Japão, Estados Unidos, sendo que a China e o Japão sozinhos eram responsáveis por mais de 50% da capacidade instalada global. No fim de 2015, a China assumiu a posição da Alemanha, com a maior capacidade instalada da história, atingindo 43 GW (EPIA, 2017).

A Europa teve um crescimento de 15% na sua geração de energia, em 2015, valor considerável devido à autorização para utilização da tecnologia de painéis fotovoltaicos *on grid* (EPIA, 2016).

Já em 2016, o mercado global de energia solar cresceu 49%. No primeiro trimestre, a China instalou, sozinha, mais de 7 GW, o que equivale a 14% do total de 50,6 GW que foram encomendados em 2015, enquanto a Europa ultrapassou a marca de 100 GW de potência instalada (EPIA, 2017).

A Conferência do Clima de Paris (COP21), que ocorreu em dezembro de 2015, não foi apenas um marco histórico na luta contra as alterações climáticas, mas, também, reconheceu o papel crucial que a energia solar desempenhará para poder mudar o sistema de energia mundial e manter o aumento da temperatura média da terra abaixo de 2 °C e, se possível, abaixo de 1,5 °C. A conferência teve, também, como resultado, o lançamento da Aliança Solar Internacional, onde mais de 120 países se inscreveram para fazer da energia solar a sua fonte principal de energia. Também na ocasião da COP21, a

organização regional de associações solares nacionais, unidas sob a liderança da Solar Power Europa, fundou o Conselho Global Solar (GSC), que tem a sua primeira sede na China, o seu secretariado nos EUA e é, atualmente, presidido pela Europa (EPIA, 2017).

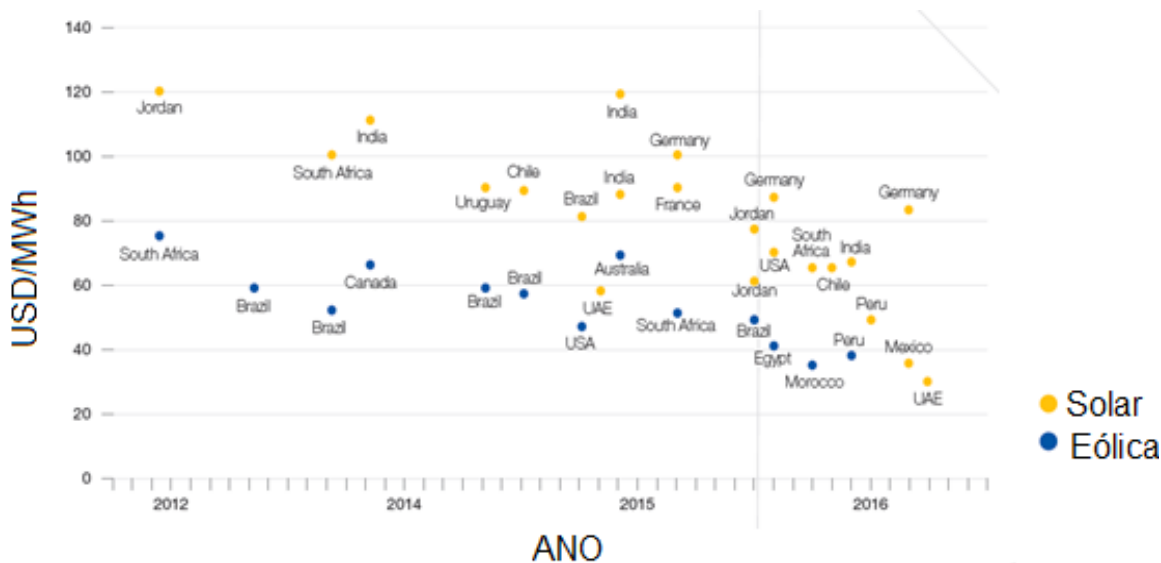
Após várias propostas muito competitivas no ano de 2014 e preços recordes para painéis fotovoltaicos, o contrato mais notável foi atribuído para um projeto de 100 MW em Dubai (Emirados Árabes Unidos), no início de 2015, a um custo de U\$ 58,4 / MWh. Entretanto, vários lances inferiores foram concedidos em diferentes regiões e países, sem incentivos financeiros, por exemplo, os U\$ 48/MWh no Peru, os U\$ 36/MWh no México, porém o preço mais competitivo foi o de U\$ 29,9/MWh oferecido na terceira rodada do Dubai concurso, preço oferecido para um projeto sem predecessores de 800 MW (EPIA, 2016).

Um sinal de que os preços da implantação da energia solar caíram rapidamente foi de outro consórcio que ganhou os 200 MW em Dubai, com uma oferta de U\$ 58,4 / MWh aprovada em 2015 no projeto de 100 MW, para um valor de U\$ 39,5 / MWh, uma redução de 30% em um período menor a 1,5 anos (EPIA, 2016).

### 2.2.1 Dados globais e suas tendências

O gráfico da Figura 1 apresenta o custo médio para implantação de painéis fotovoltaicos por região, sendo que o país que conseguiu desenvolver painéis fotovoltaicos ao menor custo foi os EUA, seguidos pelo México e Peru. Esse resultado se mostra devido ao incentivo governamental por meio de financiamentos e redução de impostos, o que impulsiona os mercados de fabricação de placas solares e conseqüentemente, gera maior demanda, que resulta em menores custos de produção.

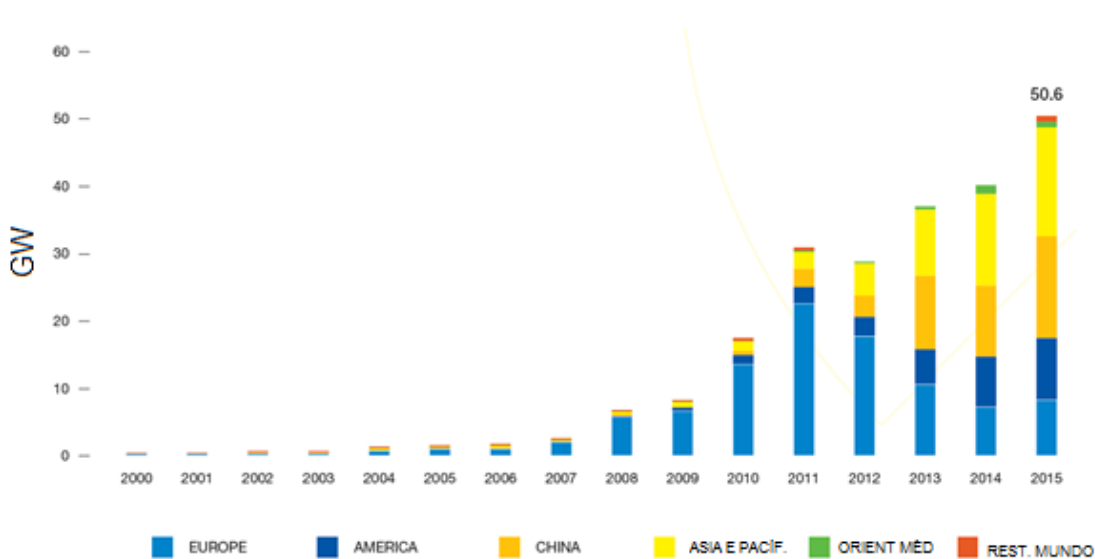
FIGURA 1 - Custo médio para implantação de módulos fotovoltaicos e energia eólica por região.



Fonte: Adaptado de EPIA (2016).

Na Figura 2, apresenta-se um indicador de crescimento anual da energia fotovoltaica no mundo.

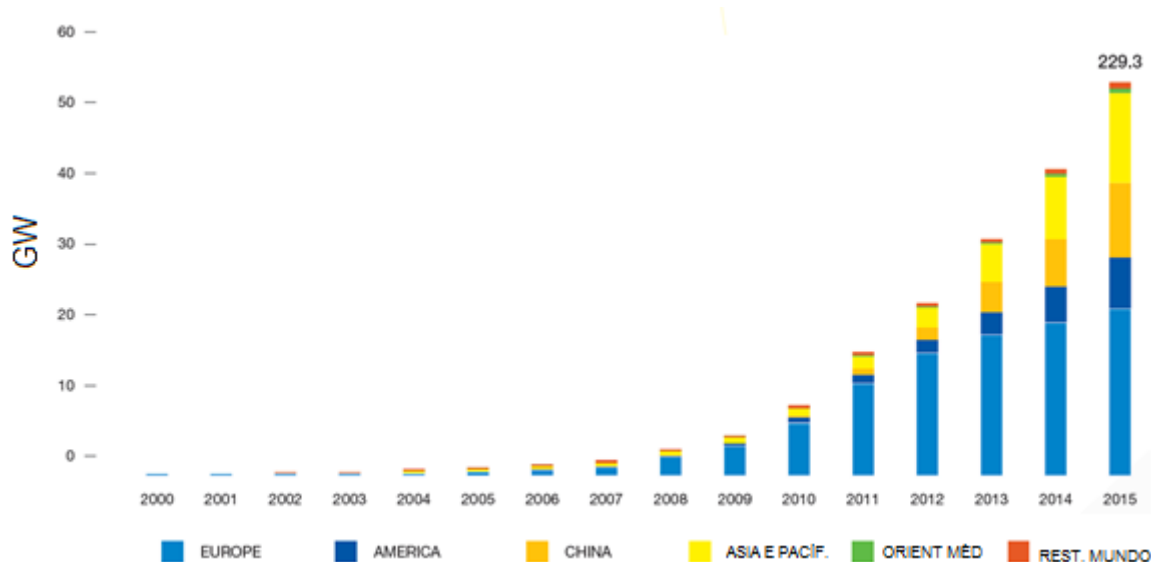
FIGURA 2 – Evolução global da implantação anual de painéis fotovoltaicos.



Fonte: Adaptado de EPIA (2016).

Já na Figura 3, apresenta-se um indicador de crescimento acumulado da energia fotovoltaica no mundo.

FIGURA 3 - Evolução global da implantação total de painéis fotovoltaicos.



Fonte: Adaptado de EPIA (2016).

Na Figura 3, pode-se observar, ainda, um crescimento exponencial a partir de 2008 na implantação de painéis fotovoltaicos, bem como uma tendência global na aplicação de módulos fotovoltaicos.

Na Figura 4, apresenta-se o grande crescimento, em percentual, da Ásia e Pacífico; destaca-se, também, a China e o Japão, que apresentaram uma elevada taxa de implantação de 2013 a 2015.

A Figura 5 se constitui em um gráfico que relaciona a divisão em percentagem de capacidade instalada dos 10 países que mais geram energia fotovoltaica.

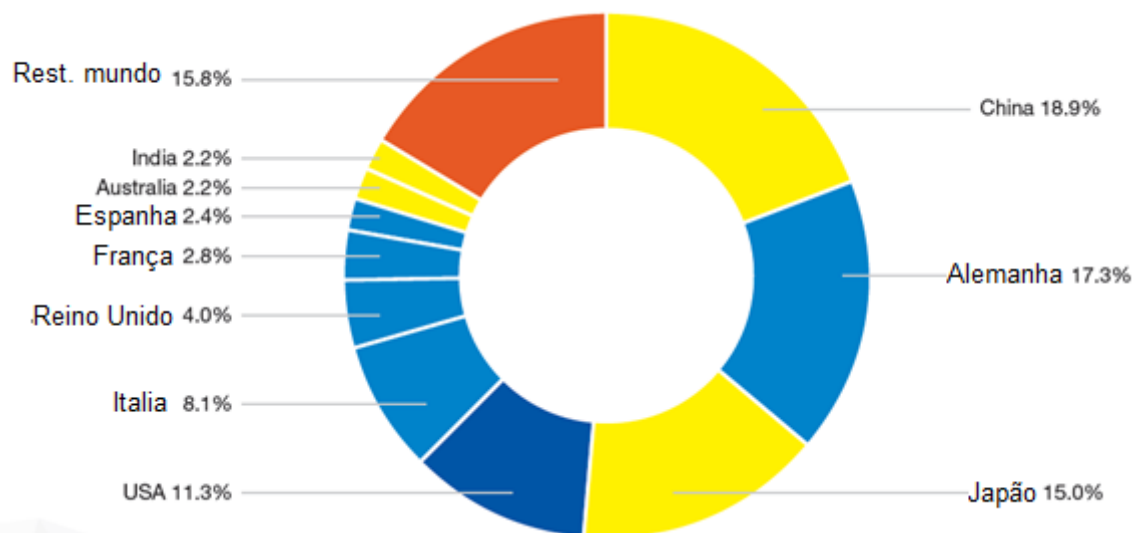
Já na Figura 6, pode-se observar a perspectiva de crescimento do mercado global em relação à energia fotovoltaica para os anos de 2016 a 2020.

FIGURA 4 – A evolução das instalações de painéis fotovoltaicos anual global 2010-2015.



Fonte: Adaptado de EPIA (2016).

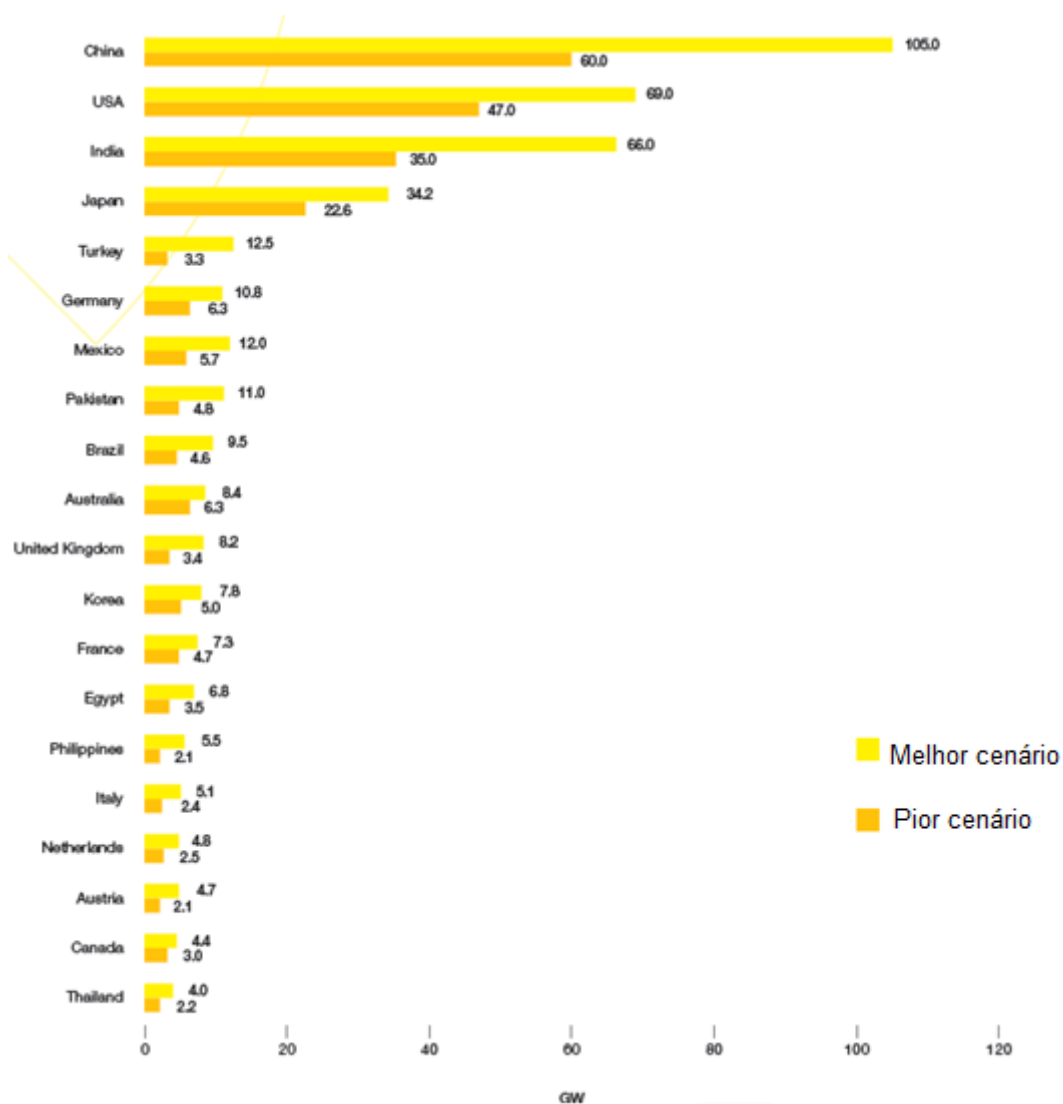
FIGURA 5 – 10 países com maior capacidade instalada de painéis fotovoltaicos.



Fonte: Adaptado de EPIA (2016).



FIGURA 6 – Cenários para os principais países entre os anos de 2016 a 2020.



Fonte: Adaptado de EPIA (2016).

Todos os gráficos (Figuras 1 a 5) sinalizam um crescimento da matriz energética fotovoltaica no mundo, estes provando que existe uma tendência mundial com a busca por energias renováveis. Essa consequentemente, está também presente no mercado nacional, a conversão tecnológica para o desenvolvimento da energia solar.

## 2.3 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O Brasil é um país que possui diversas matrizes energéticas, conta com abundantes recursos naturais, sendo o principal deles a água que é responsável por 63% da produção de energia elétrica nacional (TOLMASQUIN, 2016).

A energia solar está segundo plano na matriz energética brasileira devido ao alto custo de fabricação. Porém, os indicadores mundiais mostram a tendência de diminuição do custo de produção e sinalizam um crescimento no desenvolvimento dessa matriz energética no Brasil.

Atualmente, a produção de energia solar fotovoltaica no Brasil representa 0,0149% da capacidade total de produção instalada. A Tabela 1 apresenta a capacidade instalada das matrizes energéticas no Brasil.

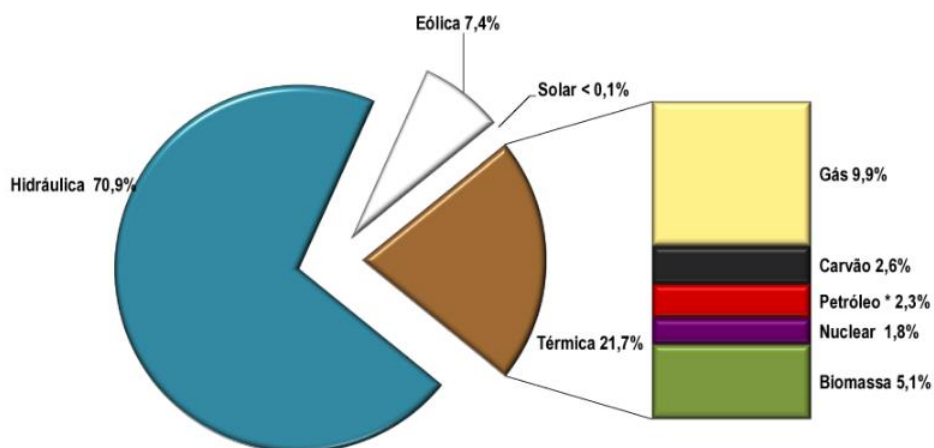
TABELA 1 - Matriz da capacidade instalada para geração de energia elétrica no Brasil.

Fonte	Dez/2015	Dez/2016			Evolução da Capacidade Instalada Dez/2016 - Dez/2015
	Capacidade Instalada (MW)	Nº Usinas	Capacidade Instalada (MW)	% Capacidade Instalada	
<b>Hidráulica</b>	<b>91.650</b>	<b>1.268</b>	<b>96.929</b>	<b>64,4%</b>	<b>5,8%</b>
UHE	86.366	220	91.499	60,8%	5,9%
PCH + CGH	5.284	1.039	5.426	3,6%	2,7%
CGH GD	-	9	4	<0,1%	-
<b>Térmica</b>	<b>41.554</b>	<b>3.024</b>	<b>43.276</b>	<b>28,8%</b>	<b>4,1%</b>
Gás Natural	12.428	157	13.005	8,6%	4,6%
Biomassa	13.257	534	14.187	9,4%	7,0%
Petróleo	10.114	2.247	10.320	6,9%	2,0%
Carvão	3.612	23	3.613	2,4%	0,0%
Nuclear	1.990	2	1.990	1,3%	0,0%
Outros	153	30	150	0,1%	-1,8%
Térmica GD	-	31	11	<0,1%	-
<b>Eólica</b>	<b>7.633</b>	<b>458</b>	<b>10.124</b>	<b>6,7%</b>	<b>32,6%</b>
Eólica	7.633	413	10.124	6,7%	32,6%
Eólica GD	-	45	0,166	<0,1%	-
<b>Solar</b>	<b>21</b>	<b>7.437</b>	<b>80</b>	<b>&lt;0,1%</b>	<b>276,7%</b>
Solar - Fotovoltaica	21	44	24	<0,1%	11,4%
Solar GD	-	7.393	57	<0,1%	-
<b>Capacidade Total - Brasil</b>	<b>140.858</b>	<b>12.187</b>	<b>150.410</b>	<b>100,0%</b>	<b>6,8%</b>

Fonte: MME (2017).

A Figura 7 apresenta a matriz energética brasileira, que atualmente tem sua maior geração realizada através de hidrelétricas.

FIGURA 7 - Matriz energética brasileira em Nov/2016.



Fonte: MME (2017).

Os dados apresentados nas Figuras 6 e 7 em conjunto com os representados na Tabela 2, sinalizam uma tendência no crescimento da demanda energética brasileira. O Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME, 2017) aponta que há um crescimento na busca por energia limpa, no acumulado de 12 meses, enquanto a energia gerada por recursos térmicos caiu 23% e a energia solar cresceu 66,5%.

A previsão de crescimento do MME para a demanda energética do Brasil está apontada na tabela 3, ela representa um crescimento de 90% para 2017, comparando os 31.585 GWh (276.684 MW ano) produzidos em 2016, e um crescimento ainda maior para 2018 que chega 380% comparando ainda com 2016.

TABELA 2 - Comparativo do desenvolvimento da matriz energética 2015 / 2016.

Fonte	Valor mensal			Acumulado 12 meses		
	Nov/16 (GWh)	Evolução mensal (Nov/16 / Out/16)	Evolução anual (Nov/16 / Nov/15)	Dez/14-Nov/15 (GWh)	Dez/15-Nov/16 (GWh)	Evolução
<b>Hidráulica</b>	<b>31.467</b>	<b>0,4%</b>	<b>1,1%</b>	<b>373.185</b>	<b>397.711</b>	<b>6,6%</b>
<b>Térmica</b>	<b>9.440</b>	<b>-8,1%</b>	<b>-17,0%</b>	<b>140.011</b>	<b>107.846</b>	<b>-23,0%</b>
Gás	4.379	-0,2%	-12,8%	64.067	44.268	-30,9%
Carvão	1.160	28,8%	-4,8%	15.893	14.087	-11,4%
Petróleo *	839	2,8%	-50,2%	23.663	10.494	-55,7%
Nuclear	795	-42,5%	-39,2%	13.554	15.151	11,8%
Biomassa	2.267	-18,6%	5,6%	22.834	23.846	4,4%
<b>Eólica</b>	<b>3.287</b>	<b>-8,7%</b>	<b>60,0%</b>	<b>20.507</b>	<b>31.585</b>	<b>54,0%</b>
<b>Solar</b>	<b>2,53</b>	<b>-7,8%</b>	<b>-</b>	<b>17,42</b>	<b>29,01</b>	<b>66,5%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>44.197</b>	<b>-2,2%</b>	<b>-0,8%</b>	<b>533.720</b>	<b>537.170</b>	<b>0,6%</b>

Fonte: MME (2017).

TABELA 3 - Previsão de Expansão da geração de energia no Brasil.

Fonte	Previsão ACR 2017 (MW)	Previsão ACR 2018 (MW)
<b>Eólica</b>	<b>1.758,100</b>	<b>3.061,650</b>
<b>Hidráulica</b>	<b>3.318,560</b>	<b>4.069,650</b>
PCH + CGH	203,810	138,550
UHE	3.114,750	3.931,100
<b>Solar</b>	<b>526,000</b>	<b>1.320,540</b>
Fotovoltaica	526,000	1.320,540
<b>Térmica</b>	<b>661,750</b>	<b>0,000</b>
Biomassa	71,000	0,000
Carvão	0,000	0,000
Gás Natural	590,750	0,000
Nuclear	0,000	0,000
Outros	0,000	0,000
Petróleo	0,000	0,000
<b>TOTAL</b>	<b>6.264,410</b>	<b>8.451,840</b>

Fonte: MME (2017).

### 2.3.1 A produção de energia Solar no Brasil

Segundo Tolmasquim (2016), a geração de energia solar fotovoltaica foi iniciada no final da década de 1990 para projetos de eletrificação rural, porém essa matriz energética começou a ganhar abrangência nacional nos últimos anos, após a regulamentação da geração distribuída conectada à rede.

Em 1994, o Governo Federal brasileiro, através do MME, criou o (PRODEEM) Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, que tem como objetivo promover a eletrificação rural, principalmente via sistemas fotovoltaicos. Em 2003, foi instituído o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Programa Luz para Todos (LpT), que impulsionou a instalação de energia fotovoltaica ao redor do Brasil.

Há uma estimativa do MME para que a geração de energia elétrica distribuída (produzido pelos próprios consumidores) tenha um aumento de 7% em média ao ano até 2024. Em 2014, a parcela da geração distribuída representou cerca de 10% do consumo total de eletricidade do país, ou seja, 52 TWh, e passará para quase 13% ao até 2024, chegando a 100 TWh, (MME, 2016).

O mecanismo de produção distribuída é uma alternativa de grande eficiência e que atualmente conta com diversos incentivos do governo para que se amplie. O montante da geração distribuída de 100 TWh em 2024 é equivalente ao recorde da geração de Itaipu, de 98,6 TWh, verificado em 2013 (MME, 2016).

Segundo publicações no Ministério de Minas e Energia em meados de 2016, a geração de energia elétrica fotovoltaica alcançou 7.000 MW no Brasil até 2024, contando apenas com usinas de produção de energia solar não apontando a geração distribuída. A informação foi apresentada no Plano Decenal de Energia Elétrica 2024 (PDE 2024), a potência instalada de eletricidade a partir do sol representará quase 4% da potência total brasileira de 2024.

### 2.3.1.1 O incentivo nacional através de publicações do MME

Atualmente o governo tem trabalhado para buscar diversos mecanismos de incentivo a geração de energia mais limpa, O MME lançou, em 2015, o Programa de Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD). O objetivo é estimular a geração de energia pelos próprios consumidores (residencial, comercial, industrial e rural) com base em fontes renováveis, em especial a fotovoltaica. Há potencial para a instalação de 23,5 GW até 2030.

Um dos mais importantes documentos do planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável do país é a Agenda 21 Brasileira, descendente da Agenda 21 Global, manual conhecido por adeptos da sustentabilidade e elaborado a partir de consulta ao povo brasileiro (MME, 2016).

O Ministério de Minas e Energia trabalha para criar mecanismos de estímulo à geração de energia elétrica próxima aos centros de consumo, como forma de complementar a energia distribuída atualmente no Sistema Interligado Nacional (SIN) e despachada de modo centralizado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). A presença dessas novas fontes, além de aumentar a oferta de energia no sistema, aumentará a confiabilidade do atendimento ao consumidor final.

São diversas as iniciativas para agregar geração de energia. Uma delas foi a publicação da Portaria MME nº 44, de 10 de março de 2015, que disciplina a realização de chamadas públicas, pelas distribuidoras, para a contratação da geração de energia por parte de grandes consumidores que tenham geradores próprios, como shopping centers. Está em estudo, ainda, a realização de leilão para a contratação de geração também próxima aos centros de carga, especificada para atender o horário de ponta do sistema.

Um dos objetivos do Ministério é reduzir o custo do investimento para a geração pelos consumidores finais. O MME defende que sejam debatidas, no âmbito do governo federal, outras medidas que estimulem a geração de energia que tiver como origem o consumidor, como a discussão sobre estímulos

tributários adicionais para a geração de energia nesses casos, como, por exemplo, a desoneração de PIS e da Cofins.

O ProGD trabalha ainda na criação de políticas e ações de fomento à expansão da Geração Distribuída, tais como:

☐ Isenção de ICMS: um dos principais pilares para a expansão da energia distribuída é a isenção da cobrança de ICMS sobre a energia inserida pelo consumidor na rede da distribuidora. O consumidor será tributado com o ICMS apenas sobre o saldo da energia que ele receber da distribuidora e não conseguir compensar. Esta isenção foi regulamentada pelo Convênio ICMS no 16, de 22 de abril de 2015, do Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ, com adesão inicial dos Estados de São Paulo, Goiás e Pernambuco, e posterior de Rio Grande do Norte, Ceará e Tocantins, incluídos pelos Convênios nº 44 (3/6/2015) e nº 52 (30/6/2015).

☐ Isenção de PIS/Cofins: além de não pagar ICMS, também ficará isenta do PIS/Pasep e da Cofins a energia injetada pelo consumidor na rede elétrica e não compensada. A isenção foi formalizada pela Lei no 13.169, de 6 de outubro de 2015, convertida da Medida Provisória 675.

☐ Redução do Imposto de Importação: até 31 de dezembro de 2016, está reduzida de 14% para 2% a alíquota do Imposto de Importação incidente sobre bens de capital destinados à produção de equipamentos de geração solar fotovoltaica (Resolução CAMEX no 64, de 22 de julho de 2015, para ex-tarifários classificados no código 8428.20.90). Provisoriamente, até 31 de dezembro de 2015, foi reduzida de 14% para 2% o tributo incidente sobre importação de módulos fotovoltaicos (Resolução nº 29, de 29/04/2015).

☐ Apoio do BNDES: o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) foi autorizado pela Lei nº 13.203, de 8 de dezembro de 2015, a apoiar com recursos a taxas diferenciadas projetos de eficiência energética e de geração distribuída por fontes renováveis em escolas e hospitais públicos.

Com esse conjunto de ações de incentivo nacional, o MME espera mudar nos próximos anos o cenário da geração de energia solar das grandes cidades brasileiras. A expectativa é que até 2024, cerca de 700 mil consumidores

residenciais e comerciais deverão ter instalado em seus telhados e coberturas painéis fotovoltaicos (MME, 2016).

#### 2.3.1.2 O incentivo regional com o PEE da ANEEL/Celesc

Em 2017 a Celesc (Companhia de Energia elétrica de Santa Catarina) lançou a primeira etapa do Projeto Bônus Eficiente Linha Fotovoltaica, uma parceria entre o Programa de Eficiência Energética ANEEL/Celesc com a ENGIE, inédito no Brasil, o projeto vai acelerar a popularização da microgeração fotovoltaica no País ao investir recursos de R\$11,3 milhões do Programa de Eficiência Energética ANEEL/Celesc.

Os consumidores aprovados no cadastro terão acesso ao sistema fotovoltaico de 2,6 kWp (Quilowatt pico - produção de energia solar considerando a condição ideal de sol pleno), pagando 40% do custo total praticado no mercado, ou seja, em torno de R\$ 6.700,00. O benefício principal para o consumidor será a economia na conta de energia elétrica que, após a instalação dos painéis fotovoltaicos, pode chegar a R\$ 2 mil por ano. Com isso, o investimento individual no sistema será recuperado em pouco mais de três anos. Em condições ideais, os sistemas oferecidos pelo projeto podem gerar aproximadamente 280 kWh/mês. Além dos benefícios para quem adquirir os sistemas fotovoltaicos, o projeto Bônus Fotovoltaico promove a geração distribuída, o baixo impacto ambiental e a redução no carregamento das redes, além da minimização das perdas de energia e da contribuição para a diversificação da matriz energética brasileira. Atualmente, em SC, a potência instalada em Geração Distribuída é de 5.842,44 kW. O projeto será responsável pela instalação de outros 2.600,00 kW, cerca de metade do que é gerado hoje, colocando o estado na vanguarda desse tipo de geração.



### 2.3.1.3 A geração distribuída e suas diretrizes

A variabilidade extrema da geração fotovoltaica é uma das dificuldades técnicas mais significativas para inserção em larga escala da microgeração solar na rede de distribuição de baixa tensão. Isso se deve ao fato de essas redes, em geral, possuírem recursos limitados de controle de tensão e não serem originalmente dimensionadas para inserção de grandes montantes de geração intermitente. Quando alocados no sistema de distribuição, os microgeradores proporcionam o efeito benéfico de aliviar o carregamento dos circuitos da rede. Contudo, quando adicionadas em grande escala, essas novas fontes de energia podem alterar a característica natural de operação da rede tornando-a predominantemente exportadora de energia. Essa alteração de comportamento da rede, que também está influenciada pela intermitência da geração, exige uma atuação mais frequente dos dispositivos de controle de tensão da rede, diminuindo sua vida útil. Adicionalmente, essas novas fontes contribuem para aumentar a magnitude das correntes de curto-circuito na rede, podendo impactar no aumento dos custos com equipamentos de proteção (MIT, 2015).

No entanto, os efeitos da geração distribuída devem ser avaliados particularmente. Isso porque em alguns casos, especialmente em regiões comerciais e industriais, onde há boa coincidência entre radiação solar e demanda energética da rede, os sistemas fotovoltaicos são capazes de oferecer benefícios aos sistemas de distribuição ao aliviar o carregamento da rede, reduzindo picos de demanda, perdas de potência e melhora do perfil de tensão (BRAUN, 2010).

Devido a preocupação com o crescimento da demanda energética do país o governo tem lançado diversos incentivos a microgeração. Em 2012, essa modalidade de geração foi regulamentada pela ANEEL, através da Resolução Normativa nº 482/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e o sistema de compensação de energia elétrica distribuída, que permite que sistemas de geração de eletricidade provindos de fontes renováveis possam ser

ligados à rede elétrica suprindo a demanda local e injetando a energia excedente na rede, gerando créditos de energia. Esse é um marco regulatório, que beneficia a população e obriga as concessionárias a se adaptarem à energia de geração distribuída com fontes alternativas. Até então, a energia fotovoltaica era consumida ou armazenada diretamente em baterias, ao armazenar a energia, as baterias só conseguem devolver 75% do que lhes foi concebido; além disso, por si, as baterias são um empecilho para a energia limpa, devido ao seu custo e ao impacto ambiental provocado em sua fabricação e descarte.

Como em qualquer processo de difusão de inovações, logo após a regulamentação, houve pouca adoção dos sistemas de geração própria de energia, mas o número de adotantes vem crescendo de modo sustentado, à medida que a população toma conhecimento dessa possibilidade e que se aumenta a viabilidade econômica do investimento. Ao final de 2015, havia o registro de 1675 sistemas fotovoltaicos conectados sob o regime da REN 482, somando 13,4 MW (ANAEEL, 2016, web).

### 2.3.2 Custo painel fotovoltaico

Por muitos anos a energia solar foi considerada como o pilar principal para um sistema baseado em energia renovável, porém a questão custo sempre esteve em discussão, sendo que a indústria solar tem unido esforços para reduzir os custos de geração de energia.

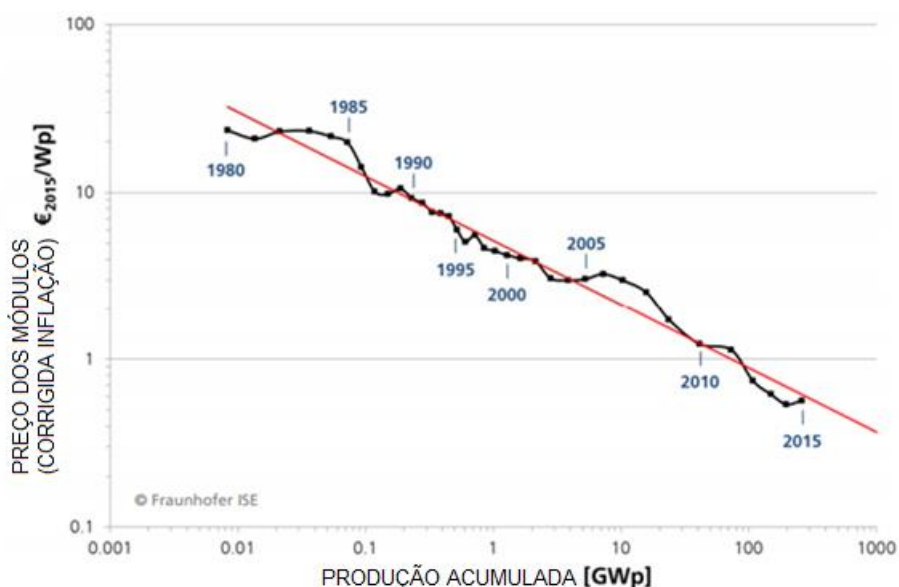
No cenário nacional, essa condição foi ainda mais intensa. Segundo MME (2017), o Brasil é um país que detém diversas matrizes energéticas, hidroeletricidade, biomassa, energia eólica, energia solar, porém devido à diversidade da produção de energia o preço relativo ainda é adverso comparado com as tecnologias de energia solar disponíveis no momento, o que torna a energia solar inviável para uso imediato em grande escala.

Ao longo dos anos, no mercado internacional, os valores dos módulos fotovoltaicos vêm caindo de forma considerável nos últimos anos. Entre 2008 e 2009, o custo do watt caiu de US\$ 3,5 para US\$ 2. O gráfico mostrado na figura 8 apresenta a curva de aprendizado dos preços de módulos fotovoltaicos desde de 1975, com previsão de redução de até 22%. E de acordo com a estimativa, os valores seguirão caindo (IDEAL, 2015).

Na Alemanha, os custos de um painel de 10 a 100 kWp estava cerca de 14.000 €/kWp em 1990. No final de 2015, esses sistemas baixaram para cerca de 1.270 €/kWp. Trata-se de uma regressão do preço líquido de cerca de 90% no período de 25 anos e é equivalente a uma média anual composta de redução de preços de 9% (ISE, 2016).

O gráfico da Figura 8 apresenta que, após 35 anos o preço do módulo diminuiu 23%, com cada duplicação da produção de módulos acumulados. As reduções de custos são resultados de melhorias tecnológicas (ISE, 2016).

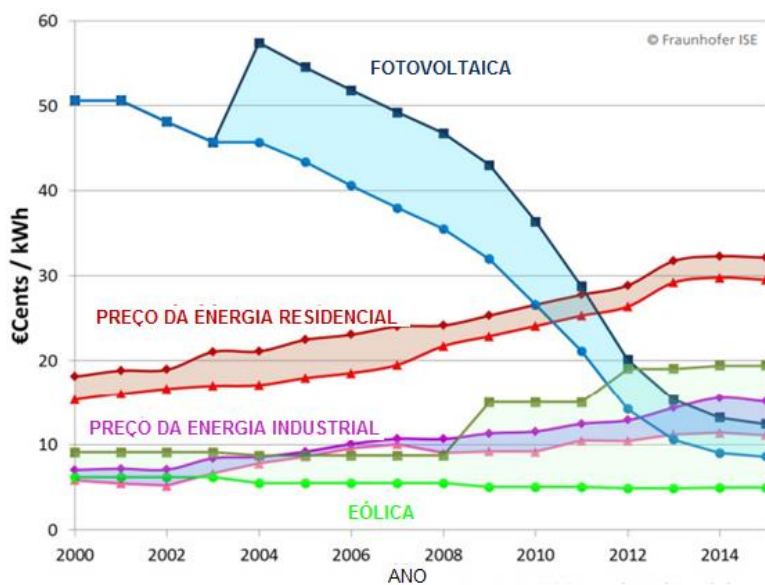
FIGURA 8 - Curva de aprendizagem dos painéis fotovoltaicos entre 1980 e 2015.



Fonte: Adaptado de ISE(2016).

Já o gráfico da Figura 9 apresenta as faixas de diminuição de custo da energia fotovoltaica em comparação ao custo de energia residencial e industrial.

FIGURA 9 - Comparativo do custo da energia fotovoltaica x residencial e industrial.



Fonte: Adaptado de ISE (2016).

Segundo Tolmasquin (2016), a AES Eletropaulo reajustou o preço da energia para os clientes de alta tensão (setores empresariais, comerciais e industriais) o valor médio do reajuste extraordinário foi de 32,5% em março de 2015. Esse aumento foi devido à utilização de usinas termoelétricas ligadas em períodos de crise hídrica, que geram custos adicionais para suprir a demanda do estado. Os financiamentos em longo prazo também estão induzindo a redução de custo dos geradores de energia. Espera-se também que os preços sejam reduzidos a patamares ainda mais competitivos nos próximos anos. Além disso, algumas políticas de conteúdo regional estão trazendo mais segurança para investimentos em longo prazo.

## 2.4 CONCEITOS BÁSICOS

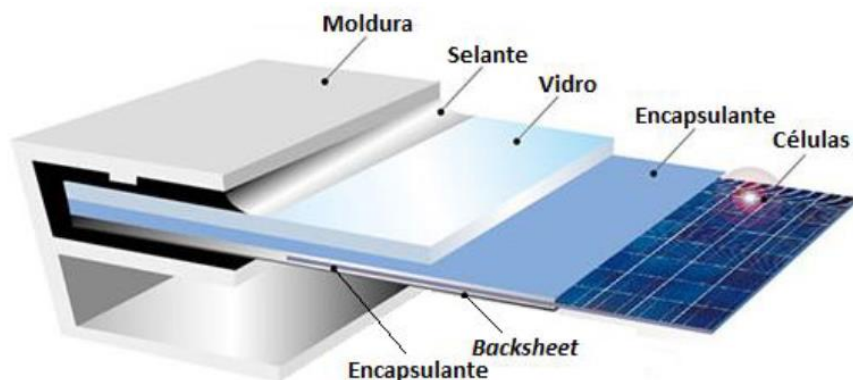
A energia solar fotovoltaica é a energia obtida por meio da conversão direta da luz em eletricidade e tem como base o efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. Na temperatura de 0 K, a banda de valência em semicondutores é totalmente preenchida, enquanto a banda de condução se encontra vazia. E na temperatura ambiente, há energia necessária para que alguns elétrons saltem da banda de valência para a banda de condução que está vazia. Se uma junção de silício puro com átomos de boro e fosforo for exposta a fótons com energia maior que a camada vazia do semicondutor, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando, assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial a qual é chamada de efeito fotovoltaico. Se as duas extremidades do da camada de silício forem conectadas por um condutor, haverá circulação de elétrons (TOLMASQUIN, 2016).

### 2.4.1 A estrutura das placas fotovoltaicas

O elemento principal para a geração fotovoltaica é a célula fotovoltaica. Porém, o aproveitamento em escala comercial desse tipo de energia se faz com o auxílio de outros componentes. Primeiramente, as células são agrupadas e revestidas para formar os módulos fotovoltaicos.

A figura 10 apresenta a composição dos módulos fotovoltaicos:

FIGURA 10 - Camadas de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Tolmasquim (2016).

Ainda conforme Tolmasquim (2016), os constituintes de um painel fotovoltaico são:

**Moldura**: parte externa estruturante do módulo, geralmente de alumínio. É através dela que é feita a fixação do módulo.

**Selante**: composto adesivo usado para unir as camadas internas do módulo com a moldura. Deve impedir a entrada de gases e umidade, além de proteger o interior de vibrações e choques mecânicos.

**Vidro**: camada rígida externa que protege as células e condutores do ambiente, ao mesmo tempo em que permite a entrada de luz para ser convertida em eletricidade. É um vidro especial, com baixo teor de ferro, com uma camada antirreflexiva e com superfície texturizada, que evitam a reflexão da luz que atinge o vidro.

**Encapsulante**: filme que envolve as células, protegendo-as da umidade e dos materiais externos, além de otimizar a condução elétrica. O encapsulante mais utilizado é o EVA (Etil Vinil Acetato).

**Células Fotovoltaicas**: componente eletrônico responsável pela conversão direta da energia eletromagnética em energia elétrica.

**Backsheet**: parte inferior do módulo que previne a entrada de umidade e protege as células de elementos externos. Além disso, oferece isolamento elétrico

adicional. O Tedlar® (filme de pvc) é o material base mais utilizado para confecção do *backsheet*.

#### 2.4.2 Fabricação e desenvolvimento nacional das placas fotovoltaicas

Segundo a ABIPIT (2016), apesar de o Brasil ter uma das maiores reservas de minério de silício do mundo, as placas são feitas em sua maioria com produtos importados. Conforme Barbieri (2016);

“Temos o material, mas a indústria nacional não está participando desses fornecimentos. Exportamos o silício metalúrgico a US\$ 2,5 o quilo, e quando trazemos uma célula fotovoltaica com esse silício, importamos a US\$ 44 o quilo. Está aí uma grande agregação de valor que o Brasil está deixando de fazer porque não temos um pedaço da cadeia produtiva, que demanda investimento e uma política estratégica”.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Elétrica Eletrônica (Abinee), o Brasil possui em Minas Gerais empresas metalúrgicas que atuam nessa área e estão dispostas a atender a cadeia produtiva fotovoltaica. Mas elas precisam de um incentivo, uma política firme para atender à uma cadeia fotovoltaica toda.

Ainda, há empresas brasileiras atuando tanto na etapa inicial da cadeia de silício cristalino (como Minas Ligas e Rima) como na última, de montagem de painéis (como Dya, antiga Tecnometal). Porém, as etapas intermediárias encontram-se ainda pouco desenvolvidas (ABIPIT, 2016).

De acordo, ainda, com a ABIPIT (2016), outras políticas no setor solar estão em andamento no Distrito Federal. O governo pretende lançar um decreto que institui o Programa de Estímulo à Energia Solar, com recursos voltados para capacitação de jovens adultos na instalação das placas em escolas.

### 2.4.3 Impactos ambientais da energia fotovoltaica

Os impactos ambientais na implantação de usinas solares são mínimos e em termos gerais, resultam em impactos positivos ao desenvolvimento ambiental da região.

Os dados, apresentados na Tabela 4, identificam os principais impactos na implantação de usinas fotovoltaicas.

### 2.4.4 Vantagens e desvantagens das placas fotovoltaicas

As vantagens da utilização de energia solar no Brasil são inúmeras, podendo-se destacar:

- recurso renovável e abundante, que será mais detalhado nos próximos tópicos do trabalho;
- energia silenciosa, o que trás conforto ambiental;
- não é poluente;
- ideal para aplicações remotas;
- baixo custo de manutenção;
- robustez do sistema solar fotovoltaico;
- disponibilidade de recurso energético gratuito.

Assim como existem condições favoráveis para instalação desses sistemas no Brasil, existem também algumas condições desfavoráveis, listadas a seguir:

- custo de instalação alto devido a carga tributária, este cenário tem mudado ao longo do tempo, e o governo tem buscado maneiras de incentivo a utilização da energia solar, conteúdo já mencionado anteriormente no trabalho;
- só gera energia em períodos diurnos e com incidência solar.



TABELA 4- Impactos gerados na implantação de usinas fotovoltaicas.

Tema	Impactos	Medidas mitigadoras
Uso e ocupação do solo	Alteração da paisagem;	Busca pela melhor alternativa locacional;
	Alteração do uso do solo;	Implantação de sistemas de drenagem;
	Interferência na flora e fauna.	Manutenção das vias de acesso; Programas de Educação Ambiental; Criação de Reserva Legal; Programa de monitoramento e resgate de fauna.
População	Geração de expectativas na população	Programa de comunicação;
	Interferência na infraestrutura local (estradas, habitação, saneamento, transporte, saúde, outros);	Programa de Articulação Institucional;
	Interferência/perturbação da população (modo de vida, serviços etc.).	Adequação da infraestrutura local e redimensionamento dos equipamentos e serviços sociais.
Empregos	Geração de empregos temporários durante as obras (positivo);	Programas de capacitação da mão-de-obra local;
	Geração de empregos permanentes durante a operação da usina (positivo);	
	Perda dos postos de trabalho temporários após as obras.	Programas de realocação de trabalhadores.
Receita	Aumento na arrecadação de tributos (positivo);	Ações para capacitação da gestão pública e privada;
	Incremento na economia local (positivo).	Fomento das atividades econômicas locais.

Fonte: Tolmasquim (2016).

#### 2.4.5 Aplicações em Universidades

Segundo uma publicação de fevereiro de 2017 do MME, as universidades interessadas em utilizar mecanismos de geração própria de energia elétrica terão mais facilidade para viabilizar seus projetos. A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) alterou as regras de aprovação de projetos prioritários relacionados à eficiência energética e minigeração em instituições federais de ensino superior.

Segundo a Aneel (2015), o objetivo é reduzir entraves à implementação de projetos de Eficiência Energética (EE) e de geração própria de energia (Minigeração) por meio da implantação de projetos pilotos nessas instituições.

O edital da Chamada de Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D nº 001/2016, intitulado "Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Federais de Ensino Superior", previa que as distribuidoras aplicassem recursos do Projeto apenas em unidades consumidoras da sua área de concessão. Entretanto, a Aneel considerou que essa medida poderia provocar uma pulverização de recursos em propostas de projetos que não atendessem aos requisitos de um projeto prioritário e estratégico. Diante disso, ficou estabelecido que a distribuidora também poderá aplicar recursos do PEE em unidades consumidoras de outra área de concessão.

A Agência constatou que o gasto com energia elétrica representa um dos principais itens de custeio das instituições públicas de ensino superior, e que parte considerável dessa despesa poderia ser evitada por meio de ações de eficiência energética e da implantação de sistemas de geração própria de energia. De acordo com a Secretaria de Ensino Superior (SESu) do Ministério da Educação, o valor total pago, em 2015, apenas pelas Universidades Federais, foi de cerca de R\$ 430 milhões. Segundo a SESu, as despesas com energia elétrica dessas instituições despontam como o 3º maior grupo e representam cerca de 9% dos gastos apurados em 2015.

Em se tratando de estratégias para diminuir o consumo de energia elétrica, no Rio Grande do Sul, a Universidade Federal de Pelotas - UFPel vem desenvolvendo um programa institucional com o intuito de estimular o bom uso da energia elétrica. O Programa de Bom Uso de Energia Elétrica (PROBEN), coordenado pelo Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE) da faculdade de Arquitetura e Urbanismo da universidade, busca propor e executar ações que visam reduzir a demanda e o consumo de energia elétrica nos quase 80 pontos de consumo da instituição. No ano de 2014, as ações do PROBEN representaram uma economia de quase 600 mil reais em gasto de energia elétrica da universidade e desde 2006 quando foi implantado o programa, a instituição já obteve uma economia em torno de 2,35 milhões (TOLMASQUIN, 2016).

No âmbito das universidades públicas, federais, estaduais e particulares, a aplicação de energia solar vem crescendo. Já existem laboratórios demonstrativos, projetos pilotos e programas interdisciplinares despertando o interesse do estudante desde o início da sua formação. Em Lajeado, Rio Grande do Sul, Odorico Konrad, coordenador do Laboratório de Biorreatores e professor da Univates, coordenou o projeto de instalação de cerca de 1000 painéis solares, que produzem 5% da energia demandada pela Universidade, economizando aproximadamente R\$ 12 mil mensais. A microusina tem capacidade de 237,12 kWp, o que representa energia suficiente para suprir 100 famílias compostas de quatro pessoas, cobrindo uma área de 5.200 m<sup>2</sup> de telhados de prédios com painéis solares (HERMANN e CAMARA, 2016).

## 2.5 CONDIÇÃO CLIMÁTICA BRASILEIRA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR

O Brasil está situado quase que totalmente na região limitada pelos Trópicos de Câncer e de Capricórnio, de incidência mais vertical dos raios solares. Esta condição favorece elevados índices de incidência da radiação solar em quase todo o território nacional, inclusive durante o inverno, o que confere ao

país condições vantajosas para o aproveitamento energético do recurso solar. (TOLMASQUIM, 2016).

O potencial brasileiro para energia solar tem sido representativo perante indicadores mundiais, o nordeste apresenta os maiores valores de radiação solar global, com a maior média e a menor variabilidade anual, dentre todas as regiões geográficas. Os valores máximos de radiação solar são observados na região central da Bahia e no noroeste de Minas Gerais (MME, 2016).

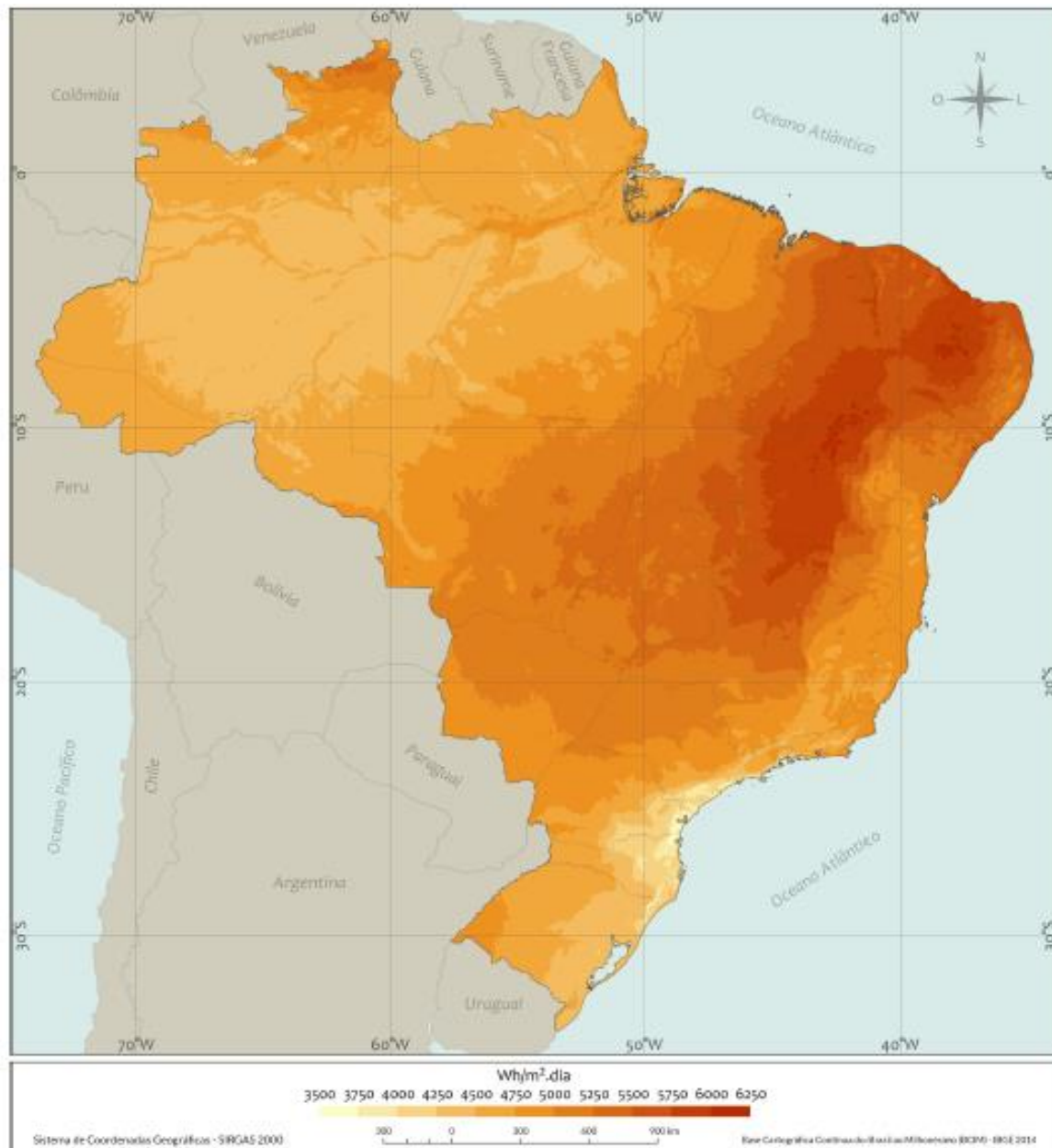
Adicionalmente, a localização próxima à linha do equador propicia uma baixa variabilidade intra-anual da radiação solar no Brasil. (TOLMASQUIM, 2016).

#### 2.5.1 A radiação solar das regiões brasileiras

Segundo mapas do INPI 2017, a menor radiação global no Brasil é de 4,25 kWh/m<sup>2</sup> (no litoral norte de Santa Catarina) e a maior é de 6,5 kWh/m<sup>2</sup> (norte da Bahia). Em virtude disso a radiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro varia de 4.200 a 6.700 kWh/m<sup>2</sup>/ano, superior às verificadas em outros países que hoje são expoentes do uso da energia solar para a geração de energia elétrica. Como por exemplo destaca-se 900 a 1.250 kWh/m<sup>2</sup>/ano na Alemanha; 900 a 1.650 kWh/m<sup>2</sup>/ano na França; e 1.200 a 1.850 kWh/m<sup>2</sup>/ano na Espanha.

Na Figura 11, apresenta-se o mapa de índice de radiação solar médio no Brasil.

FIGURA 11 - Mapa brasileiro de irradiação solar global horizontal- média anual.



Fonte: INPE, 2017.

## METODOLOGIA

### 3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR NO LOCAL DO ESTUDO

Primeiramente, fez-se necessário um estudo a respeito das áreas adequadas para a realização da pesquisa, o que levou a escolha do campus da Univille, encontrada na latitude  $26^{\circ}15'08.6''S$  e longitude  $48^{\circ}51'34.6''W$ .

Quanto ao levantamento dos dados de radiação solar para a área de estudo, esta foi feita através do mapa solarimétrico apresentado pelo INPE (2017, web).

### 3.2 MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO SISTEMA PROTÓTIPO NO LOCAL DO ESTUDO

O trabalho utilizou, para fins de comparação de informações um sistema fotovoltaico instalado próximo do local do projeto. Na Figura 12 é possível visualizar a localização das placas já instaladas no campus da Univille. A distância entre o sistema instalado, atualmente, e o proposto no projeto é de, aproximadamente 135 m.

FIGURA 12 - Localização das placas instaladas atualmente no campus em latitude  $26^{\circ}15'08.6''S$  e longitude  $48^{\circ}51'34.6''W$ .



Fonte: Adaptado Google maps, 2017 (web).

As medições reais para efeito comparativo ao sistema teórico foram realizadas em um sistema *off grid*, composto por 6 painéis policristalinos (p-Si) de 100 Wp cada da marca First Solar. Esses módulos apresentam, segundo o fabricante, uma eficiência média de 13% quando posicionadas de forma a receber a maior incidência solar para a direção norte, contudo, a leitura realizada pelo supervisor ocorreu em somente em 2 dos 6 painéis.

As placas têm sua composição básica em cristal de silício, com corrente máxima de 6,57 A e tensão máxima de 17,4 V. A dimensão de cada painel é de 1540 x 660 x 35 mm, sendo que cada placa possui 1,01 m<sup>2</sup>, totalizando 6,06 m<sup>2</sup> instalados. Porém, devido ao diagrama de instalação do sistema supervisorio dessas 6 placas, apenas 2 foram lidas e registradas pelas suas aquisições.

A Figura 13 apresenta as 6 placas instaladas no bloco I da Univille.

FIGURA 13 - Painéis solares instalados no Bloco I da Univille (campus Joinville).



Fonte: primária (2017).

Os dados solares foram coletados e convertidos através do painel de gerenciamento e controle desenvolvido pela Vesotec (empresa que desenvolveu o sistema). A tensão e a corrente são levadas ao painel de controle por meio de

cabos elétricos de 10 mm<sup>2</sup>. A energia elétrica passa por proteções "String box" e disjuntores e, em seguida, passa pelas aquisições do sistema NI Lab (National Instruments Laboratory).

Após aquisição dos dados de tensão e corrente, o sistema envia os dados em tempo real para o computador conectado que recebe os dados através do software *Lab View*, esta coleta dados de tensão e corrente minuto a minuto.

O controlador de carga, também presente no painel de gerenciamento e controle, recarrega as baterias do sistema. Para haver o descarregamento destas, foi instalada uma lâmpada de 100 W, que consome a carga da bateria em período integral.

Esse consumo é necessário para que haja um descarregamento constante da bateria, pois, dessa forma, sempre haverá espaço para armazenar toda a energia produzida.

Nas Figuras 14 a, b e c, são mostradas imagens do sistema de aquisição.

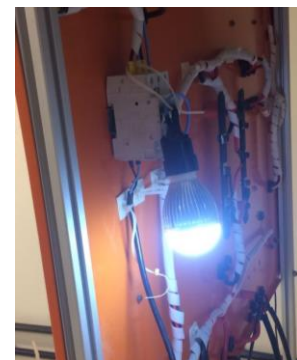
FIGURA 14 – Fotos do painel geral e do sistema de aquisição de dados NI Lab (a); detalhe do sistema de Aquisição NI Lab (b), e da lâmpada para consumir a carga das baterias



(a)



(b)



(c)

Fonte: Primária (2017).



### 3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA PARA ATENDER À DEMANDA ENERGÉTICA DA EMPRESA

Para dimensionamento do sistema preciso a ser utilizado pela empresa, o trabalho utilizou como base a resolução normativa N° 482/2012 da ANAEEEL, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída e ao sistema de compensação de energia elétrica, essa resolução permite que sistemas de geração de eletricidade provindos de fontes renováveis possam ser ligados à rede elétrica suprimindo a demanda local e injetando a energia excedente na rede, gerando créditos desta.

Este dimensionamento considerou um sistema conectado à rede elétrica, ou seja, a energia excedente, gerada durante a exposição plena à luz solar, será injetada na rede. Com isso, ocorrerá o sistema de compensação para períodos quando não houver incidência plena de radiação solar.

#### 3.3.1 A coleta de dados de consumo de energia da empresa estudada

O dimensionamento foi baseado em dados de consumo de energia da empresa, sendo a leitura realizada, mensalmente, pelo departamento de infraestrutura e patrimônio da universidade, através de medidores de tensão e corrente (ver Figura 15).

Informações a respeito de horário de funcionamento e período mensal e anual de trabalho foram repassadas pelo mesmo departamento.

FIGURA 15 - Medidor de consumo elétrico trifásico.



Fonte: Nansen, 2017.

### 3.3.2 Dimensionamento pelos dados teóricos do mapa solarimétrico

A radiação solar incidente no local determina a quantidade de energia solar que pode ser gerada naquela área. Esses dados são obtidos através de mapas de energia solar. Os dados de radiação solar utilizados no estudo foram coletados através do mapa disponível no site do INPE, 2017.

Com base nos dados do mapa solarimétrico e empregando-se a Equação 1, pôde-se calcular a capacidade de produção média mensal na região estudada em kWh/m<sup>2</sup>.

$$Tpe = Tars \times \left[ \frac{EfPV-R}{100} \right] \times 30 \quad (01)$$

Onde:

Tpe: Taxa de produção de energia por mês [kWh/m<sup>2</sup>.mês];

Tars: Taxa média de radiação solar anual diária na região estudada [kWh/m<sup>2</sup>.dia];

R: Fator de correção da eficiência referente a perdas por condução e transformação.

*EfPV*: Eficiência dos módulos fotovoltaicos.

A taxa média mensal de produção de energia é dada pela capacidade de geração, ou seja, estima-se que toda energia produzida seja injetada na rede para posterior compensação, por isso, foi utilizado o período médio mensal de 30 dias, mesmo sendo apenas 22 dias úteis de consumo pela empresa.

Contudo, sabe-se que há perdas de energia por condução e transformação, portanto, deve-se usar um fator de correção da eficiência devido a essas perdas. Os resultados de simuladores apresentam, em média, 4,73% de perdas no inversor e 0,49% no transporte, com um total de 5,22% de perdas ou 94,78% de eficiência (CARVALHO, 2011).

Sendo assim, este trabalho utilizou como fator de correção da eficiência 5,22%, e, em relação à eficiência dos módulos fotovoltaicos, foi utilizado, como referência, o valor de 16,97%, fornecido pelo fabricante e exposto na Tabela 5.

TABELA 5 - Dados técnicos da placa apresentada nas propostas.

<b>Dados técnicos</b>	
CS6U	330M
Potência nominal máxima (P <sub>max</sub> )	330 W
Voltagem de operação (V <sub>mp</sub> )	37,5V
Corrente de operação (I <sub>mp</sub> )	8,8A
Eficiência do Módulo	16,97%
Temperatura de operação	40°C - 85°C
Tipo de célula	Mono cristalino - 6"
Quantidade de células	72 (6x12)
Dimensões	1960x992x40mm
Peso	22,4 Kg

Fonte: Adaptado de Canadian (2017).

Após a determinação da taxa de produção mensal de energia da região, fez-se necessário determinar a capacidade de produção de energia da placa fotovoltaica estudada, em kWp/m<sup>2</sup>, medida esta referente à capacidade nominal da placa, considerando a condição de sol pleno e aplicando-se, então, a Equação 2.

$$C_{pm} = \frac{C_{nm}}{L \times C} \quad (02)$$

Onde:

$C_{pm}$ : Capacidade de produção de energia da placa [Wp/m<sup>2</sup>];

$C_{nm}$ : Capacidade nominal da placa [Wp];

L: Largura da placa estudada [m<sup>2</sup>];

C: Comprimento da placa estudada [m<sup>2</sup>].

Para determinação da taxa teórica média de produção de energia por kWp, se faz necessário o emprego da Equação 3, que divide a taxa mensal de produção teórica da região estudada pela capacidade de produção de energia da placa.

$$T_{tp} = \frac{T_{pe}}{C_{pm}} \quad (03)$$

Onde:

$T_{tp}$ : Taxa teórica de produção de energia da região pela capacidade da placa [kWh/kWp];

$T_{pe}$ : Taxa de produção de energia por mês [kWh/m<sup>2</sup>.mês];

$C_{pm}$ : Capacidade de produção de energia da placa [Wp/m<sup>2</sup>];

Para determinação do tamanho do gerador fotovoltaico a ser instalado é necessário aplicar a Equação 4, que divide o consumo mensal da empresa estudada pela taxa teórica de produção em [kWh/kWp].

$$S_{pv} = \frac{C_{mr}}{T_{tp}} \quad (04)$$

Onde:

$S_{pv}$ : Tamanho do sistema fotovoltaico [kWp];

$T_{tp}$ : Taxa teórica mensal de produção de energia da região pela capacidade nominal da placa [kWh/kWp];

$C_{mr}$ : Consumo mensal real da empresa estudada [kWh/mês];

### 3.3.3 Dimensionamento pelos dados reais coletados

Para dimensionamento do sistema pelos dados reais coletados, foi utilizada a Equação 5, que determina a taxa real média de produção de energia por kWp, esta divide a taxa real mensal de produção pela capacidade de produção de energia da placa.

$$Trp = \frac{Tpm}{(Cnm \times n)} \quad (05)$$

Onde:

Trp: Taxa real mensal de produção de energia pela capacidade nominal da placa [kWh/kWp];

Tpm: Taxa de produção real de energia por mês [kWh/mês];

Cnm: Capacidade nominal da placa [Wp];

n: Número de painéis conectados na medição;

Para determinação do tamanho do gerador fotovoltaico a ser instalado é necessário aplicar a Equação 6, que divide o consumo mensal da empresa estudada pela taxa real de produção em [kWh/kWp].

$$Spv = \frac{Cmr}{Trp} \quad (06)$$

Onde:

Spv: Tamanho do sistema fotovoltaico [kWp];

Trp: Taxa real mensal de produção de energia da região pela capacidade nominal da placa [kWh/kWp];

Cmr: Consumo mensal real da empresa estudada [kWh/mês];

### 3.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONOMICA

#### 3.4.1 O investimento para implantação de sistemas fotovoltaicos

O investimento em um sistema fotovoltaico é formado pelo custo da aquisição dos equipamentos do sistema, como módulos fotovoltaicos, inversores, cabos, e da sua instalação.

Os custos do sistema são calculados através de sua capacidade de geração nominal, considerando apenas o período de exposição plena a luz solar, sendo esta capacidade dada kWp.

Para melhor precisão na elaboração do custo médio, padronizou-se a placa mais comum utilizada por instaladores de sistemas solares no Brasil a placa fotovoltaica *MAXPOWER da CANADIAN SOLAR INC*, modelos CS6U 330M, cujas informações técnicas já foram apresentadas na Tabela 5.

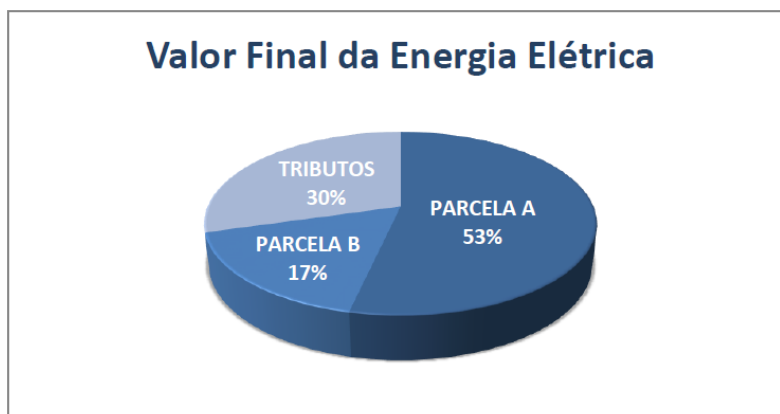
Para composição do custo médio de instalação, foram procuradas três empresas que atuam na implantação de usinas fotovoltaicas, estando uma empresa localizada na região de Joinville-SC, outra em São José-SC e a terceira em São Paulo/SP. Todas elaboraram um estudo de implantação de acordo com o projeto e local de instalação solicitado.

#### 3.4.2 A composição da tarifa de energia

Os cálculos de retorno do investimento foram baseados no custo atual pago por kWh para a companhia de energia. Este custo da tarifa de energia foi determinado pelos custos envolvendo a aquisição, o transporte, as perdas e os encargos, bem como os impostos sobre a energia elétrica, que podem ser divididos em três parcelas, quais sejam (ver Figura 16):

- Parcela A: referente ao custo pela compra de energia pelas distribuidoras, o transporte da energia elétrica das unidades geradoras até o sistema de distribuição e pelos encargos setoriais.
- Parcela B: referente aos custos com a manutenção de ativos e operação do sistema de distribuição.
- Parcelas de Tributos: Essa terceira parcela é referente aos tributos ICMS e PIS/COFINS.

FIGURA 16 - Composição do valor final da tarifa de energia elétrica.



Fonte: Ribeiro (2017).

Além dessa divisão, a tarifa de energia ainda é influenciada por reajustes anuais e fatores ou bandeiras, porém para realização do cálculo de retorno do investimento o valor utilizado foi de R\$ 0,65/kWh.

Na análise econômica dos sistemas fotovoltaicos, foi admitido um período de 25 anos, pois é o tempo de vida útil considerado para as placas solares. No caso dos inversores, o período é de 10 anos, necessitando de troca após este período. Durante o período de 25 anos, as receitas e as despesas geradas pelo sistema compõem o fluxo de caixa do investimento.

### 3.4.3 Indicadores financeiros

Um dos principais indicadores de investimento, na atualidade, é o tempo de retorno, que traz ao investidor uma taxa de retorno do investimento em um determinado período, sendo este obtida através da Equação 7.

$$T_{ret} = \frac{I_{total}}{E_{an}} \quad (07)$$

Onde:

$T_{RET}$ : Taxa de retorno do investimento [Anos];

$I_{total}$ : Investimento total nos módulos fotovoltaicos [R\$];

$E_{an}$ : Economia anual corrigida com [R\$/ano].

A Equação 7 deverá ser utilizada em dois cenários, para dados do mapa de radiação e para os dados reais coletados na Univille. O valor da economia anual será dado para os dois cenários através da Equação 8.

$$E_{an} = V_{cm} \times m_a \quad (08)$$

Onde:

$V_{cm}$ : Valor do consumo de energia mensal [R\$/mês];

$m_a$ : Meses de operação da empresa na avaliação do período [meses/ano];

$E_{an}$ : Economia anual [R\$/ano].

O fluxo de caixa é um instrumento de gestão financeira que projeta, para períodos futuros todas as entradas e as saídas de recursos financeiros da empresa, indicando como será o saldo de caixa. Neste trabalho, o fluxo de caixa foi projetado junto a uma inflação média de 5% ao ano e em um período de 25 anos.

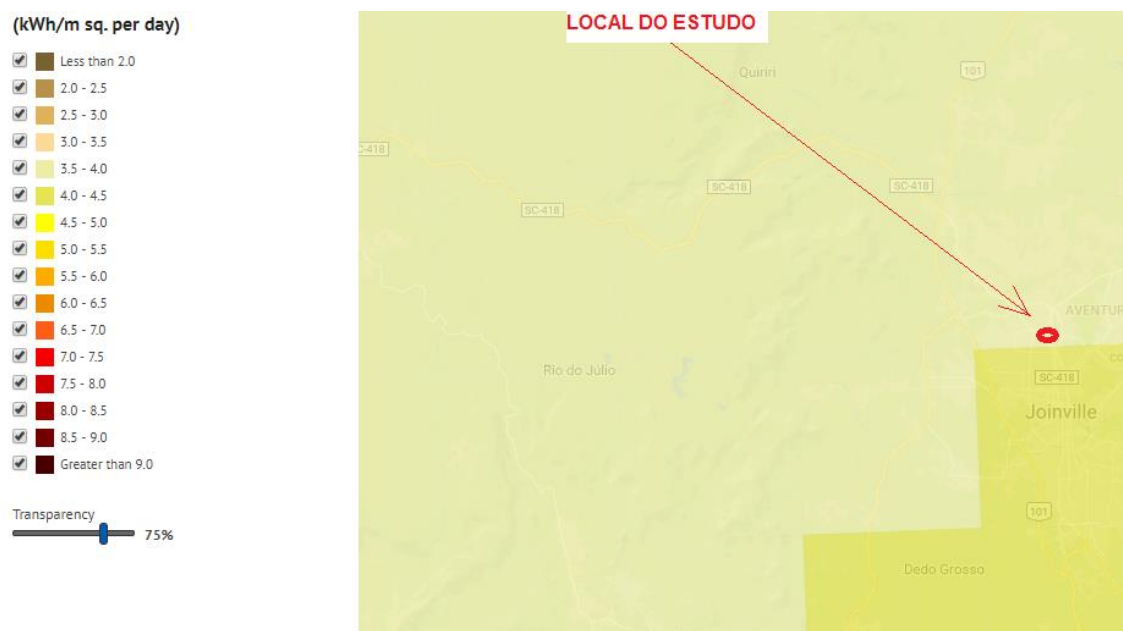


## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR NO LOCAL DO ESTUDO

Segundo o INPE (2017), na região de estudo, tem-se uma taxa média anual de 3.5 kWh/m<sup>2</sup> por dia, o que torna o local de estudo um dos que possui menor índice de radiação solar, conforme mapa de Radiação solar mostrado na Figura 17.

FIGURA 17 - Mapa de radiação solar focalizado na região norte de Joinville.



Fonte: Adaptado INPE, 2017.

Avaliando-se a Figura 11, pode-se verificar que esse índice de radiação está abaixo da média nacional, o que se deve às características climáticas e geográficas da região.

Estes fatores diminuem a potencialização da implantação de usinas fotovoltaicas, por isso a necessidade de um estudo de viabilidade para que

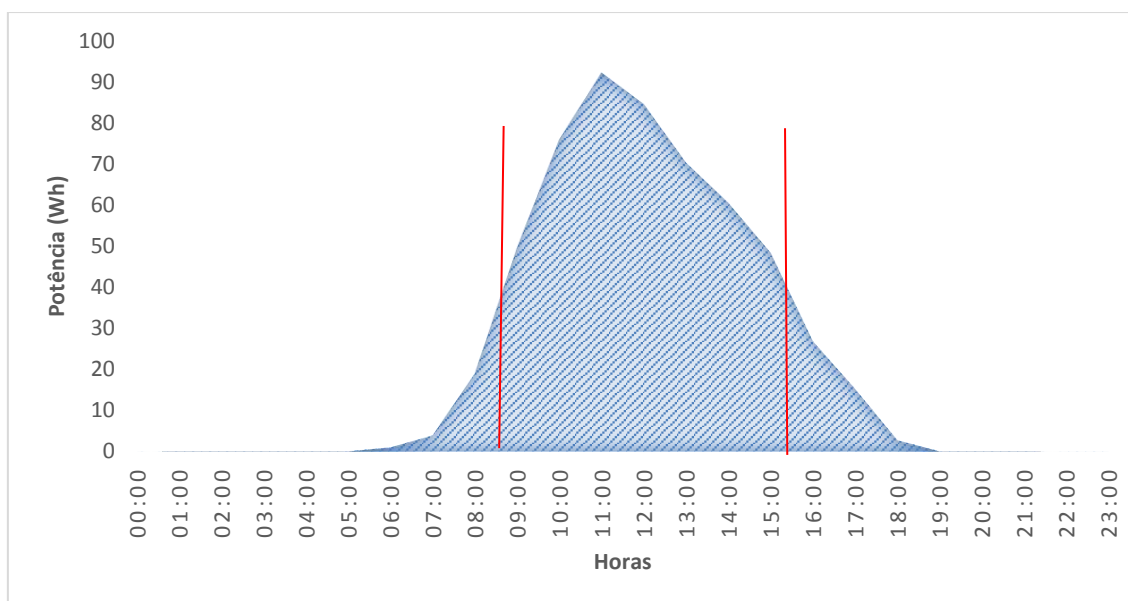
investidores possam avaliar projetos de implantação de usinas em locais que possuem características climáticas e geográficas semelhantes.

#### 4.2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DA PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR COLETADOS ATRAVÉS DO SISTEMA PROTÓTIPO INSTALADO NO LOCAL DE ESTUDO

O sistema protótipo foi monitorado de outubro de 2016 a abril de 2017, durante este período os dados foram coletados pelo supervisor e armazenados em arquivos de dados, conforme metodologia já apresentada.

A determinação das horas de exposição do sol é uma informação muito importante para o dimensionamento do sistema. Portanto, os dados foram filtrados e relacionados considerando todos os dias do período avaliado, conforme pode ser observado na Figura 18. Como resultado, pôde-se determinar que o horário útil para produção de energia solar está entre 08:30 e 15:30 h, ou seja, uma média de 7 horas diárias.

FIGURA 18 - Média de horas de produção de energia solar.



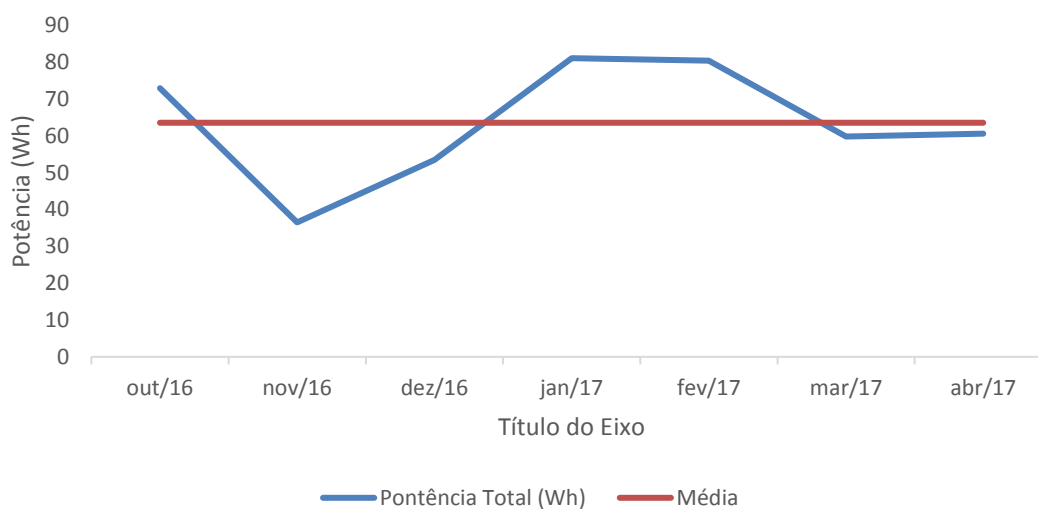
Fonte: Primária, 2017.

Após a determinação do horário de produção de energia solar, foram filtrados dados de produção de energia em Wh.

Durante o monitoramento, foi coletada uma amostra por minuto. Os dados referentes a produção de energia solar mensal em Wh foram filtrados de acordo com o horário de produção de energia, ou seja, os dados apresentados na Figura 19 se referem à média horaria entre 08:30 e 15:30.

Os dados foram coletados em tensão (V) e corrente (A) e, através do produto da multiplicação destes parâmetros entre si, chegou-se à potência média gerada.

FIGURA 19 - Potência horária média mensal em (Wh).



Fonte: Primária, 2017.

A baixa produção de energia no mês de novembro pode estar relacionada ao alto índice pluviométrico deste mês, que tem uma média histórica entre 2000 e 2017 de 201,2 mm. O alto índice de produção de energia nos meses janeiro e fevereiro pode ser resultado das altas temperaturas médias, em uma média histórica entre 2000 e 2017, os valores respectivos de 26,1 °C e 26,5 °C (Mello e Koentopp, 2017).

A média de produção de energia do sistema protótipo foi de 63,5 Wh, considerando a média de produção diária de 7 horas, tem-se a média de 444,5 Wh por dia nas 2 placas solares que foram conectadas ao supervisor, sendo assim, o sistema apresenta um rendimento médio mensal de 13,335 kWh/mês nos 2 painéis. Cada painel tem dimensão de 1,54 x 0,660 m, sendo então 1,015m<sup>2</sup> por painel, o que resulta em uma capacidade de geração mensal de 6,568 kWh/m<sup>2</sup>.

Devido a uma condição de intempérie da natureza que acabou derrubando os dois módulos conectados ao supervisor, provocando um curto circuito neste dispositivo, não foi possível realizar leituras para um período anual.

### 4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA PARA ATENDER À DEMANDA ENERGÉTICA DA EMPRESA

#### 4.3.1 Os dados coletados através medidor trifásico instalado na empresa de estudo

A empresa de tecnologia se localiza no INOVAPARQ da Univille, e esta alojada junto ao centro de convenções. A escolha em elaborar o estudo no local foi devida a questão do horário de consumo de energia, que é das 08:00 da manhã as 18:00h, é o horário de maior exposição a luz solar e em níveis mais significativos de radiação. Esta tem por objetivo que toda energia produzida pelas placas fotovoltaicas seja consumida pela demanda do usuário.

A empresa tem uma população diária de 50 pessoas, e um consumo médio anual de 2446 kWh/mês, sendo que a empresa tem um período médio de 22 dias úteis por mês, podemos estimar seu consumo diário de energia em 111,2 kWh/dia.

Para utilização no estudo de investimento, o valor pago pela empresa por kWh é R\$0,65.

No caso estudado, o usuário está localizado dentro da Univille, ou seja, não tem contrato direto com a concessionária de energia, sendo possível que o sistema trabalhe em paralelismo permanente com a rede interna da instituição. Portanto, o excedente produzido não será injetado na rede externa para compensação, mas será consumido por outros setores na rede interna da Univille. Vale ressaltar que a instituição, precisará homologar o sistema na concessionária, porém os custos para assessoria já estão inclusos nos orçamentos que serão apresentados.

#### 4.3.2 O dimensionamento pelos dados teóricos do mapa solarimétrico

O dimensionamento do sistema estudado para os dados teóricos foi baseado em informações de radiação solar, apresentado no item 4.1 do trabalho, onde pode-se obter a informação de produção média de energia solar em taxa anual de 3,5 kWh/m<sup>2</sup> por dia.

A taxa mensal de produção de energia foi calculada com base nos dados do mapa solarimétrico, que estima a capacidade de produção média mensal na região estudada em kWh/m<sup>2</sup>, como já especificado na metodologia foram utilizados dados de eficiência fornecidos pelo fabricante das placas fotovoltaicas 16,9%, dados de perdas por condução e transformação 5,22% e período mensal de 30 dias. Os resultados apresentam uma média de capacidade de geração de 12,264 kWh/m<sup>2</sup> por mês.

Após a determinação da taxa de produção mensal de energia da região, se faz necessário determinar a capacidade de produção de energia da placa fotovoltaica estudada, em kWp/m<sup>2</sup>, referente à capacidade nominal da placa considerando a condição de sol pleno. Que divide a potência nominal do painel pela dimensão do mesmo, obteve-se um valor de 169,75 Wp/m<sup>2</sup>.

Este resultado fornece informações importantes para determinação da taxa teórica média de produção de energia por kWp, que divide a taxa mensal

de produção teórica da região estudada pela capacidade de produção de energia da placa, o que resulta em 72,24 kWh/kWp por mês.

Como comentado no item 3.4.1, o resultado acima é necessário para determinação do tamanho do gerador fotovoltaico a ser instalado, cujo resultado foi o valor de 33,85 kWp. A importância deste valor se deve ao fato de que os custos de implantação estão baseados em kWp.

A tabela 6 detalha em forma de resumo os resultados comentados acima.

TABELA 6 - Resultados obtidos pelos dados teóricos do mapa solarimétrico.

Parâmetro medido	Nº Equação	Valor	Unidade
Tpe: Taxa de produção de energia por mês	01	12,264	[kWh/m <sup>2</sup> .mês]
Cpm: Capacidade de produção de energia da placa	02	169,75	[Wp/m <sup>2</sup> ]
Ttp: Taxa teórica de produção de energia da região pela capacidade da placa	03	72,24	[kWh/kWp]
Spv: Tamanho do sistema fotovoltaico (Dados teóricos)	04	33,85	[kWp]

Fonte: Primária (2018).

#### 4.3.3 O dimensionamento pelos dados reais coletados

O resultado obtido, quanto ao dimensionamento do sistema pelos dados reais coletados, foi de 66,675 kWh/kWp por mês. Segundo o estudo realizado, esta é a taxa real de produção de energia da região, considerando a capacidade nominal da placa em condições reais de sol pleno durante o período de outubro de 2016 a abril de 2017. Comparando-se esse valor com os dados teóricos

calculados no item 4.3.2 (72,24 kWh/kWp), pode-se identificar uma diferença de, aproximadamente, 8% entre as informações encontradas nos mapas solarimétricos e os dados coletados através do sistema protótipo instalado.

A tabela 7 detalha em forma de resumo os resultados comentados acima.

TABELA 7 - Resultados obtidos pelos dados reais coletados no sistema protótipo.

Parâmetro medido	Nº Equação	Valor	Unidade
Trp: Taxa real mensal de produção de energia pela capacidade nominal da placa	05	66,75	[kWh/kWp]
Spv: Tamanho do sistema fotovoltaico	06	36,68	[kWp]

Fonte: Primária (2018).

Comparando-se este 36,68 kWp com o resultado do tamanho do sistema fotovoltaico obtido pelos dados teóricos 33,85 kWp, pode-se notar que é necessário um aumento no tamanho do sistema fotovoltaico.

Essa diferença pode ser devida à falta de limpeza na superfície dos módulos instalados, ou ainda, às diferenças climáticas no período de medição, visto que o período de leitura média dos mapas solarimétricos são anuais.

Durante a realização dos orçamentos com os fornecedores citados na metodologia, alguns recomendaram sistemas entre 26 e 28 kWp, pois, segundo eles, os dados históricos registrados, para a região de Santa Catarina, apresentam taxas de produção de energia entre 80 a 100 kWh/kWp.

## 4.4 RESULTADOS DA ANÁLISE DE VIABILIDADE

### 4.4.1 Investimento para implantação do sistema fotovoltaico

Na Tabela 8 apresenta-se o custo médio de implantação de usinas fotovoltaicas por kWp, para composição desta foram utilizadas informações fornecidas por três instaladores de sistemas, um em São José-SC, outro em Joinville-SC e outro em São Paulo-SP.

TABELA 8 - Custo atual para implantação de sistemas fotovoltaicos por kWp.

<b>Instalador</b>	<b>Valor R\$/kWp</b>
São Paulo – SP	R\$ 5.007,68
Joinville – SC	R\$ 4.188,98
São José – SC	R\$ 4.733,50
<b>Média</b>	<b>R\$ 4.643,38</b>

Fonte: Primária (2017).

As diferenças entre os valores apresentados nas propostas comerciais provavelmente são devidas a custos com hospedagem e deslocamento das equipes técnicas, já que a empresa de Joinville apresentou menor custo por kWp.

O levantamento dos custos foi realizado com base nas portarias normativas na ANAEEEL para sistemas *on grid*, ou seja, um sistema conectado à rede elétrica.

Após a determinação do custo médio de implantação por kWp, pode-se calcular o custo total de investimento para a condição teórica e real do projeto estudado, sendo que o custo de investimento e seus devidos comparativos estão apresentados na Tabela 9.



TABELA 9 – Resultado do comparativo de investimento de implantação.

Sistema estudado	Consumo empresa (kWh/mês)	Tamanho da usina fotovoltaica (kWh/kWp)	Investimento de implantação (R\$/kWp)
Teórico com dados solarimétricos (INPE)	2446	33,85	R\$ 157.178,41
Real com dados coletados no lab solar Univille	2446	36,68	R\$ 170.319,17

Fonte: Primária, 2017.

Pode-se notar que o sistema dimensionado tem capacidade de gerar 3 vezes a demanda do usuário em momentos de sol pleno, valor este necessário para compensar os momentos de baixa produção de energia. No caso específico do estudo, esta é uma característica que beneficia o projeto, fator já comentado no item 4.3 do trabalho.

Partindo da premissa de sistema conectado à rede elétrica, a compensação de energia suprirá a demanda em horários e dias de baixa produção de energia.

Sendo assim, o estudo de investimento considerou como valor zerado a conta de energia a partir do funcionamento do sistema. Como a empresa estudada está localizada dentro do Inovaparq, ela não é uma consumidora da companhia de energia, ou seja, não tem contrato de consumo mínimo com a mesma, o que possibilita zerar a conta atual com a Univille.

O valor de economia mensal foi estimado pelo consumo médio anual multiplicado pelo valor pago no kWh, sendo assim, a economia mensal será de R\$ 1.589,90, e a anual, de R\$ 19.078,80.

#### 4.4.2 Indicadores financeiros

O tempo de retorno do investimento, obtido pela Equação 7, é apresentado para o cenário real e teórico na Tabela 10, e representa a taxa de retorno simples, sem considerar a inflação ou correção anual do custo de energia

TABELA 10 – Taxa de retorno.

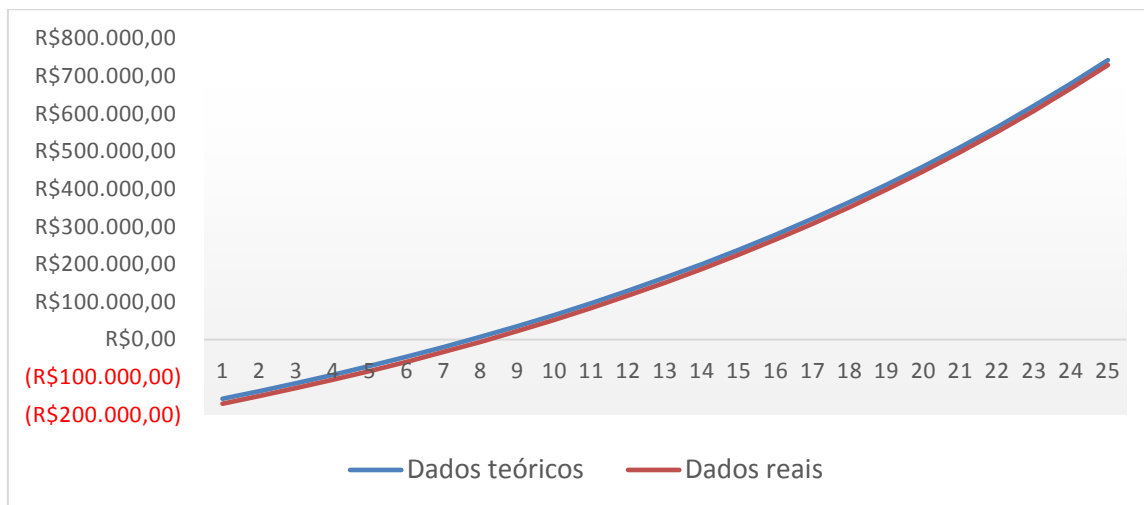
Sistema estudado	Investimento de implantação (R\$/kWp)	Economia anual (R\$)	Tempo de retorno (anos)
Teórico com dados solarimétricos (INPE)	R\$ 157.178,41	R\$ 19.078,80	8,24
Real com dados coletados no lab solar Univille	R\$ 170.319,17	R\$ 19.078,80	8,93

Fonte: Primária (2017).

Na Figura 20 apresenta-se o fluxo de caixa, pelo qual se determina o retorno do valor investido ao longo dos 25 anos de vida útil do painel; para correção do valor de economia mensal foi considerada uma inflação média anual de 5%.

Ao final de 25 anos, o fluxo de caixa, corrigido com a inflação de 5%, resulta em um retorno financeiro de R\$ 742.809,01 para dados teóricos, e R\$ 729.668,25 para os dados reais. Avaliando sob o pior cenário (dados reais coletados no sistema protótipo), o projeto apresenta viabilidade financeira em longo prazo. O projeto apresenta, também, uma taxa de retorno simples de 8,93 anos, já com correção da inflação anual o tempo é de 8,2 anos. Em relação à taxa de retorno sob avaliação dos dados teóricos (INPI), o tempo de retorno ficou em 8,24, sem correção de inflação, com a correção ficou em 7,5 anos.

FIGURA 20 - Fluxo de caixa e valor presente líquido



Fonte: Primária, 2017.

Comparando-se com os resultados obtidos por Konzen e Andrade (2016), para a região de SP, em 2015, e que apresentou o tempo de retorno de 8,5 anos, a taxa obtida pelo presente estudo é interessante e mostra um potencial da região para crescimento da energia por PV. É fato que os dados, utilizados no estudo supracitado, têm como referência 2014, ou seja, os valores de investimentos nos sistemas PV eram mais baixos, e os estudos mais atuais ainda não publicados na região de São Paulo devem apresentar viabilidade ainda melhores.

O fluxo de caixa apresentado poderia ser influenciado por linhas de financiamento do ProGD, pois o capital inicial não seria necessário e a economia mensal poderia ser utilizada para pagamento do financiamento.

## CONCLUSÃO

Durante a realização do estudo, foi possível visualizar o grande potencial da energia fotovoltaica. O Brasil tem muito a desenvolver a respeito, e neste momento mostra um pequeno crescimento no quesito das energias renováveis. O local do estudo está inserido na região que possui o mais baixo índice de radiação solar do Brasil, porém este chega a ser quatro vezes maior que o da Alemanha, que atualmente é o segundo país com maior capacidade instalada de painéis fotovoltaicos.

Atualmente, diversas iniciativas públicas e privadas têm se destacado no mercado brasileiro. Empresas de iniciativa privada como a WEG, têm investido em muitos projetos de implantação de usinas fotovoltaicas, em regiões de maiores incidências solar. Acredita-se que com o aumento da quantidade de empresas importadoras ou fabricantes de painéis no Brasil, conseqüentemente, os valores por kWp diminuirão e os projetos apresentarão taxas de retornos menores. Esse aumento já está ocorrendo nos últimos anos e os valores já se apresentam em queda, porém não muito significativa. Já existem incentivos por parte do governo a fim de diminuir a carga tributária na importação ou fabricação dos sistemas fotovoltaicos.

Em relação a viabilidade do investimento no projeto estudado existem alguns fatores a que se comparar, pois existem algumas alternativas no momento que trazem um retorno mais atrativo aos investidores, um exemplo é a adesão ao mercado livre de energia que atualmente possui preços muito atrativos de valor por kWh, que poderia aumentar ainda mais o *pay back* deste projeto podendo chegar a 15 anos, pois este influenciaria na economia mensal (equação 8). Avaliando a viabilidade para casos residenciais, o sistema *on grid* é um aliado na redução do custo na instalação, pois não são necessárias baterias para armazenamento da energia gerada durante sol pleno. Porém, ao injetar energia na rede o usuário vende a energia a um preço menor do que a concessionária cobra no consumo, essa compensação de energia não é proporcional e acaba inviabilizando alguns projetos residenciais, pois grande

parte da energia gerada durante o dia é injetada na rede e, no período de maior consumo da residência, o usuário precisará consumir energia da concessionária. Contudo, este cenário poderá ser bem diferente em alguns anos, pois com o custo por kWp em queda, o investidor poderá ter um retorno do investimento em um período mais atrativo. A análise da viabilidade ou não do projeto deve partir do investidor que poderá amparar ou não o projeto, a conclusão é de que nos próximos anos os investidores e usuários poderão ter períodos de retorno de investimento bem mais atrativos e em patamares mais competitivos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPIT - **Principal desafio da energia solar é político**, artigo público de acesso livre, Agosto de 2016: <[http://www.agenciacti.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9526:principal-desafio-da-energia-solar-e-politico-irmam-especialistas&catid=3:newsflash](http://www.agenciacti.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=9526:principal-desafio-da-energia-solar-e-politico-irmam-especialistas&catid=3:newsflash)> Acesso em 20/03/2017.

ANEEL. **Geração distribuída amplia número de conexões em 2015**, 22 jan. 2016;<[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=9044&id\\_area=>](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9044&id_area=>) Acesso em 27/04/2017.

BARBIERI; R. **Principal desafio da energia solar é político**, artigo público de acesso livre, 01 set. 2016; <<https://www.ecodebate.com.br/2016/09/01/principal-desafio-da-energia-solar-e-politico-afirmam-especialistas/>> Acesso em 29/06/2017.

BRAUN, P. **A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana**. Tese (Doutorado em Programa de Pos-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Orientador: Ricardo RUTHER., , 2010.: < <http://www.fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/teses%20de%20doutorado/a-integracao-de-sistemas-solares-fotovoltaicos-em-larga-escala-no-sistema-eletrico-de-distribuicao-urbana-2010-priscila-braun.pdf>> Acesso em 20/04/2017.

CARVALHO, D. M. S. **Análise e Caracterização Energética de Sistemas Fotovoltaicos de Baixa Potência com Ligação à Rede Elétrica**. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia. Orientador: Prof. Dr. António Pina Martins, 2011: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61319/1/000148388.pdf>> Acesso em 02/10/2017.

CANADIAN. **PRODUCTS/MAXPOWER CS6U-325**. 2017 <[https://www.canadiansolar.com/fileadmin/user\\_upload/downloads/datasheets/v5.5/Canadian\\_Solar-Datasheet-MaxPower-CS6U-M-1500V-v5.52en.pdf](https://www.canadiansolar.com/fileadmin/user_upload/downloads/datasheets/v5.5/Canadian_Solar-Datasheet-MaxPower-CS6U-M-1500V-v5.52en.pdf)> Acesso em 12/10/2017.

EPIA - **Global solar power demand grows nearly 50% in 2016, Europe drops by 20%**, European Photovoltaic Industry Association, 2017: <<http://www.solarpowereurope.org/newsletter-archives/april-2017/our-news/global-solar-power-demand-grows-by-around-50-in-2016-europe-drops-by-over-20/>> Acesso em 15/05/2017.

EPIA - **Global market outlook for solar power / 2016 - 2020**, European Photovoltaic Industry Association, 2016: < <http://www.solarpowereurope.org>

/fileadmin/user\_upload/documents/Events/SolarPower\_Webinar\_Global\_Market\_Outlook.pdf> Acesso em 13/03/2017

GREEN, M.A.; **The history of silicon terrestrial module evolution over the last 50 years is briefly reviewed**, Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, 2005, Sydney, Australia.

HERMANN, L.D.; CAMARA, I.P.; **Viabilidade de implantação de mini usina de energia solar para o Campus Santo Ângelo/RS**, Revista de ciência tecnologia e inovação do instituto federal de Farroupilha – RS, 2016: <periodicos.iffarroupilha.edu.br/index.php/cienciainovacao/article/download/.../pdf\_1> Acesso em 29/04/2017.

IDEAL. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica** - Edição 2015, 2015. Disponível em: <[http://issuu.com/idealeco\\_logicas/docs/2015\\_ideal\\_mercadogdfv\\_150901\\_final](http://issuu.com/idealeco_logicas/docs/2015_ideal_mercadogdfv_150901_final)> Acesso em 20/03/2017.

ISE – **Photovoltaics Report**, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems: Freiburg, 17 November 2016: <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>> Acesso em 03/04/2017.

IEA - **World Energy Outlook**, International energy agency, 2014: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2014.pdf>> Acesso em 11/02/2017.

IEA - **Keyword energy statistics**, International energy agency, 2016: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>> Acesso em 13/02/2017.

INPE – **Atlas brasileiro de energia solar**, 2º Edição – 2017: <[http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/atlas\\_solar.html](http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/atlas_solar.html)> Acesso em 09/09/2017

IRENA – **Renewable Energy statistics 2016**, International Renewable Energy Agency, 2016:<[http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_RE\\_Statistics\\_2016.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Statistics_2016.pdf)> Acesso em 13/02/2017.

KEMERICH, P.D.C.; FLORES, C.E.B.; BORBA, W.F.; SILVEIRA, R.B.; FRANÇA, J.R.; LEVANDOSKI, N. **Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v.20, n. 1, p. 241-247, Abril 2016.

KONZEN, G.; ANDRADE, G.N. **O Efeito de uma tarifa binômia no retorno financeiro da microgeração fotovoltaica**. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar – Belo Horizonte, 04 a 07 de abril de 2016. <<https://www.researchgate.net/publication/301849478>> Acesso em 12/05/2018.

MELLO, Y.R.; KOEHNTOPP, P.I.; **Características climáticas da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Joinville**. Acta Biológica Catarinense. 2017 Out-Dez;4(3):18-28: <<http://periodicos.univille.br/index.php/ABC/article/view/415/418>> Acesso em 12/05/2018

MME - **Fonte solar será responsável por 7 mil MW na matriz energética brasileira até 2024, ministério de minas e energia**, Brasil, 2016.

MME, E.P.E.; **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. 2017, Brasília, DF: [s.n.].

MIT. **The future of solar energy** - And Interdisciplinary MIT Study, 2015. Disponível em:<<https://mitei.mit.edu/futureofsolar>> Acesso em 18/04/2017

NANSEN; **Conheça o NSXI medidor de energia trifásico**. 2017 Disponível em:<<http://www.nansen.com.br/nsxi,1,20>> Acesso em 12/04/2018

RIBEIRO, A.L.; **Energia solar fotovoltaica: viabilidade no segmento residencial** – Dissertação (Mestrado do programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, 2017.

SICILIANO, A.E.; FUCHS, P.G., **Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil**, BNDES, 2013.

SILVA, R.L.; **Viabilidade do uso da energia solar no brasil**. Centro Universitário de Brasília (UniCEUB/ICPD), Brasília, 2012 <<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/7745/1/51100214.pdf>> Acesso em 23/02/2017.

TOLMASQUIM, M.T., **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**, publicação do Ministério de Minas e Energia - Empresa de pesquisa energética do Brasil, Rio de Janeiro, 2016.

VALLÊRA, A.M.; BRITO, M.C.; **Meio século de história da energia fotovoltaica**, Revista eletrônica do departamento de Física e Centro de Física da Matéria Condensada de Lisboa (CFMC), p. 1-6, 2006.



# AUTORIZAÇÃO

Nome do autor: NATAN PINTO BITTENCOURT

RG: 52.88.369

**Título da Dissertação: VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA DE TECNOLOGIA LOCALIZADA NO CAMPUS DA UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE.**

Autorizo a Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, através da Biblioteca Universitária, disponibilizar cópias da dissertação de minha autoria.

Joinville, 12 de Setembro de 2018.



---

Assinatura do aluno