

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**JÚLIA BORTOLOTTO NUERNBERG**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE  
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA NO RAMO DE  
REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

**CRICIÚMA**

**2019**

**JÚLIA BORTOLOTTO NUERNBERG**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE  
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA NO RAMO DE  
REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de bacharel no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Me. Guilherme De Pieri Pickler

**CRICIÚMA  
2019**

**JÚLIA BORTOLOTTO NUERNBERG**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE  
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM UMA EMPRESA NO RAMO DE  
REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Criciúma, 02 de dezembro de 2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Guilherme De Pieri Pickler - (UNESC) - Orientador

---

Prof. Me. Márcio Carlos Just - (UNESC)

---

Prof. Me. Sérgio Bruchchen - (UNESC)

**Dedico este trabalho aos meus pais, como  
agradecimento pelos anos de apoio e  
suporte.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a minha família, em especial aos meus pais Dizelmo Nuernberg e Karina Bortolotto Nuernberg, pelo caminho e valores transmitidos, e ao Henrique Fontana Netto, por todo o apoio.

Ao meu professor e orientador, Guilherme De Pieri Pickler, pelo excelente auxílio prestado no desenvolvimento do trabalho.

Ao meu supervisor de campo, Mainar Allgaier, por todos os valiosos ensinamentos passados durante o período de estágio.

À Portinari, por disponibilizar seus recursos para o desenvolvimento do projeto, e também a toda a equipe do setor de Energia, Projetos e Meio Ambiente.

Aos professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UNESC, pelos conhecimentos compartilhados.

À UNESC e a toda sua equipe de profissionais que, juntamente com uma excelente estrutura, forneceram todos os recursos para o desenvolvimento do estudo.

**“A persistência realiza o impossível.”**

**Provérbio Chinês**

## RESUMO

A energia é um dos principais vetores influentes na questão ambiental e está no centro das discussões globais devido à sua geração ocasionar emissões de gases que ocasionam o efeito estufa, possibilitando alterações climáticas e impactos ao meio ambiente. À vista disso, a necessidade por reduzir o uso de combustíveis fósseis tornou-se prioridade, e as energias renováveis podem ser uma boa alternativa para a redução dos impactos ambientais, além de gerar economias a longo prazo para unidade consumidora. Este trabalho apresenta o estudo da viabilidade técnica e econômica de implantação da geração de energia elétrica através de placas fotovoltaicas em uma empresa do ramo de revestimentos cerâmicos localizada no Extremo Sul Catarinense. A instalação desse sistema tem como finalidades utilizar uma fonte de produção de energia renovável para abastecimento de uma parcela do consumo da empresa, reduzir os custos em energia elétrica, e evadir-se dos aumentos de preço e da limitação da matriz energética nacional. Para isso, foi realizado o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico compatível com a carga instalada do setor administrativo da empresa, de forma a possibilitar uma análise comparativa do cenário atual envolvendo a energia elétrica e o cenário proposto, no que tange ao consumo, geração, redução dos custos e tempo de retorno do investimento. A energia produzida será consumida em sua totalidade pela empresa, sendo primordialmente destinada ao setor administrativo, e o excedente, poderá ser enviado para o setor industrial da mesma. O método utilizado foi a pesquisa bibliográfica, normativa, levantamentos em bases de dados para obtenção das variáveis, e estudo de caso da unidade consumidora. Estudou-se o dimensionamento de um gerador solar com potência proposta do sistema de 320.672,09 Wp para atendimento do consumo mensal do referido setor. Esse sistema será capaz de suprir o consumo anual de energia elétrica, produzindo até 395.297,29 kWh ao ano. A previsão de investimento foi de R\$ 1.213.916,68 com tempo de retorno em 7 anos e 7 meses. Esse sistema é capaz de gerar 8.805.247,17 kWh e uma economia de até R\$ 9.505.079,09 durante os 25 anos de vida útil dos painéis fotovoltaicos. O valor da Taxa Interna de Retorno é de 18,71 %, que, conseqüentemente é maior que a taxa de atratividade, o que pode ocasionar a aprovação do projeto em questão pela empresa. Assim, a implantação da energia solar fotovoltaica na unidade consumidora em estudo representa uma oportunidade de ganho do investimento realizado, propiciando a redução de custos no consumo de energia elétrica durante os anos de vida útil do sistema.

Palavras-chave: Energia Solar. Placas Fotovoltaicas. Viabilidade Econômica.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Matriz elétrica brasileira no ano de 2018.....	14
Figura 2 – Perfil das emissões brasileiras de CO <sub>2</sub> equivalente por setor da economia no ano de 2015 .....	17
Figura 3 – Itens que compõem o sistema de energia solar fotovoltaica <i>On Grid</i> .....	21
Figura 4 – Identificação dos componentes e respectivas cargas instaladas no setor administrativo (%).....	29
Figura 5 – Irradiação solar no plano inclinado ocorrente no local onde está situada a empresa (kWh/m <sup>2</sup> .dia) .....	32
Figura 6 – Painéis solares monocristalino e policristalino .....	35
Figura 7 – Inversor solar .....	36
Figura 8 – <i>String box</i> .....	37
Figura 9 – Cabo solar.....	38
Figura 10 – Localização no espaço dos possíveis locais de instalação dos painéis .	39
Figura 11 – Local escolhido para instalação do sistema (Estacionamento 01) .....	41
Figura 12 – Local escolhido para instalação do sistema (Estacionamento 02) .....	41
Figura 13 – Instalação dos painéis fotovoltaicos no estacionamento (Estrutura <i>Carport</i> ) .....	42
Figura 14 – Fatores de perdas em sistemas fotovoltaicos .....	43
Figura 15 – Arranjo dos painéis solares .....	53
Figura 16 – Energia gerada e energia consumida (kWh) .....	55
Figura 17 – Economia financeira anual .....	59
Figura 18 – Fluxo de caixa acumulado.....	60



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critério de decisão para a TIR.....	25
Tabela 2 – Identificação dos componentes e respectivas cargas instaladas no setor administrativo (W) .....	28
Tabela 3 – Irradiação solar média mensal ocorrente no local onde está situada a empresa (kWh/m <sup>2</sup> .dia) .....	32
Tabela 4 – Levantamento dos modelos de painéis fotovoltaicos para seleção .....	34
Tabela 5 – Dados para o dimensionamento da potência requerida do gerador solar .....	50
Tabela 6 – Previsão da geração fotovoltaica.....	51
Tabela 7 – Número de painéis fotovoltaicos e valor total dos painéis .....	52
Tabela 8 – Dados para determinação do número de inversores.....	54
Tabela 9 – Previsão da geração fotovoltaica.....	55
Tabela 10 – Valor inicial do investimento .....	57
Tabela 11 – Previsão da geração fotovoltaica.....	58

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCM	Associação Brasileira de Carvão Mineral
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco de Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
GEE	Gases do Efeito Estufa
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
TD	Taxa de Desempenho
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1 CENÁRIO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL .....	14
2.2 IMPACTOS DAS ENERGIAS NÃO RENOVÁVEIS E RENOVÁVEIS .....	16
2.3 ENERGIA SOLAR .....	17
2.4 EFEITO FOTOVOLTAICO E TIPOS DE PLACAS SOLARES .....	19
2.5 SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA .....	20
2.6 REGULAMENTAÇÃO E LICENCIAMENTO AMBIENTAL .....	22
2.7 METODOLOGIAS DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	23
2.8 ANÁLISE DE INVESTIMENTOS .....	25
<b>2.8.1 Taxa Interna de Retorno</b> .....	<b>25</b>
<b>2.8.2 Payback</b> .....	<b>26</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
3.1 COLETA DE DADOS DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	28
3.2 DETERMINAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR.....	30
3.3 LEVANTAMENTO DOS COMPONENTES PARA FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO .....	33
<b>3.3.1 Pannel solar fotovoltaico</b> .....	<b>34</b>
<b>3.3.2 Inversor</b> .....	<b>35</b>
<b>3.3.3 String Box</b> .....	<b>36</b>
<b>3.3.4 Cabo solar</b> .....	<b>37</b>
3.4 POSICIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO .....	38
3.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	42
<b>3.5.1 Potência do pannel fotovoltaico</b> .....	<b>42</b>
<b>3.5.2 Previsão de geração de energia elétrica anual</b> .....	<b>44</b>
<b>3.5.3 Seleção do pannel fotovoltaico e determinação do número de placas</b> .....	<b>44</b>
<b>3.5.4 Dimensionamento do inversor</b> .....	<b>45</b>
3.6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA .....	45
<b>3.6.1 Taxa Interna de Retorno</b> .....	<b>46</b>
<b>3.6.2 Payback</b> .....	<b>47</b>
<b>3.6.3 Custos operacionais e de manutenção</b> .....	<b>48</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS</b> .....	<b>49</b>

4.1 PROJETO DO GERADOR SOLAR.....	49
4.2 PREVISÃO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL.....	50
4.3 SELEÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO E DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE PLACAS E ÁREA OCUPADA.....	52
4.4 COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	54
4.5 VIABILIDADE ECONÔMICA .....	56
<b>4.5.1 Valor inicial do investimento.....</b>	<b>56</b>
<b>4.5.2 Análise financeira dos próximos 25 anos.....</b>	<b>57</b>
<b>4.5.3 Taxa Interna de Retorno .....</b>	<b>60</b>
4.6 EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> .....	61
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica brasileira, segundo o BEN (2019), é proveniente principalmente de hidroelétricas e combustíveis fósseis. Essas fontes de energia causam severos impactos ambientais, capazes de alterar características da fauna e flora, ocasionar mudanças climáticas, e também impactos sociais (JANNUZZI E SWISHER, 1997).

Neste contexto, as fontes renováveis de energia, como a solar, a biomassa e a eólica, vêm crescendo no mundo de forma significativa a partir do início da década de 1990, impulsionadas pela pressão ambiental que gera mecanismos econômicos de incentivo à utilização de tais fontes (FANTINELLI, 2002).

A energia solar fotovoltaica destaca-se como uma tecnologia consolidada e favorável perante às alternativas de diversificação, sendo um dos principais fatores os altos índices de irradiação solar devido à localização geográfica do Brasil (CCST/LABREN/INPE, 2017).

Somado a isto, o mercado de energia fotovoltaica vem ofertando painéis fotovoltaicos mais eficientes devido ao processo dos progressos tecnológicos, com custo de investimento reduzido e disponibilidade de linhas de financiamento como incentivo para aplicação, tornando assim a energia solar fotovoltaica um investimento economicamente viável para os brasileiros (REVISTA ÉPOCA, 2019).

Avistando os benefícios desta fonte de energia, o estudo apresentado no referente trabalho refere-se à implantação de um parque de energia solar fotovoltaica em uma empresa no ramo de revestimentos cerâmicos localizada no Extremo Sul Catarinense.

O interesse por tal tema aconteceu face à necessidade de avaliar oportunidades de redução de custo para empresa, através da implantação de outra fonte alternativa de geração de energia elétrica, considerando o atual contexto de reajuste no custo da energia elétrica e o cenário de limitação vivenciado pela matriz de geração elétrica brasileira. Além dos fatores supracitados, é de grande relevância para o meio ambiente a aplicação de fontes de energia alternativas e renováveis para geração de energia elétrica.

Esse projeto possui caráter ambiental e econômico para empresa e para região, com potencial para diminuir os custos do consumo de energia elétrica, explorar o marketing verde e divulgar a política de sustentabilidade da empresa, focada em reduzir os impactos ambientais gerados na produção de revestimento cerâmicos.

O trabalho tem como objetivo geral desenvolver o estudo da viabilidade técnica e econômica para implantação de energia solar fotovoltaica para abastecimento do setor administrativo de uma empresa no ramo de revestimentos cerâmicos.

O interesse pelo setor administrativo se deu por parte da empresa, tendo em vista, o valor do investimento para implantação do sistema, e a área disponível restrita.

Dentre os objetivos específicos o estudo se propõe:

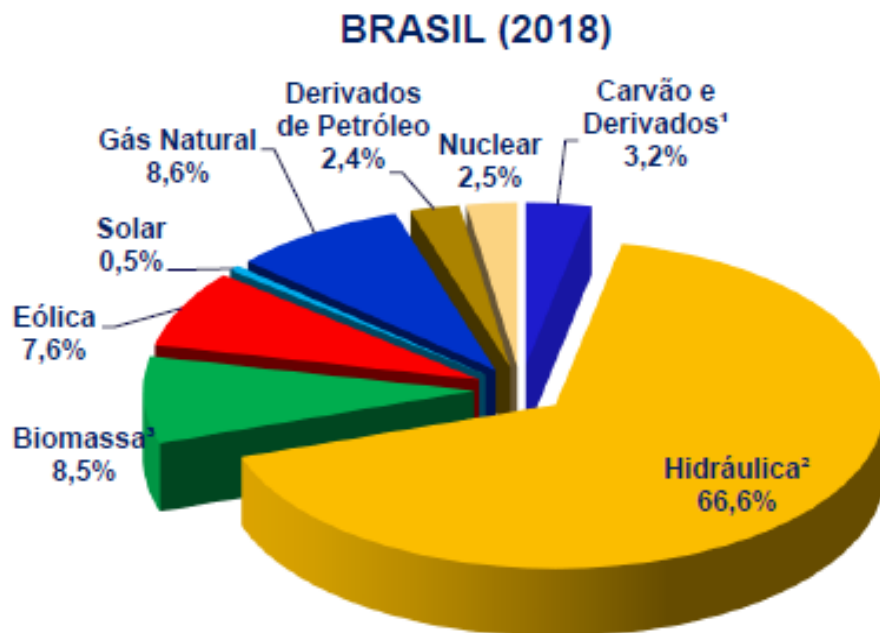
- Realizar o levantamento do consumo mensal do setor administrativo da empresa;
- Verificar os valores da irradiação solar na localização geográfica da empresa em estudo e analisar o melhor posicionamento do sistema fotovoltaico;
- Realizar o levantamento dos equipamentos e respectivos custos para composição do sistema fotovoltaico;
- Selecionar a melhor área para empresa realizar a instalação do sistema fotovoltaico;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico adequado para atender a previsão de consumo;
- Realizar um comparativo do cenário de consumo com e sem o sistema fotovoltaico;
- Calcular a viabilidade econômica do investimento através dos métodos da Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback*;
- Calcular a redução da emissão de CO<sub>2</sub> com a instalação do sistema fotovoltaico.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CENÁRIO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

De acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN (2019), que tem por finalidade apresentar a contabilização relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil, em 2018 foi ofertado 636,4 TWh de energia elétrica. A matriz energética elétrica do BEN mostrou que a geração de energia por fonte hidráulica correspondeu 66,6 %, sendo esta a maior fonte de energia elétrica no Brasil, seguindo pelo gás natural 8,6 %, biomassa 8,5 %, eólica 7,6 %, carvão e derivados 3,2 %, nuclear 2,5 %, derivados de petróleo 2,4 % e solar 0,5 %, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Matriz elétrica brasileira no ano de 2018



Fonte: BEN, 2019

Em 2018, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 416,1 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sendo 18,8% emitido pelas indústrias (BEN, 2019).

Considerando o levantamento realizado pelo BEN (2019), observou-se no ano de 2018 o incremento da geração hidráulica e eólica, aumento da oferta de lixo e biodiesel, redução da oferta de petróleo e seus derivados, e da oferta de gás

natural. Embora tenha havido a redução das fontes não renováveis, há muito a ser explorado no Brasil, considerando que o consumo total de energia advém 54,7 % de fontes não renováveis.

Segundo o Ministério de Minas de Energia – MME (2017), o Brasil é um país localizado na região intertropical, possuindo grande potencial para a utilização de uma fonte de energia renovável ao longo de todo o ano, a energia solar. Porém, ao final de 2016, o Brasil possuía somente 81 MWp de energia solar fotovoltaica instalados, onde 24 MWp correspondiam à geração centralizada e 57 MWp à geração distribuída.

A potência nominal das células é medida em Watt pico (Wp), que significa a potência que uma célula pode fornecer com uma radiação constante de 1000 W/m<sup>2</sup> a uma temperatura de 25 °C (MARINI, 2001).

Tendo em vista o potencial de crescimento do setor de energia renovável no Brasil, empresas chinesas como Huawei, Goldwind, BYD and Yingli foram atraídas para o país, bem como a empresa canadense, Canadian Solar, e empresas de energia europeias como a Engie e a EDF (MAIA, 2018).

A competição gerada no mercado da energia fotovoltaica, segundo a Revista Época (2019), acarretou na redução dos custos dos equipamentos fotovoltaicos, aumento da tecnologia, e junto a isso, os bancos criaram diversas linhas de financiamento, propiciando a energia solar fotovoltaica tornar-se mais acessível aos brasileiros. O resultado disso deve ser o salto de 44 % na capacidade instalada de energia solar fotovoltaica em 2019, o que levaria o país à marca de 3,3 GW da fonte em operação.

O Brasil, com uma inserção maior de energia solar fotovoltaica, diminuiria cada vez mais a dependência da energia de origens não renováveis e reduziria os riscos com incertezas climáticas, como a crise hídrica que afetou os reservatórios do país nos últimos, vulnerabilidade às tarifas adicionais quando as condições de geração de energia estão mais custosas, além de minimizar a emissão dos gases do efeito estufa (GEE) (MAIA, 2018).



## 2.2 IMPACTOS DAS ENERGIAS NÃO RENOVÁVEIS E RENOVÁVEIS

Para Jannuzzi e Swisher (1997), o uso de energia, seja através de combustíveis fósseis, nucleares, ou através da exploração em grande escala da hidroeletricidade, ou ainda de recursos de biomassa, provocam os mais severos impactos ambientais, e isso inclui poluição do ar, lixo radioativo, sedimentação das bacias dos rios, desmatamento, erosão do solo, etc.

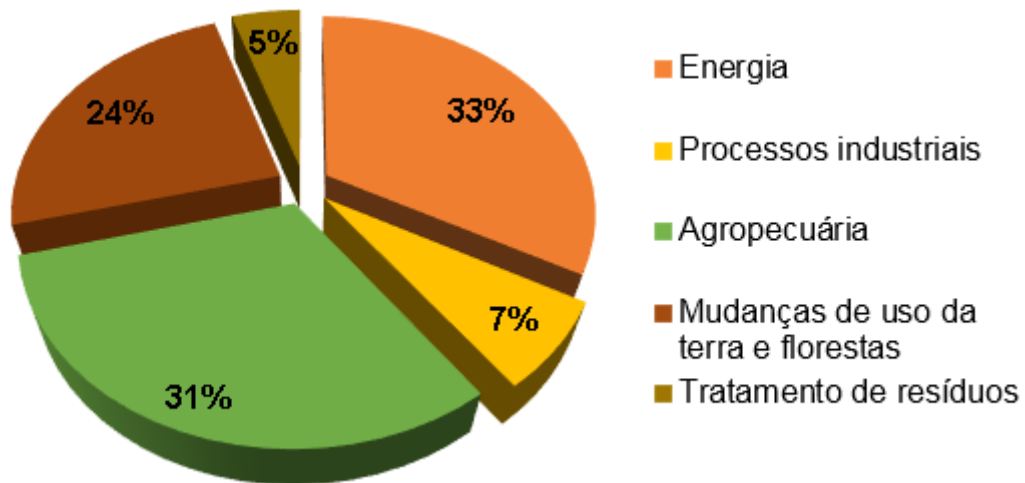
Com o aumento da queima de combustíveis fósseis, houve um aumento exponencial da concentração de gases, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ou seja, basicamente os GEE já existentes na atmosfera, causando a intensificação do efeito estufa. Isto é, uma maior quantidade de calor é retida na Terra, gerando o processo de alteração no sistema climático do planeta, chamado de aquecimento global (BURATTINI, 2008).

As mudanças climáticas vigoram com destaque entre os temas ambientais mais discutidos na atualidade, bem como as indagações que perpassam por essa temática, como o derretimento das calotas polares e o aumento do nível dos oceanos (FALLEIRO, ANDRADE E GASTALDINI, 2016).

De acordo com o MCTIC (2017), o perfil de emissões de  $\text{CO}_2$  equivalente no Brasil se alterou ao longo dos anos. No passado, as principais fontes de emissão eram devido às queimadas e incêndios florestais. Atualmente, as atividades que mais contribuem para as emissões são a agropecuária e o setor de energia.

Os processos industriais, setor da economia no qual a empresa em questão se insere, se referem às emissões resultantes das indústrias e que não são resultado da queima de combustíveis, dos subsetores de produtos minerais, metalurgia e química, além da produção e consumo de HFCs e  $\text{SF}_6$  (MCTIC, 2017). A Figura 2 ilustra o perfil das emissões brasileiras no ano de 2015.

Figura 2 – Perfil das emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> equivalente por setor da economia no ano de 2015



Fonte: adaptado de MCTIC, 2017

Para Goldemberg (2001), as usinas hidrelétricas não produzem poluentes associados aos combustíveis fósseis, mas interferem e impactam na sociedade e no meio ambiente devido à construção de grandes represas, formação de lagos e interferência geral sobre os fluxos dos rios, além da necessidade da realocação das populações ali presentes.

Além dos impactos ambientais causados pelas fontes de energia acima, de acordo com Palz (2002), as reservas não renováveis de energia estão se esgotando devido às atuais taxas extração, havendo a necessidade de se buscar por fontes alternativas de energia e de utilizar a tecnologia desenvolvida no âmbito de energia para um breve futuro. As energias solar e eólica aparecem como excelentes recursos para a questão da exaustão das reservas não renováveis.

### 2.3 ENERGIA SOLAR

O sol é um enorme “reator de fusão”, com enorme quantidade de hidrogênio gasoso para combustão, garantindo constante geração de energia, sendo base para quase todas as formas de conversão de energia na Terra. Hinrichs e Kleinbach (2003) afirmam que, nestas reações, uma gigantesca quantidade de energia é liberada à medida que os átomos de hidrogênio se fundem. A quantidade de radiação que chega à Terra é chamada de irradiação ou “radiação solar incidente”.

A intensidade da radiação solar fora da atmosfera depende da distância entre o Sol e a Terra, que durante o decorrer do ano pode variar entre  $1,47 \times 10^8$  km e  $1,52 \times 10^8$  km. Devido a este fato, a irradiação varia entre  $1.373 \text{ W/m}^2$  e  $1.353 \text{ W/m}^2$ , segundo a *World Meteorological Organization* (WMO) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). (VILAÇA, 2009, p.34).

Segundo Sáles (2008), a localização no globo terrestre deve ser levada em consideração ao realizar a análise do potencial de aproveitamento da energia solar em uma região. As regiões localizadas entre os círculos polares e os trópicos podem ser consideradas como de médio potencial de energia solar, e as regiões localizadas entre as linhas tropicais podem ser consideradas de alto potencial. O Brasil se encontra entre os trópicos e próximo à linha do Equador, caracterizando-se como uma região que pode obter altos índices de irradiação solar.

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro ( $1.500\text{-}2.500 \text{ kWh/m}^2\text{ano}$ ) são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como Alemanha ( $900\text{-}1.250 \text{ kWh/m}^2\text{ano}$ ), França ( $900\text{-}1.650 \text{ kWh/m}^2\text{ano}$ ) e Espanha ( $1.200\text{-}1.850 \text{ kWh/m}^2\text{ano}$ ), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados. (CCST/LABREN/INPE, 2017, p. 31).

De acordo com os dados apresentados no Atlas Brasileiro de Energia Solar, é possível identificar que a média anual de irradiação global apresenta uniformidade, com médias anuais altas em todo Brasil, apesar das variações climáticas. O valor máximo onde ocorre a irradiação é no estado da Bahia, e a menor irradiação solar ocorre no Litoral Norte de Santa Catarina (CCST/LABREN/INPE, 2017).

Os níveis de irradiação ao longo dos meses são distintos para as regiões brasileiras. A região Sul, por exemplo, recebe maior incidência solar durante o verão do que a região Norte, que está próxima à linha do Equador. Isso ocorre, principalmente, à maior nebulosidade e alta precipitação durante o verão, que corresponde ao período chuvoso na região amazônica. Porém, durante o inverno ocorre o contrário e a região Norte recebe maiores níveis de irradiação neste período em relação à região Sul (MARTINS, PEREIRA E ABREU 2006).

No que tange à região em que será realizado o estudo, no período de 10 anos analisado, a região Sul apresentou maior variabilidade interanual, com as médias anuais variando entre  $4,6$  e  $6,0 \text{ kWh/m}^2\text{dia}$  (CCST/LABREN/INPE, 2017).

## 2.4 EFEITO FOTOVOLTAICO E TIPOS DE PLACAS SOLARES

Dentre as formas de aproveitamento da energia solar através das transformações utilizadas, destacam-se a energia solar térmica, onde os sistemas basicamente transformam os raios solares em calor, e a energia solar fotovoltaica, onde os sistemas transformam a energia contida nos raios solares diretamente em eletricidade (ALVES, 2016).

A conversão da radiação do sol em energia elétrica, segundo Burattini (2008), pode ser realizada através da conversão direta por transferência de energia radiante aos elétrons de um sólido, chamados semicondutores. A radiação solar quando interage com a matéria produz calor e luz. Nos materiais semicondutores o efeito termoelétrico e a luz provocam o efeito fotovoltaico. Este efeito decorre da excitação dos elétrons desses materiais na presença de luz. Cada elétron excitado descola-se deixando uma “lacuna” no átomo e outros elétrons se movem então para essas lacunas. Esse deslocamento dos elétrons forma uma corrente elétrica no material. A energia elétrica produzida é chamada de energia solar fotovoltaica.

Para aproveitamento dessa propriedade fotovoltaica dos semicondutores foram desenvolvidas pequenas lâminas chamadas de células fotovoltaicas ou células solares. Estas lâminas são recobertas por uma camada de décimos de milímetros de um material semicondutor. Quase 80 % dos painéis fotovoltaicos no mundo são baseados em alguma variação de silício. As células então são depois agrupadas para formar os módulos solares (BURATTINI, 2008).

Existem diferentes células fotovoltaicas e de acordo com Portal Solar (s.d.), a tecnologia monocristalina é a mais antiga e possui a maior eficiência (15-22 %). O painel monocristalino é feito a partir de um único cristal de silício ultrapuro. O material é fatiado, criando lâminas de silício individuais, que então são tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. No painel policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, preservando a formação de múltiplos cristais, sendo assim, são ligeiramente menos eficientes (14-20 %).

Encontram-se também no mercado, segundo o Portal Solar (s.d.), os painéis solares com a tecnologia de filme finos, onde uma ou várias camadas finas de material fotovoltaico são depositados sobre um substrato. Na estrutura amorfa, os painéis possuem uma estrutura semicondutora que é depositada de forma contínua

sobre uma base metálica laminar. Esse processo permite a fabricação de um painel flexível. Porém, esse tipo de estrutura possui uma eficiência bastante reduzida exigindo uma área de cobertura maior para gerar a mesma quantidade de energia.

O telureto de cádmio é a única tecnologia de painéis solares de película fina que superou o custo/eficiência de painéis solares de silício cristalino em uma parcela significativa do mercado mundial de painéis solares. Dentre outras tecnologias de filme fino pode-se citar, as células solares de seleneto de cobre, índio e gálio que mostraram o maior potencial em termos de eficiência (10-13 %). Muitos tipos de células solares de película fina estão ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, e no futuro será possível ver algumas soluções interessantes vindas desta tecnologia (PORTAL SOLAR, s.d.).

De acordo com Anami (2017), apesar de caras, por conta do processo de fabricação exigir um silício quase que puro, na ordem de 97-99 % de pureza, tanto as células silício monocristalino e silício policristalino são as mais utilizadas pelo mundo.

Comercialmente os painéis fotovoltaicos possuem garantia de 3 a 5 anos, contra defeito de fabricação, e a garantia de funcionamento é de aproximadamente 25 anos, de acordo com o fabricante, sendo a taxa de degradação da potência de 0,5-1,0 % ao ano (CRESESB, 2014).

No entanto, existem registros em alguns países europeus, como a Alemanha, que os sistemas fotovoltaicos já estão em utilização há cerca de 30 anos, apresentando durabilidade e confiabilidade de geração (SANTOS, 2009).

## 2.5 SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

O funcionamento de um sistema de geração fotovoltaica, conforme Hinrichs e Kleinbach (2003), se dá através de células solares individuais conectadas eletricamente a placas planas para atender a demanda de energia elétrica. Estes arranjos são conectados para formar um sistema fotovoltaico. Em uma escala menor, células solares individuais podem ser conectadas em série ou em paralelo. Cada célula é capaz de fornecer apenas uma quantidade específica de energia. Células adicionais podem ser somadas para aumentar a produção de energia.

Um arranjo fotovoltaico geralmente consiste em combinações de grupos de células conectados em série e em paralelo. A saída das células solares é de corrente contínua (CC), sendo assim, para utilizações que demandem corrente alternada (CA), como TVs e motores, um inversor deve ser utilizado para conversão de corrente contínua em alternada. Qualquer produção extra pode ser passada para rede elétrica comercial (HINRICHS E KLEINBACH, 2003).

Conforme Alves (2019), os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados de forma autônoma (*Off Grid*) ou conectados à rede de distribuição convencional (*On Grid*). Os sistemas fotovoltaicos *On Grid* possibilitam ao consumidor conectar-se à rede de distribuição de energia elétrica, enquanto os sistemas *Off Grid* são mais indicados para atender pequenas demandas de energia, em locais de difícil acesso. Em sistemas *On Grid* podem ser gerados créditos junto à concessionária de energia, os quais são resultantes da potência gerada pelo sistema fotovoltaico menos o consumo. Nos sistemas fotovoltaicos isolados (*Off Grid*), ocorre a utilização das baterias para armazenamento da energia produzida. Quando a produção de energia solar fotovoltaica compreende o período de baixa geração é necessário o fornecimento de energia das baterias. A Figura 3 ilustra os componentes de um sistema de energia solar fotovoltaica *On Grid*.

Figura 3 – Itens que compõem o sistema de energia solar fotovoltaica *On Grid*



## 2.6 REGULAMENTAÇÃO E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Em 17 de abril de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL divulgou a Resolução Normativa nº 482, que estabelece as condições para o acesso de microgeração e minigeração distribuída. Posteriormente, foi alterada pela Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015, (ANEEL, 2012; 2015), que classifica como micro e minigeradores as centrais com as seguintes fontes e potências instaladas:

I – Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II – Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (Resolução ANEEL nº 687/15, p.1).

A geração de energia elétrica pelo próprio consumidor através de fontes renováveis está regulamentada pelas normativas previstas nestas resoluções, inclusive com a possibilidade de fornecer o excedente gerado à rede de distribuição. A produção de energia elétrica excedente é fornecida à rede de distribuição da concessionária local a título de crédito, que posteriormente será utilizada para abater o consumo final. A resolução 482/2012 não prevê a conversão desse crédito em dinheiro, mas dá a possibilidade de utilizar os créditos para abater o consumo em outro posto tarifário, ou seja, outra unidade consumidora de mesma titularidade, até o prazo de 60 meses (ANEEL, 2012; 2015).

No que tange o licenciamento ambiental, segundo a Resolução CONAMA nº 237/97 se caracteriza como licenciamento ambiental:

Procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso. (Resolução CONAMA nº 237/97, p.1).

Nessa mesma tratativa, a Resolução CONSEMA nº 98/17, em seu Art. 11 que dispõe sobre ampliação do empreendimento ou alteração de suas atividades apresenta em seu inciso 5º:

Qualquer alteração nas instalações e equipamentos das atividades licenciadas, que não impliquem a alteração dos critérios estabelecidos no licenciamento ambiental, deve ser informada ao órgão ambiental licenciador para conhecimento e inserção no processo de licenciamento ambiental original, sem a necessidade de licenciamento ambiental para ampliação. (Resolução CONSEMA nº 98/17, p.7).

Para o licenciamento ambiental e respectivos estudos ambientais para produção de energia solar fotovoltaica, a Resolução CONSEMA nº 98/17 utilizando-se a atividade nº 34.11.04, afirma que sistemas de pequeno porte  $1 \leq P \leq 10$  MW necessitam de Relatório Ambiental Prévio (RAP), bem como os sistemas de médio porte  $10 < P < 30$  MW. Sistemas de grande porte  $P \geq 30$  MW necessitam elaborar um Estudo Ambiental Simplificado (EAS) O porte inferior ao caracterizado como porte "P", deverá ser licenciado por meio da expedição de Autorização Ambiental (AuA).

## 2.7 METODOLOGIAS DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Diversas aplicações de energia fotovoltaica estão sendo feitas ao redor do mundo. Conforme Burattini (2008), além da geração em larga escala para produção de eletricidade, as chamadas fazendas solares, outras aplicações estão sendo feitas como, por exemplo, para uso doméstico, onde a energia elétrica gerada durante o dia é acumulada em baterias, para ser utilizada à noite, abastecendo a demanda elétrica de televisões, geladeiras, chuveiros. Outras aplicações são: bombeamento de água para irrigação, projetos espaciais, para abastecimento de satélites, telescópios, sondas e estações espaciais, equipamentos náuticos, como por exemplo, boia de sinalização náutica, iluminação e rádio comunicação de embarcações, e cercas elétricas, para contenção de animais em áreas rurais e na rede de segurança de residências associadas à rede de alarme.

Alcantara (2017) realizou um estudo para a implementação de sistema fotovoltaico em condomínio residencial com conexão à rede de distribuição de energia elétrica. A análise mostrou que o projeto é viável, tendo um curto tempo de retorno do investimento, de 3 anos, o valor investido no sistema de geração fotovoltaica voltaria em sua integridade para o condomínio na forma de redução de gasto com energia elétrica, e considerando também o tempo de vida útil prolongado, aproximadamente 30 anos.



Kloster, Marques e Bastarz (2011) pesquisou a implantação de um sistema fotovoltaico como fonte de energia elétrica auxiliar em uma embarcação, para abastecer todas as cargas de serviços auxiliares da embarcação, como equipamentos de iluminação, comunicação e de segurança. Foi evidenciado que embora os custos de investimentos fossem elevados, sua aplicação reflete em benefícios socioambientais, como incentivo à inovação, marketing ambiental e melhoria da imagem da empresa perante passageiros, investidores e sociedade em geral.

Porto *et al.* (2017) estudou a implantação de um sistema solar fotovoltaico flutuante em um reservatório do semiárido brasileiro com o intuito de gerar eletricidade e reduzir a evaporação da água em reservatórios. Esse tipo de instalação se mostrou eficiente para regiões que sofrem com escassez hídrica, além de gerar energia elétrica através de uma fonte renovável. A estimativa do potencial de produção de energia elétrica mostrou um total de potência instalada correspondentes a uma produção anual de energia elétrica de 9.256 MWh/ano.

Mostofi, Nosrat e Pearce (2011) estudou a adoção de energia solar em um hospital em Teerã no Irã, onde foi proposta a aplicação da energia renovável e cogeração para aumento da eficiência. A energia fotovoltaica reduz o tempo de execução para a cogeração atender a carga, suprimindo o horário de pico ou em condições meteorológicas adversas. Os resultados mostraram a possibilidade de redução do consumo de gás natural de 55 % a 62 %. Essa redução no consumo de gás natural ilustra o potencial da energia solar fotovoltaica e sistemas de cogeração.

Michels *et al.* (2009) avaliaram o bombeamento de água em um sistema alimentado por painéis fotovoltaicos localizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Uma bomba do tipo diafragma foi alimentada pelos painéis e bombeou água à altura de 20 metros, altura entre a cisterna e a caixa d'água. No solstício de inverno o sistema apresentou eficiência de 9,58 % com bombeamento diário de 2.056 litros, enquanto o solstício de verão apresentou eficiência de 9,07 % com bombeamento diário de 2.377 litros, comprovando que a temperatura, além do nível de radiação, possui influência sobre o módulo fotovoltaico.

A menor eficiência do sistema no verão pode ser justificada pela elevação da temperatura, pois a mesma faz com que a banda de energia do material semicondutor diminuía, acarretando em acréscimo da fotocorrente gerada. No

entanto, a tensão de circuito aberto decresce, resultando que a potência diminua em 1 % a cada 2,7 °C de elevação de temperatura. A maior quantidade de água bombeada está atrelada à maior quantidade de horas de insolação para os dias de verão, resultando em maior tempo de funcionamento do sistema. Torna-se interessante o uso desse sistema, por exemplo, em residências remotas distantes da rede elétrica, nos bebedouros para animais e na irrigação de culturas de baixo consumo de água (MICHELS *et al.* 2009).

## 2.8 ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

Na decisão de investimentos, as empresas utilizam de mecanismos de cálculo para análise de oportunidades. Dentre as ferramentas mais utilizadas para essa análise podem ser citadas o tempo de retorno do investimento, ou *Payback* e a Taxa Interna de Retorno (TIR) (SOUZA E CLEMENTE, 2004).

Segundo Filho (2010), os métodos citados são equivalentes e conduzem ao mesmo resultado, no entanto, cada um deles adapta-se melhor a determinado tipo de problema.

### 2.8.1 Taxa Interna de Retorno

A TIR é a mais usada das técnicas sofisticadas de orçamento de capital. O raciocínio básico por trás desse método é fornecer um único número resumindo os méritos de um projeto. Esse número não depende da taxa predominante no mercado de capitais. O número é inteiro ou intrínseco ao projeto e não depende de qualquer coisa a não ser os fluxos de caixa do projeto. A regra geral da TIR é aceitar o projeto se for maior do que a taxa de desconto adequada ao projeto ou, rejeite o projeto se for menor do que essa taxa de desconto (WESTERFIELD E LAMB, 2015).

A Tabela 1 mostra o critério de decisão para aceitar ou rejeitar projeto quando se usa a TIR.

Tabela 1 – Critério de decisão para a TIR

TIR > Custo de Capital	Aceitar projeto
TIR < Custo de Capital	Rejeitar Projeto

Fonte: Adaptado de Gitman, 2010

Conforme Pereira e Almeida (s.d.), a TIR é a taxa de juros que iguala, em um período do tempo, o valor presente das entradas as saídas previstas de caixa. O investimento se mostrará economicamente atraente se ao resultado for maior do que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que é o melhor retorno que seria obtido por um empreendedor caso usasse seu dinheiro em uma alternativa econômica, por exemplo, o rendimento de um Certificado de Depósito Interbancário (CDI).

Para Filho (2010), a utilização desse método, dá-se normalmente em projetos de implantação ou expansão industrial, como comparação com os índices normais do setor em que o projeto se referir.

Segundo Bruni e Famá (2003), algumas conclusões podem ser extraídas da aplicação da TIR. Dentre elas podem ser citadas: durante o prazo de análise do projeto, todos os retornos gerados serão reinvestidos no valor da TIR. Quando calculados com a TIR, o valor de todas as saídas é igual ao valor presente de todas as entradas do fluxo de caixa do projeto. A TIR mensura a rentabilidade do projeto de investimento sobre a parte não amortizada do investimento, e a rentabilidade dos fundos permanecem internamente investidos no projeto.

### **2.8.2 Payback**

Conforme Pinho *et al.* (2011), o período de *Payback* é o prazo necessário para que os fluxos de caixa de um investimento equiparem-se a seu custo e ocorra a amortização do mesmo, ou seja, o momento em que o fluxo de caixa acumulado tornasse positivo.

“O método do *Payback* é uma forma simples, fácil e direta, que estima o prazo necessário para se recuperar o investimento realizado” (BRUNI e FAMÁ, 2007, p. 67).

De acordo com Souza e Clemente (2004), é possível analisar o *Payback* como uma medida de risco: quanto maior o período de retorno, maior o risco de perda, associado a instabilidades imprevisíveis.

Segundo Westerfield e Lamb (2015), o método *Payback* é utilizado por empresas de grande porte ao tomar decisões relativamente pequenas devido a facilidade de tomada de decisão.

Bruni e Famá (2003) destacam as vantagens e desvantagens do *Payback* simples, entre as principais vantagens desse método estão: aplicação fácil e simples, fácil interpretação, serve como medida de risco já que sua estimativa reduz o grau de incerteza, quanto menor seu valor, menor o risco associado ao projeto, serve como medida de liquidez já que representa o tempo de recuperação do capital, assim, quando menor seu valor, maior a liquidez.

Já as desvantagens inerentes ao uso do *Payback* descontado são: não leva em conta o dinheiro no tempo. Não considera todos os capitais do fluxo de caixa, com isso existe a tendência de recusa de projetos mais longos e rentáveis. Não é uma medida de rentabilidade, mede apenas o prazo de retorno (BRUNI E FAMÁ, 2003).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo em questão foi desenvolvido com o intuito de suprir a necessidade de energia elétrica do setor administrativo de uma empresa do ramo de revestimentos cerâmicos localizada em Criciúma, no Extremo Sul Catarinense.

#### 3.1 COLETA DE DADOS DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Tendo em vista a dificuldade em identificar o consumo mensal do setor objeto deste estudo, devido ao medidor de energia elétrica estar ligado também a uma fração da unidade fabril, sendo o levantamento do consumo desejado irrisório se comparado a unidade fabril, no primeiro instante foi levantado a carga instalada de energia elétrica do setor administrativo. Para o estudo, direcionou-se uma análise para todas as cargas do local, levando em consideração os equipamentos de CA, unidades, potências individuais, tempo de operação dos equipamentos e seu consumo médio diário. Sendo as cargas individuais apresentadas, foi possível realizar os cálculos e determinar a carga total necessária para o suprimento de energia elétrica do setor.

Os setores envolvidos na análise são o escritório, salas de reunião, laboratório, copa, SAC e televentas, desenvolvimento, showroom, auditório, cafeteria, sala de refeição, segurança, consultório médico, consultório odontológico e o setor de tecnologia da informação (TI). Com base nesses setores, foram analisados os principais componentes elétricos e eletrônicos presentes nesses setores, dentre eles, condicionadores de ar, luminárias, computadores, impressoras, impressoras, refrigeradores, retroprojetores, televisores e outros não mensurados.

Após o levantamento *in loco* da carga instalada foi constatado que a carga total instalada é 264 kW, sendo os condicionadores de ar responsáveis por mais da metade dessa carga instalada, como mostra a Tabela 2 e Figura 4.

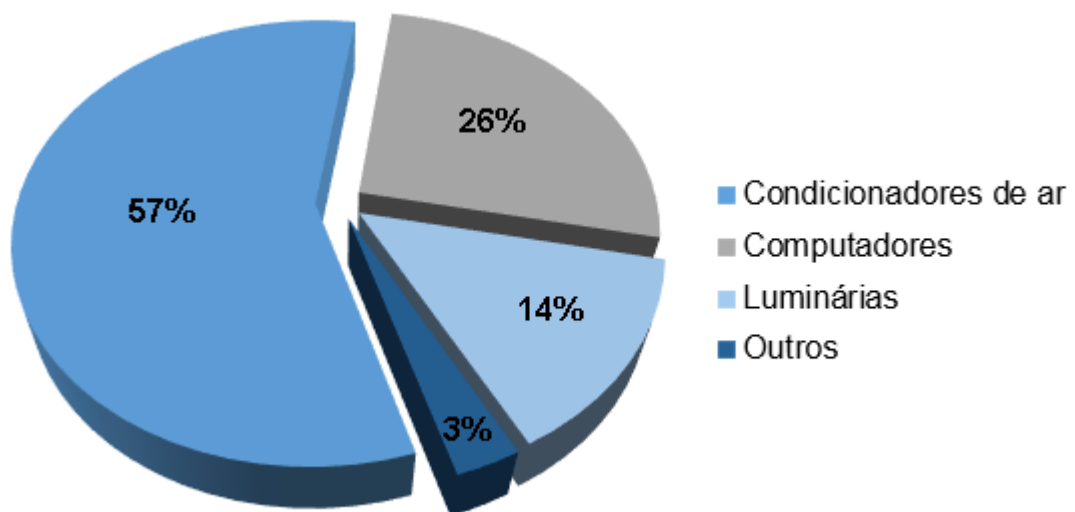
Tabela 2 – Identificação dos componentes e respectivas cargas instaladas no setor administrativo (W)

Componente	Carga (W)
Condicionadores de ar	151.500

Luminárias	35.700
Computadores	68.250
Impressoras	900
Refrigeradores	2.250
Retroprojektor	1.925
Televisores	2.000
Outros	1.600
<b>Total</b>	<b>264.125 W</b>

Fonte: A Autora, 2019

Figura 4 – Identificação dos componentes e respectivas cargas instaladas no setor administrativo (%)



Fonte: A Autora, 2019

Utilizando os dados da carga instalada, foi levantado o consumo mensal através da Equação 1.

$$EC = P * \Delta T$$

(1)

Onde:

EC (kWh/mês) – Consumo mensal médio anual da edificação;

P (kW) – Potência requerida pela edificação;

$\Delta T$  (h/mês) – Tempo de consumo mensal médio.

Para prever a consumo de energia elétrica no setor administrativo levou-se em consideração os dispositivos instalados e o período de funcionamento do setor. Estes dispositivos podem ser ligados durante o intervalo de tempo de 8 horas diárias de trabalho em 22 dias no mês, sendo descontados os finais de semana.

Oliveira, Silveira e Braga (2000) mostraram em seu estudo a diversidade sazonal do consumo de energia elétrica ao decorrer do ano, e observou que esta é advinda principalmente das variações climáticas brasileiras, principalmente no que tange à temperatura. No Sul o consumo do mês de janeiro se destaca fortemente dos demais meses. As evidências sugerem que esse aumento é causado principalmente pelo uso de aparelhos de ar condicionado.

Dessa forma, com intuito de projetar um sistema com capacidade para atender a demanda de energia elétrica no período de maior consumo, considerou-se uma potência requerida de 70 % da carga instalada, baseando-se em um cenário em que 75 % dos computadores e as luminárias estão ligados, somando 30 % da carga total instalada, e 70 % dos condicionadores de ar estarão ligados, somando 40 % da carga total instalada. Sendo assim, aplicando a Equação 1 obtém-se um consumo de 32.540,20 kWh/mês.

### 3.2 DETERMINAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

Existem algumas bases de dados solarimétricos consolidadas do Brasil disponíveis. Utilizou-se para a determinação da radiação solar nesse estudo o banco de dados solar SunData, disponibilizado pela CRESESB (2018), o qual fornece os índices de radiação diária média durante todos os meses do ano para várias regiões do Brasil, dentre elas, o município de Criciúma, Santa Catarina.

Conforme o CRESESB (2018), o programa SunData está atualizado com o banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição (2017), que foi produzido pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do seu Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN). O Atlas detém uma base de dados de radiação solar através de imagens de satélite do ano de 1999 até 2015. Para esse estudo foi realizado um trabalho cooperativo entre o INPE e pesquisadores de várias instituições no Brasil, a Universidade Federal de São Paulo

(UNIFESP), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e o Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).

O banco de dados disponível no SunData é o da irradiação global no plano horizontal, contando com mais de 72.000 pontos no território nacional, com distância de aproximadamente 10 km entre os pontos (CRESESB, 2018).

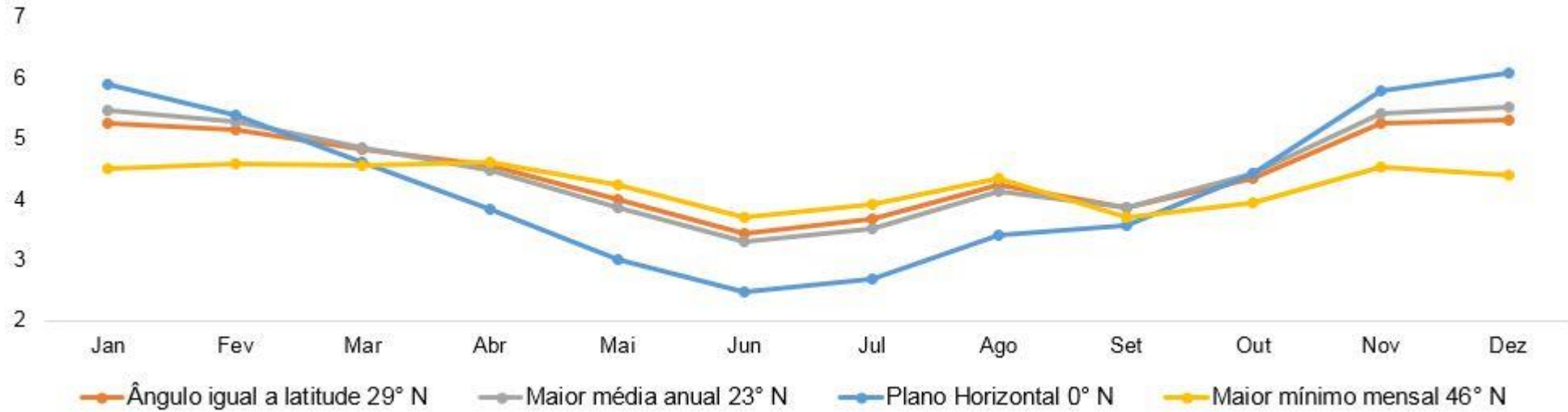
A localização geográfica do empreendimento foi obtida através do Google Earth. Com a inserção das coordenadas de latitude e longitude na base de dados do CRESESB, obteve-se os dados de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal e no plano inclinado. Nessa base de dados, são fornecidos os valores de irradiação solar convertidos do plano horizontal para planos inclinados. Além disso, são identificados, o ângulo igual à latitude, o ângulo que fornece o maior valor médio diário anual de irradiação solar, e o ângulo que fornece o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar.

A conversão dos valores de irradiação no plano horizontal para os planos inclinados é calculada através do método de Liu & Jordan (1962) estendido por Klein (1977) (CRESESB, 2018).

Em função da localização geográfica  $28^{\circ} 48' 20''$  S e  $49^{\circ} 22' 20''$  O, foram identificados os níveis de irradiação próximos da empresa, onde o ponto de referência está a 2,3 km de distância do empreendimento. Os seguintes níveis de irradiação estão demonstrados na Figura 5 e Tabela 3.



Figura 5 – Irradiação solar no plano inclinado ocorrente no local onde está situada a empresa (kWh/m<sup>2</sup>.dia)



Fonte: Adaptado de CRESESB, 2018

Tabela 3 – Irradiação solar média mensal ocorrente no local onde está situada a empresa (kWh/m<sup>2</sup>.dia)

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar média mensal (kWh/m <sup>2</sup> .dia)												Média	Delta
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Plano Horizontal	0° N	5,90	5,39	4,6	3,84	3,01	2,47	2,69	3,41	3,56	4,43	5,78	6,07	4,26	3,6
Ângulo igual a latitude	29° N	5,26	5,15	4,83	4,57	4,00	3,44	3,67	4,24	3,85	4,34	5,24	5,3	4,49	1,86
Maior média anual	23° N	5,46	5,27	4,85	4,49	3,85	3,29	3,52	4,13	3,85	4,42	5,42	5,53	4,51	2,24
Maior mínimo mensal	46° N	4,50	4,59	4,55	4,6	4,23	3,71	3,92	4,35	3,71	3,95	4,53	4,4	4,26	0,89

Fonte: Adaptado de CRESESB, 2018

Com base nos dados levantados, estima-se a melhor condição de inclinação das placas de acordo com o histórico de irradiação. Dentre as inclinações apresentadas, de 0° N, 29° N, 23° N e 46° N, observou-se a maior média anual de irradiação ocorrente no plano inclinado a 23° N, pois esta angulação representa a melhor relação entre a inclinação da Terra em relação ao Sol e a latitude do local.

Dessa forma, para realização dos cálculos de dimensionamento do gerador fotovoltaico necessário, foram consideradas as informações obtidas na base de dados do CRESESB para análise do ângulo de instalação mais favorável, sendo a inclinação de 23° N.

Também é possível identificar os níveis de irradiação de acordo com os meses e perceber sua variância ao longo do ano. As menores irradiações diárias mensais para o plano inclinado a 23° N se dá nos meses de maio a setembro e as maiores irradiações ocorrem nos meses de outubro a abril.

### 3.3 LEVANTAMENTO DOS COMPONENTES PARA FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Conforme Hinrichs e Kleinbach (2003), sistemas ligados à rede elétrica (*On Grid*), que consomem a energia produzida pelo sistema na planta e direcionam para rede elétrica o seu excedente, são compostos geralmente pelos seguintes componentes: gerador fotovoltaico constituído por módulos fotovoltaicos dispostos em série e/ou em paralelo em estruturas de suporte, inversor capazes de transformar a CC em CA, ajustando para a frequência e o nível de tensão da rede elétrica a que está ligado, caixa de junção equipada com dispositivos de proteção e chave seccionadora, cabos e conectores.

As baterias, responsáveis pelo armazenamento da energia produzida, não são utilizadas nos sistemas *On Grid*. O intuito desse projeto é utilizar a energia produzida no setor administrativo, e caso o setor não utilizar o total da energia produzida, a mesma pode ser direcionada para área industrial da empresa, não havendo energia excedente para o armazenamento.

### 3.3.1 Paineis solar fotovoltaico

Mediante a definição da carga total, levantou-se o número de painéis fotovoltaicos necessários com embasamento em pesquisas relacionadas aos modelos que se encontram no mercado atualmente (2019), visando encontrar o modelo de placas que mais se adapta para a construção do parque de energia solar fotovoltaica.

Como citado anteriormente, os modelos de placas que mais se destacam no mercado global são os painéis solares policristalinos e monocristalinos. Do ponto de vista financeiro, os policristalinos podem ser uma opção melhor para proprietários que levam em consideração no momento da escolha principalmente o custo, enquanto os monocristalinos apresentam maior eficiência e redução de área ocupada.

Dessa forma, visando um comparativo de eficiência do sistema, investimento necessário e área ocupada, buscou-se comercialmente pelos modelos policristalinos e monocristalinos, produzidos por empresas reconhecidas no mercado de energia solar fotovoltaica.

As marcas levantadas para comporem o sistema foram das marcas BYD, Canadian Solar, Q Cells e Yingli, sendo o custo, a potência e as dimensões variáveis, de acordo com cada modelo de painéis fotovoltaicos. A Tabela 4 mostra o levantamento dos modelos de painéis para análise.

Tabela 4 – Levantamento dos modelos de painéis fotovoltaicos para seleção

Marca	Potência (Wp)	Valor unitário do painel (R\$)
BYD	335	800,00
Q Cells	365	900,00
Yingli Solar	330	620,00
Yingli Solar	280	550,00
Canadian Solar	305	640,00

Fonte: A Autora, 2019

A Figura 6 ilustra os modelos de painéis solares fotovoltaicos monocristalino e policristalino, respectivamente.

Figura 6 – Painéis solares monocristalino e policristalino



Fonte: Você Solar, 2019

### 3.3.2 Inversor

Os módulos fotovoltaicos vêm apresentando acentuada redução de custo de comercialização nos últimos anos. Os inversores, entretanto, apesar de também apresentarem redução de custos, não tem acompanhado o mesmo nível de redução dos módulos. Isto vem levando a uma tendência de otimizar ao máximo o inversor utilizado (NASCIMENTO, 2013).

Existem no mercado inúmeros modelos de inversores que se diferenciam pela sua aplicação. O inversor escolhido para complemento desse sistema deve ser um modelo de inversor *Grid Tie*, específicos para trabalhar ligado à rede. Outro ponto a ser levantando no momento da escolha é a potência do inversor, tendo em vista que os inversores devem possuir potência condizente com as cargas dos módulos fotovoltaicos.

O modelo escolhido para composição do sistema solar fotovoltaico foi o inversor *Grid Tie* da marca ABB. Levou-se em consideração na escolha a qualidade do produto e reconhecimento no mercado onde atua, devido à importância desse componente para a eficiência do sistema, além do acesso ao produto e investimento. O inversor solar RIO-TM-50 possui potência de saída de 50 kW, trifásico, sendo sua

máxima eficiência igual ou superior a 98 %, de acordo com o fornecedor. A Figura 7 ilustra o inversor.

Figura 7 – Inversor solar



Fonte: Renlight energy, s.d.

### 3.3.3 *String Box*

A *String Box* é essencial, pois funciona como uma proteção que isola o sistema de produção de energia fotovoltaica, impedindo a propagação de acidentes elétricos. O mesmo será integrado com interruptor de corte de carga, capaz de isolar o inversor dos painéis fotovoltaicos, com o intuito de ser utilizado no corte da energia elétrica, para manutenção e reparação do sistema, garantindo a segurança no momento do serviço.

Tendo em vista o custo benefício da *String Box* optou-se por um modelo da marca Proauto, mostrado na Figura 8. A *String Box* inclui dispositivo de proteção contra surtos, que realiza a proteção da instalação e dos módulos fotovoltaicos contra descargas atmosféricas, e chave seccionadora, com tensão máxima de 1000 V, que realiza o seccionamento sob carga e permite o isolamento do restante da instalação para uma manutenção segura.

Figura 8 – String box



Fonte: Minha casa solar, s.d.

### 3.3.4 Cabo solar

Para sistemas de energia solar fotovoltaica devem ser utilizados “cabos solares”, que possuem características como a resistência aos raios ultravioletas, a temperaturas extremas e à absorção de água. Os cabos devem servir para instalações fixas em sistemas CA ou CC, facilitando as conexões de equipamentos em sistemas industriais. Por razões associadas à proteção contra falhas e curto circuitos será feito o uso de cabos mono condutores isolados para as linhas positivas e negativas.

O modelo escolhido foi o cabo solar de 6 mm, da marca Nexans (Figura 9), nas cores preto e vermelho. São cabos que garantem segurança e atendem aos requisitos normativos. Possuem vida útil superior a 25 anos em função do revestimento especial dos condutores e por apresentar diferenciais de capacidade, suportando até 120 ° C de temperatura (NEXANS, 2016).

Figura 9 – Cabo solar



Fonte: Nexans, 2016

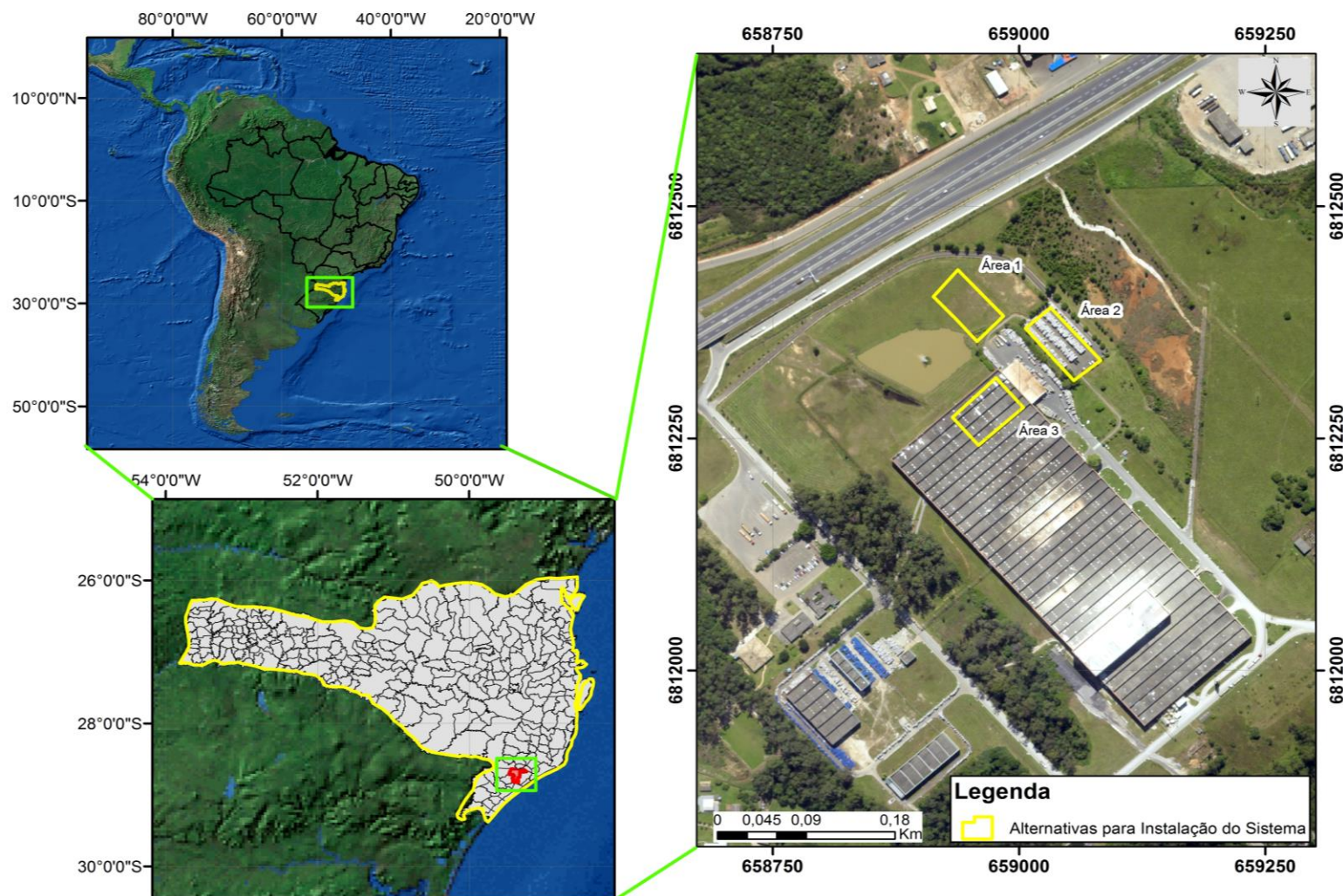
### 3.4 POSICIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Com o intuito de propor a área para o posicionamento do sistema solar fotovoltaico foram levantadas as áreas pertencentes à empresa com provável possibilidade de aproveitamento para a instalação dos módulos fotovoltaicos.

Foram levantados três locais para instalação das placas fotovoltaicas, sendo esses, na parte frontal próximo à rodovia BR-101 (Área1), na área lateral da empresa, onde está localizado o estacionamento de carros e motocicletas da empresa (Área 2), e a terceira opção para instalação dos módulos, no telhado da empresa (Área 3). As três áreas possíveis para instalação estão ilustradas na Figura 10.



Figura 10 – Localização no espaço dos possíveis locais de instalação dos painéis



Fonte: A Autora, 2019



No que tange o regime dos ventos, de acordo com Silveira, Alves e Murara (2014), a região Sul Catarinense foi a que apresentou maior homogeneidade durante os meses do ano. Segundo os autores, os dados do Epagri/Ciram, entre os anos de 1996 e 2012, apresentaram ao longo de toda série histórica analisada o vento sudeste como o mais influente. Dessa forma, tendo em vista que a empresa está localizada às margens da rodovia BR-101, é possível que o material particulado emitido pelos veículos chegue até a área da empresa, sendo necessária uma maior frequência de limpeza nos painéis.

Além de observar os pontos possíveis para deposição de material particulado, analisou-se também os projetos para expansão da fábrica, e verificou-se que a conseguinte área de expansão é planejada para ocorrer a partir da fachada da empresa. Assim, elimina-se a Área 1 para instalação do parque solar fotovoltaico.

Outro ponto a ser levantado é a altura dos módulos fotovoltaicos, se tratando da instalação no telhado da empresa (Área 3). Os módulos necessitam de limpezas regulares e manutenções do sistema para aproveitamento de toda eficiência disponível. Se o sistema estivesse localizado no telhado na empresa, em caso de manutenção e limpeza os profissionais responsáveis pelo serviço deveriam possuir curso de Norma Regulamentadora nº 35 (NR35), que rege sobre o trabalho em altura, e estariam mais suscetível a acidentes de trabalho.

Além de ser uma área mais fácil para manutenções e limpezas, a Área 2 irá otimizar o espaço disponível da empresa, de forma que tem a possibilidade de utilizar do estacionamento de carros e motocicletas para instalação dos módulos fotovoltaicos em suspensão, servindo também para proteção dos veículos as intempéries. Sendo assim, foi escolhida a Área 2 como o melhor local para o posicionamento do sistema solar fotovoltaico.

Essa cobertura construída a partir de painéis fotovoltaicos para cobrir áreas de estacionamento é chamada de *Carport*. As Figuras 11 e 12 mostram os locais escolhido para instalação do sistema utilizando da estrutura *Carport* (Área 2). O *layout* do sistema solar fotovoltaico que se deseja instalar pode ser ilustrado pela Figura 13.

Figura 11 – Local escolhido para instalação do sistema (Estacionamento 01)



Fonte: A Autora, 2019

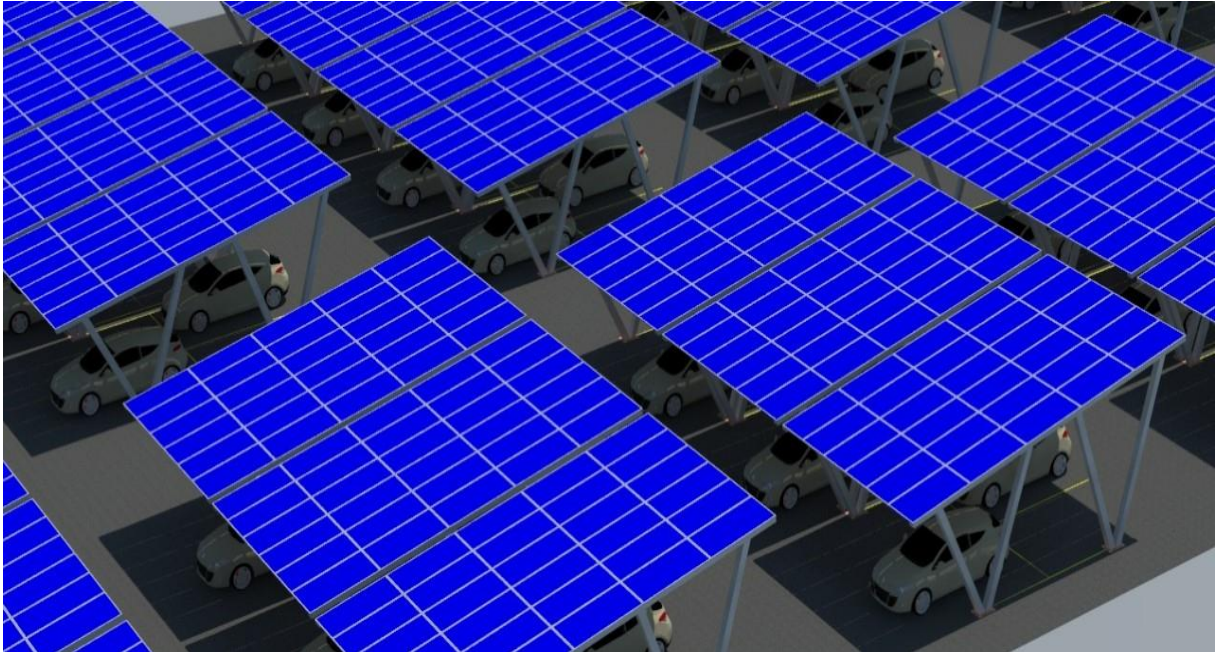
Figura 12 – Local escolhido para instalação do sistema (Estacionamento 02)



Fonte: A Autora, 2019



Figura 13 – Instalação dos painéis fotovoltaicos no estacionamento (Estrutura Carport)



Fonte: A Autora, 2019

### 3.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

#### 3.5.1 Potência do painel fotovoltaico

Para definição da potência de geração fotovoltaica necessária para suprir o consumo médio diário da planta foi utilizada a metodologia de cálculo adaptada do Manual de Engenharia Fotovoltaica disponível pelo CRESESB (2014), conforme mostra a Equação 2.

$$PFV = \frac{\left( \frac{EC}{TD} \right)}{HSPMA}$$

(2)

Onde:

PFV (Wp) – Potência de pico do painel fotovoltaico;

EC (Wh/dia) – Consumo diário médio anual;

HSPMA (h/dia) – Média diária anual das horas de sol pleno incidente no plano do painel fotovoltaico;

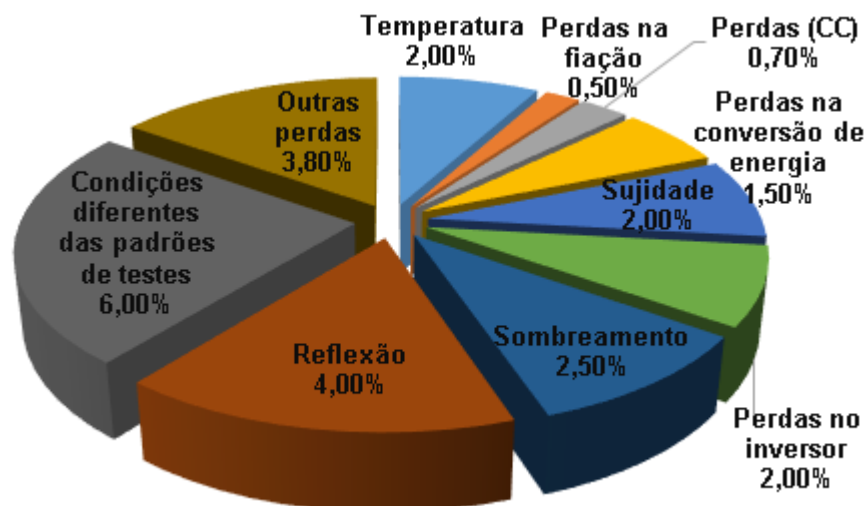
TD (adimensional) – Taxa de desempenho.

Através da base de dados do CRESESB (2018), foi possível obter a irradiação média diária anual no local. Para obtenção do HSPMA(h/dia), faz-se necessário realizar a relação direta do valor obtido na base do CRESESB com a constante de irradiação solar de 1 kW/m<sup>2</sup>.

Para definição da taxa de desempenho que envolve um sistema fotovoltaico, empregou-se o estudo da DGS (2013), que quantificou os principais fatores de perdas das instalações observadas, mostrado na Figura 14. Entre eles estão as perdas na conversão de energia, sombreamento parcial, perdas no inversor, aumento da temperatura do painel fotovoltaico, perdas na fiação elétrica, sujidade na superfície do painel, reflexão e condições adversas aos testes, descasamento (*mismatch*) e outras perdas não mensuradas, resultando em uma taxa de desempenho (TD) de 75 %.

De acordo com o CRESESB (2014), para sistemas residenciais, bem ventilados e não sombreados, é observado uma TD entre 70 e 80 % nas condições de radiação solar encontradas no Brasil.

Figura 14 – Fatores de perdas em sistemas fotovoltaicos



Fonte: Adaptado de DGS, 2013

### 3.5.2 Previsão de geração de energia elétrica anual

Para encontrar a geração de energia elétrica produzida por mês pelo gerador fotovoltaico, é necessário além da potência do gerador, os dados relativos à previsão de irradiação solar, taxa de desempenho e números de dias para cada mês. Foi utilizado a metodologia de cálculo disponível no Manual de Engenharia Fotovoltaica do CRESESB (2014) para determinar a energia elétrica a ser gerada, como mostra a Equação 3.

$$EG = PFV * I * TD * ND \quad (3)$$

Onde:

EG (kWh) – Energia gerada;

PFV (kWp) – Potência de pico do painel fotovoltaico;

I (kWh/m<sup>2</sup>.dia) – Irradiação;

TD (adimensional) – Taxa de desempenho;

ND (dia) – Número de dias.

### 3.5.3 Seleção do painel fotovoltaico e determinação do número de placas

A seleção do modelo de painel fotovoltaico deve ocorrer levando em consideração a potência requerida pelo sistema, a potência do painel fotovoltaico e o valor de cada painel, tendo em vista que foi escolhido o painel fotovoltaico com melhor custo/benefício.

Para o cálculo da quantidade de placas necessárias para geração ideal utilizando a Equação 4, adaptado conforme o CRESESB (2014).

$$N = \frac{PFV}{PU} \quad (4)$$

Onde:

N (adimensional) – Número de placas para suprimento do sistema;

PFV (Wp) – Potência de pico do painel fotovoltaico (requerida);

PU (Wp) – Potência de pico do painel fotovoltaico (unidade).

### 3.5.4 Dimensionamento do inversor

Segundo o Manual de Energia Fotovoltaica do CRESESB (2014), o dimensionamento do inversor depende principalmente da potência do gerador fotovoltaico e tecnologia, além das características elétricas do módulo escolhido. Deve ser levada em consideração na seleção do inversor a credibilidade da empresa, garantia do inversor, capacidade produzida acumulada e assistência técnica no território brasileiro.

O fator de dimensionamento de inversores (FDI) representa a relação entre a potência nominal do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico, de acordo com a Equação 5.

$$FDI = \frac{PNCA}{PFV}$$

(5)

Onde:

FDI (adimensional) – Fator de dimensionamento do inversor;

PNCA (W) – Potência nominal em corrente alternada do inversor;

PFV (Wp) – Potência de pico do painel fotovoltaico.

A potência do gerador fotovoltaico e do inversor devem ser ajustadas de forma que o FDI do inversor tenha a melhor relação custo e benefício. Analisando a literatura, observa-se que os valores inferiores de FDI recomendados por fabricantes e instaladores situam-se na faixa de 0,75 a 0,85, enquanto o limite superior é 1,05 (CRESESB, 2014).

## 3.6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para analisar a viabilidade do projeto utilizou-se as técnicas de análise de investimento: TIR e *Payback*.

Uma pesquisa de campo com orçamentação no mercado local dos custos de implantação foi realizada para auxiliar na análise da viabilidade econômica do

projeto. Levantou-se os principais componentes do sistema, considerando os custos iniciais, como os gastos com o sistema, incluindo as placas fotovoltaicas, inversores e outros itens e a estrutura para sustentação das placas.

Após o levantamento dos gastos com o sistema, foi realizado o estudo para obtenção do fluxo de caixa anual para poder observar os gastos anteriores a implantação e as economias com a implantação do projeto, incluindo custos com operação e manutenção, degradação das placas e reajustes no valor da energia, durante o intervalo de tempo determinado.

### 3.6.1 Taxa Interna de Retorno

Como estudou Gitman (2010), esse método é um dos mais sofisticados para se avaliar propostas de investimentos de capital. A TIR representa a taxa de desconto que se iguala, em um único momento, os fluxos de entrada com os de saída de caixa. Esse método requer que seja calculado o custo de capital usado para desconto que, aplicado, reduzirá o valor presente líquido de um projeto a zero. Isso possibilita comparar a TIR com essa taxa. A fórmula da TIR está demonstrada na Equação 6.

$$I_0 = \frac{FCL(1)}{(1+i)^1} + \frac{FCL(2)}{(1+i)^2} + \frac{FCL(n)}{(1+i)^n} \quad (6)$$

Onde:

$I_0$  – Investimento inicial;

FCL – Fluxo de caixa líquido;

$i$  – Custo de capital (TMA);

$n$  – Período de tempo (mês, trimestre, ano).

Para efeito de cálculo da TIR com o objetivo de realizar análise de investimento do projeto em questão, levou-se em consideração uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Como o estudo está baseado em um consumidor industrial, se adotou-se uma taxa que esteja dentro deste perfil de consumidor, sendo de 15 %, correspondente também a um dado médio fornecido pela unidade consumidora.

### 3.6.2 *Payback*

Segundo Endler, Steiner e Bourscheidt (2014), para determinação do *Payback*, ou prazo de retorno, basta somar os fluxos de caixa líquido esperados para cada ano até que seja atingido o valor do custo inicial do projeto, assim tem-se o tempo total de recuperação do investimento. A Equação 7 apresenta como pode ser calculado o *Payback*.

$$Pb = \frac{I_o}{Emc} \quad (7)$$

Onde:

Pb – *Payback*;

I<sub>o</sub> – Investimento inicial;

Emc – Entradas de caixa.

Para elaboração desse estudo, foi realizado um orçamento detalhado com todos os componentes que foram incorporados no sistema de energia solar fotovoltaica. A partir do valor do investimento foi realizado a análise financeira, levando em consideração pontos específicos do sistema em estudo.

A garantia padrão de eficiência de um painel solar é de 25 anos funcionando 80 % do seu desempenho original (Portal Solar, s.d.). Dessa forma, considerou-se uma degradação dos painéis de 2,50 % no primeiro ano, e 0,70 % ao longo dos anos de vida útil.

Bem como, foi calculado a economia gerada relacionando a geração anual em kWh e o custo médio do kWh, que pode ser estipulado através de média dos últimos anos dos reajustes de 10 %, conforme a ABSOLAR (2018).



### 3.6.3 Custos operacionais e de manutenção

O custo anual de operação e manutenção não apresenta padrão típico decrescente no tempo. Em geral, máquinas, equipamentos e instalações apresentam rendimento decrescente, à medida que são utilizados por períodos mais longos e, ao mesmo tempo, passam a requerer maiores despesas de manutenção (SOUZA E CLEMENTE, 2004).

Segundo Groth (2013), no que tange à energia solar fotovoltaica, a modularidade apresenta poucos custos de manutenção e longa vida útil, no entanto são necessários alguns cuidados para manter o parque fotovoltaico operante e eficiente, como a realização periódica de limpeza dos painéis, inversores, reaperto de cabos e conexões, e reposicionamento dos painéis, caso necessário.

Conforme Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE (2012), as plantas solares fotovoltaicas, sobretudo as conectadas à rede, requerem manutenção e operação. Dessa forma, uma estimativa comum para o custo anual de operação nas análises é de 1% do custo de investimento.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

De acordo com os dados solarimétricos apresentados, foi desenvolvido o estudo de caso com todas as variáveis que compõe o estudo de viabilidade técnica e econômica das oportunidades de ganhos e redução de custos que a implantação do projeto de geração solar poderá proporcionar a empresa.

### 4.1 PROJETO DO GERADOR SOLAR

Para o dimensionamento do gerador solar utilizou-se a metodologia de cálculo disponível no Manual de Engenharia Fotovoltaica do CRESESB (2014), e a o banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição (2017), disponível no programa SunData do CRESESB (2018), com o intuito de obter o valor de irradiação desejado. Além destes, utilizou-se a literatura de DGS (2013), para levantar a taxa de desempenho (TD) de sistemas fotovoltaicos e os dados de consumo de energia da empresa.

Fazendo uma relação direta com a média diária anual de irradiação no plano inclinado no local da empresa de 4,51 kWh/m<sup>2</sup>.dia, apontado na Tabela 3, e a constante de irradiação solar de 1 kW/m<sup>2</sup>, o valor obtido para HSPMA (h) foi de 4,51 h.

No que diz respeito ao consumo de energia da empresa, através de uma estimativa de consumo, tendo em vista que não foi possível levantar o consumo real mensal, chegou-se no valor de 32.540,20 kWh/mês para o setor administrativo. Transformando o consumo de energia mensal para diário médio anual, obteve-se o valor de 1.084.673,33 Wh/dia. Para o cálculo da energia consumida, considerou-se 30 dias de geração de energia das placas fotovoltaicas. Constatou-se que o consumo de energia mensal do setor administrativo ocorre durante o período de 22 dias, porém essa energia deve ser distribuída em 30 dias de geração.

Dessa forma, para o cálculo da potência requerida do gerador solar, empregou-se os seguintes valores na Equação 2 os dados da Tabela 5.

Tabela 5 – Dados para o dimensionamento da potência requerida do gerador solar

EC (Wh/dia)	TD	HSPMA (h)
1.084.673,33	0,75	4,51

Fonte: A Autora, 2019

Envolvendo os dados apontados na Equação 2 encontrou-se o valor da potência requerida do gerador solar de 320.672,09 Wp.

#### 4.2 PREVISÃO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL

Para obtenção da previsão anual da geração de energia elétrica a ser produzida mês a mês pelo gerador fotovoltaico, aplicou-se tais valores na Equação 3.

Considerou-se para todos os meses a potência requerida de 320,67 kWp e taxa de desempenho de 75%. Assim, foi possível obter os resultados previstos para a energia elétrica a ser gerada, conforme mostra a Tabela 6.

Observando a tabela supracitada identificou-se uma previsão da geração de energia elétrica anual de 395.297,29 kWh.

Tabela 6 – Previsão da geração fotovoltaica

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Potência pico do painel (kWp)	320,67	320,67	320,67	320,67	320,67	320,67	320,67	320,67	320,67	320,67	320,67	320,67
Irradiação (kW/m <sup>2</sup> .dia)	5,46	5,27	4,85	4,49	3,85	3,29	3,52	4,13	3,85	4,42	5,42	5,53
Taxa de desempenho	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Nº Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Previsão geração mensal (kWh)	40.707,72	35.488,78	36.159,79	32.395,90	28.704,16	23.737,75	26.243,80	30.791,74	27.778,22	32.953,87	39.105,96	41.229,61
Previsão anual de geração de energia elétrica (kWh)											395.297,29	

Fonte: A Autora, 2019

### 4.3 SELEÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO E DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE PLACAS E ÁREA OCUPADA

Utilizando a potência de pico do painel fotovoltaico para este sistema de 320.672,09 Wp e aplicando a Equação 4 verificou-se o número de painéis necessários de acordo com a potência de cada modelo. Os resultados estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Número de painéis fotovoltaicos e valor total dos painéis

Marca	Potência (Wp)	Valor (R\$)	Número de painéis	Área Total (m <sup>2</sup> )	Valor Total (R\$)
BYD	335	800,00	957	1914,46	765.784,09
Q Cells	365	900,00	879	1757,11	790.698,30
Yingli Solar	330	620,00	972	1943,47	602.474,83
Yingli Solar	280	550,00	1.051	2102,77	672.885,69
Canadian Solar	305	640,00	1.145	2290,51	629.891,60

Fonte: A Autora, 2019

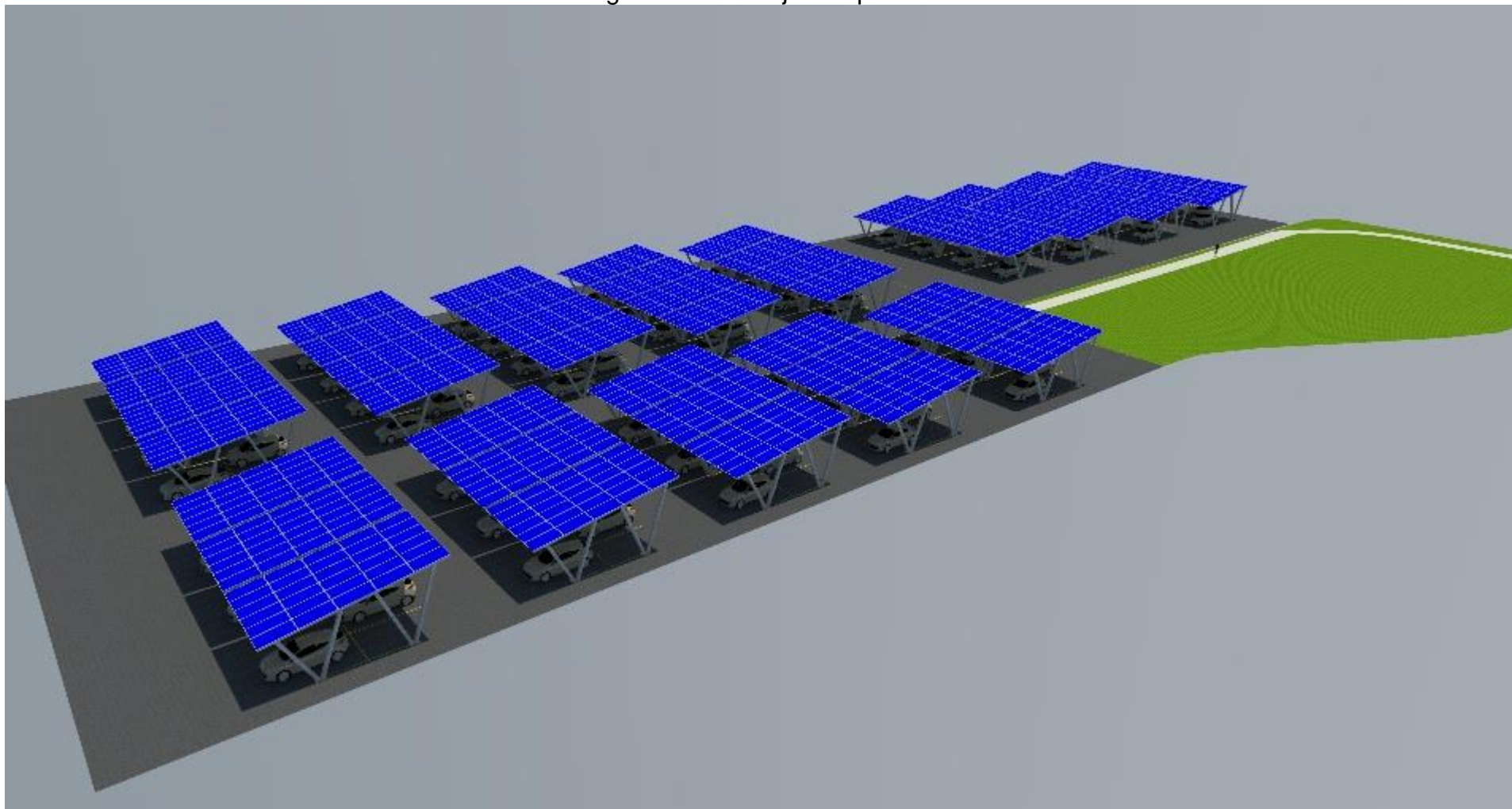
Sendo assim, constatou-se que o painel fotovoltaico de melhor custo/benefício foi o painel da marca chinesa Yingli Solar, modelo YL330P-35B, com potência de 330 Wp, de material silício policristalino e dimensões de 196x99,2x4cm. Os painéis fotovoltaicos da Yingli possuem o selo do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) (NEOSOLAR, s.d.).

Para o cálculo da área ocupada pelo sistema, deve-se levar em consideração o número de placas que um módulo de *Carpot* comporta. Sendo assim, o módulo escolhido para compor o sistema, de dimensão 5x6 metros para duas vagas, possibilita a instalação de 15 painéis solares.

A área ocupada para comportar 972 painéis solares deve ser de 1.943,47 m<sup>2</sup>, sendo necessários 65 módulos de *Carpot* para compor 130 vagas.

A Figura 15 ilustra como seria o arranjo dos painéis solares no estacionamento da empresa para a seguinte proposta.

Figura 15 – Arranjo dos painéis solares



Fonte: A Autora, 2019

#### 4.4 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE INVERSORES

Para o levantamento do número de inversores utilizou-se a Equação 5, empregando os valores da potência nominal em corrente alternada do inversor e potência pico do painel fotovoltaico, conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados para determinação do número de inversores

PNCA (W)	PFV (Wp)	FDI
50.000	320.672,09	0,75-0,85

Fonte: A Autora, 2019

Haja vista que o fator de dimensionamento recomendado por fabricantes e instaladores então na faixa de 0,75 a 0,85, de acordo com o CRESESB (2014), o número de inversores necessário para atender a faixa é de 5 inversores, conferindo 0,78.

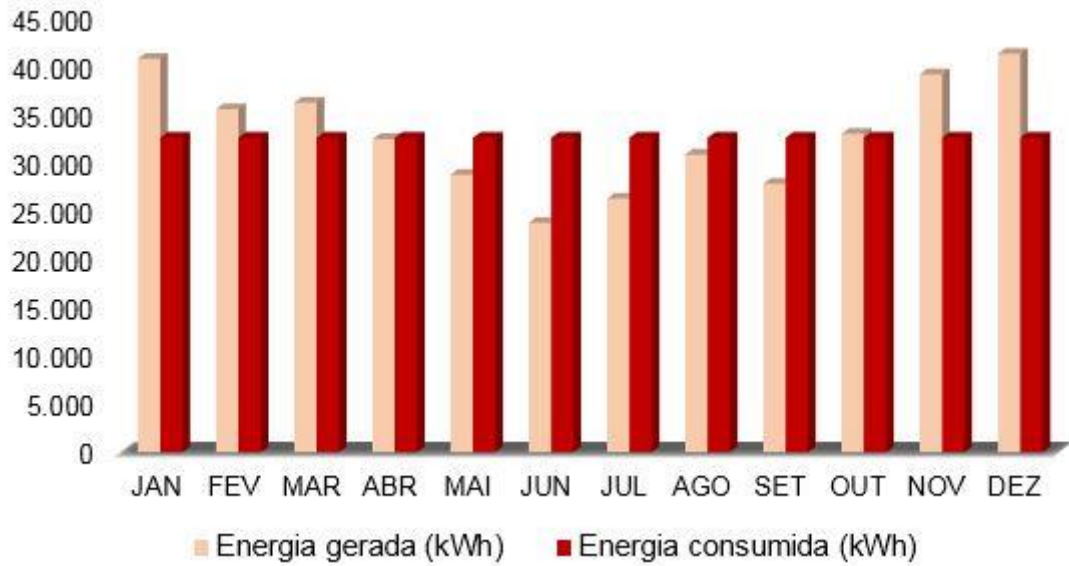
#### 4.4 COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para efeitos de visualização da previsão mensal de compensação de energia elétrica, foi utilizado uma estimativa do consumo de energia elétrica da unidade consumidora de 32.540,20 kWh, calculado através da Equação 1.

Com base no sistema proposto, composto por 972 módulos fotovoltaicos de 330 W cada, considerando temperatura, inclinação e irradiação no local, o sistema deve oferecer mês a mês, em média, a energia apresentada na Figura 16. Comparou-se o consumo e a geração de energia elétrica na unidade consumidora.

Para o cálculo do valor economizado, levou-se em consideração a atual situação da empresa, que se encontra inserida no mercado livre de energia. Dessa forma, esta possui a liberdade de negociar todas as condições junto ao fornecedor, como por exemplo, o preço, a quantidade de energia contratada, e a forma de pagamento. Considerou-se o custo médio do kWh, de acordo com a empresa, de R\$ 0,30. A consolidação das informações está apresentada na Tabela 9.

Figura 16 – Energia gerada e energia consumida (kWh)



Fonte: A Autora, 2019

Tabela 9 – Previsão da geração fotovoltaica

Mês	Consumo (kWh)	Geração solar (kWh)	Excedente (kWh)	Valor total economizado (R\$)
Janeiro	32.540,20	40.707,72	8.167,52	12.212,32
Fevereiro	32.540,20	35.488,78	2.948,58	10.646,63
Março	32.540,20	36.159,79	3.619,59	10.847,94
Abril	32.540,20	32.395,90	-144,30	9.718,77
Mai	32.540,20	28.704,16	-3.836,04	8.611,25
Junho	32.540,20	23.737,75	-8.802,45	7.121,33
Julho	32.540,20	26.243,80	-6.296,40	7.873,14
Agosto	32.540,20	30.791,74	-1.748,46	9.237,52
Setembro	32.540,20	27.778,22	-4.761,98	8.333,47
Outubro	32.540,20	32.953,87	413,67	9.886,16
Novembro	32.540,20	39.105,96	6.565,76	11.731,79
Dezembro	32.540,20	41.229,61	8.689,41	12.368,88
Total/ano	390.482,40	395.297,29	4.814,89	118.589,19

Fonte: A Autora, 2019



Consoante aos resultados obtidos, observa-se uma previsão de geração de energia elétrica maior do que o consumo nos meses de janeiro, fevereiro, abril, maio, agosto, setembro e dezembro, somando um excedente de 30.404,52 kWh/ano. Esse valor excedente de energia elétrica poderá ser consumido pelo setor industrial da empresa de forma paralela. Enquanto nos demais meses, de março, junho, julho, outubro e novembro, é possível identificar uma geração menor do que o consumo, de 25.589,63 kWh/ano. Neste caso, o medidor irá registrar o fluxo em seu sentido convencional e a energia faltante será consumida da rede de energia elétrica.

Dessa forma, a unidade consumidora pode economizar anualmente com o sistema solar fotovoltaico de potência 320,67 kWp, capaz de produzir 395.297,29 kWh ao ano, até R\$ 118.589,19 com gastos de energia elétrica.

#### 4.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

O estudo de viabilidade econômica foi realizado com o intuito de verificar o retorno de investimento para implantar o sistema de geração solar fotovoltaica e investigar se o investimento é viável. As técnicas utilizadas para o cálculo da viabilidade econômica da instalação do sistema de energia fotovoltaica são praticadas pela maioria dos profissionais da área de gestão econômica e financeira, a TIR e o *Payback*.

Sendo assim, inicialmente foi levantado todos os custos para a montagem e execução do sistema. Após esse apanhado, foi realizado um comparativo entre as previsões de faturamentos anuais permanecendo no mercado livre de energia elétrica e os ganhos com o sistema de energia solar fotovoltaica. Além disso, realizar o fluxo de caixa acumulado e a economia financeira anual para calcular a TIR e compará-la a uma TMA.

##### 4.5.1 Valor inicial do investimento

Para o levantamento do valor inicial do investimento a ser desembolsado pela empresa, foram pesquisados os equipamentos utilizados para montagem do sistema de energia solar fotovoltaica e seus respectivos valores, bem como, os

profissionais necessários para fazer a montagem deste. Considerou-se para montagem do sistema, um eletricitista, um mecânico e um engenheiro responsável. O valor total orçado para esse investimento é de R\$ 1.213.916,68. A Tabela 10 mostra o valor do investimento de forma detalhada.

Tabela 10 – Valor inicial do investimento

Itens	Quantidade	VALOR (R\$)
Placas fotovoltaicas Yingli 330 kWp	972 unidades	602.474,83
Inversor ABB 50kW	5 unidades	215.000,00
Estrutura de suporte ( <i>Carport</i> ) WEG/Teshan	130 vagas	300.000,00
Cabos solar vermelho e preto Nexans	1.000 metros	11.000,00
Caixa String Box SB-2E/4E-2S-1000 DC	5 unidades	8.992,50
Serviço de instalação e execução projeto	90 dias	41.449,35
<b>Total do investimento</b>		<b>1.213.916,68</b>

Fonte: A Autora, 2019

O valor referente aos serviços de instalação foi estimado com base em valores de mercado apontados pela empresa em questão e execução e é constituído pelo salário de um mecânico e de um eletricitista, de R\$ 3.000,00/mês cada, mais 2 % do valor total do projeto de posse do engenheiro responsável.

#### 4.5.2 Análise financeira dos próximos 25 anos

Realizou-se esse estudo a fim de analisar o retorno do investimento financeiro, também chamado de *Payback*. Para isso, levantou-se o investimento inicial, a geração anual de energia em kWh, o rendimento dos painéis fotovoltaicos ao longo dos próximos anos, os reajustes anuais de energia, e os valores que serão economizados durante a vida útil dos painéis.

No que compreende o rendimento dos painéis, está de acordo como fabricante, seguindo uma taxa de degradação de 2,50 % no primeiro ano quando atinge um rendimento de 97,5 % e uma degradação de 0,70 % ao longo de cada ano durante 25 anos de geração (YINGLI SOLAR, s.d).

Considerou-se o custo médio do kWh de R\$ 0,30 no primeiro ano, de acordo com a unidade consumidora, com reajustes tarifários anuais de 10 %, conforme a ABSOLAR (2018).

Levou-se em conta o custo de operação e manutenção fixo anual igual a 1 % do investimento inicial (valor típico), de acordo com a ABINEE (2012).

Também se avaliou os resultados a partir de um sistema onde não foram considerados ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), PIS (Programa de Integração Social), e COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social). A unidade consumidora realiza o pagamento dos mesmos, entretanto todo o valor pago retorna novamente para a empresa.

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos na análise do investimento financeiro.

Tabela 11 – Previsão da geração fotovoltaica

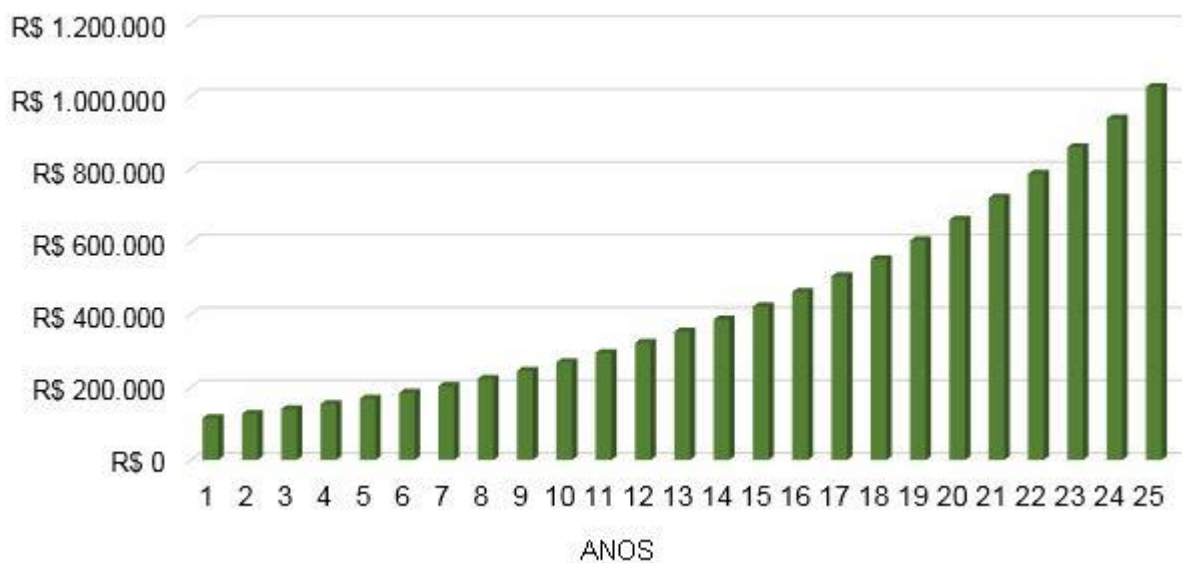
Ano	Rendimento dos painéis (%)	Geração anual de energia (kWh)	Gastos com operação/manutenção (%)	Reajuste médio anual (%)	Economia gerada/ano (R\$)	Retorno do investimento (R\$)
0	100	395.297,29	0	0	0,00	-1.213.916,68
1°	97,5	385.414,86	1	10	115.047,74	-1.098.868,94
2°	96,8	382.647,78	1	10	126.761,98	-972.106,96
3°	96,1	379.880,70	1	10	139.547,20	-832.559,77
4°	95,4	377.113,62	1	10	153.413,71	-679.146,06
5°	94,7	374.346,53	1	10	168.670,21	-510.475,85
6°	94,0	371.579,45	1	10	185.169,52	-325.306,32
7°	93,3	368.812,37	1	10	203.616,07	-121.690,25
8°	92,6	366.045,29	1	10	223.227,96	101.537,70
9°	91,9	363.278,21	1	10	244.698,53	346.236,23
10°	91,2	360.511,13	1	10	268.338,49	614.574,72
11°	90,5	357.744,05	1	10	294.089,74	908.664,46
12°	89,8	354.976,97	1	10	322.249,14	1.230.913,60
13°	89,1	352.209,89	1	10	352.750,28	1.583.663,88
14°	88,4	349.442,81	1	10	385.876,19	1.969.540,06

15°	87,7	346.675,72	1	10	422.245,52	2.391.785,58
16°	87,0	343.908,64	1	10	461.766,94	2.853.552,52
17°	86,3	341.141,56	1	10	505.031,44	3.358.583,97
18°	85,6	338.374,48	1	10	552.269,47	3.910.853,43
19°	84,9	335.607,40	1	10	603.700,41	4.514.553,85
20°	84,2	332.840,32	1	10	660.198,28	5.174.752,13
21°	83,5	330.073,24	1	10	720.623,42	5.895.375,55
22°	82,8	327.306,16	1	10	786.487,86	6.681.863,41
23°	82,1	324.539,08	1	10	859.572,79	7.541.436,20
24°	81,4	321.772,00	1	10	938.697,08	8.480.133,28
25°	80,7	319.004,91	1	10	1.024.945,81	9.505.079,09

Fonte: A Autora, 2019

Esse sistema fotovoltaico gerará nos próximos 25 anos 8.805.247,17 kWh. O retorno do investimento previsto será em 7 anos e 7 meses, ou seja, o projeto terá o retorno do investimento somente no sétimo ano e sétimo mês após sua instalação. Passado este período, conta-se que os demais valores dos próximos fluxos de caixa serão de lucro para o investidor, sendo que, no final dos 25 anos, a implantação do sistema renderá uma economia para a unidade consumidora de R\$ 9.505.079,09. A Figura 17 demonstra a economia financeira anual.

Figura 17 – Economia financeira anual

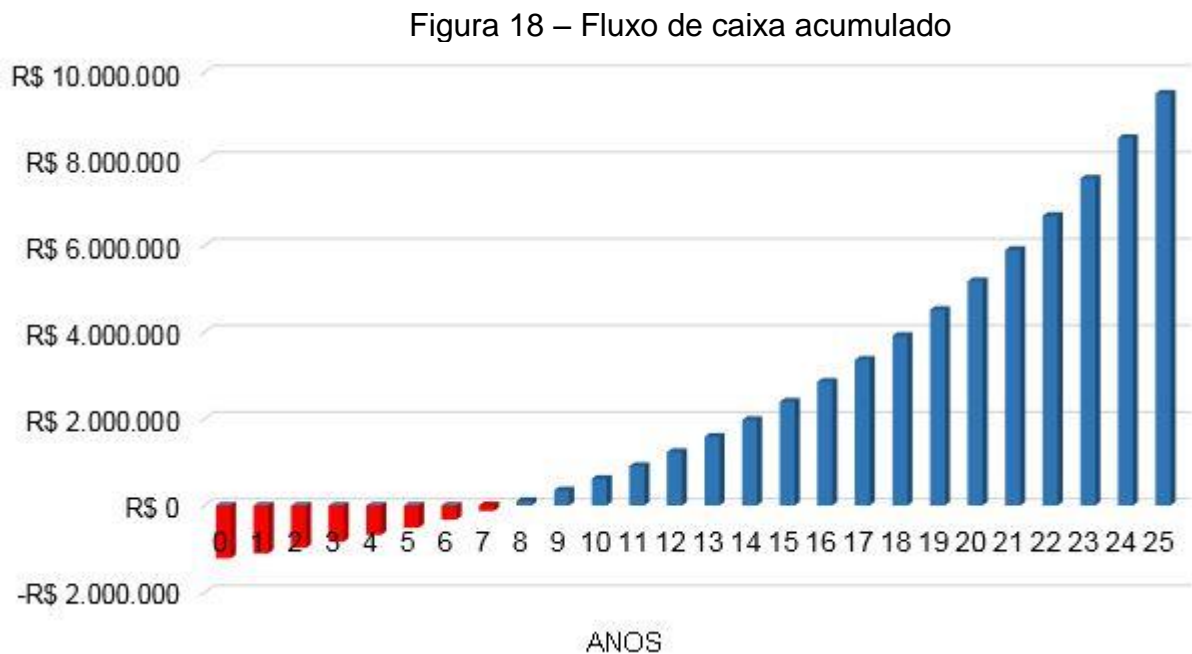


Fonte: A Autora, 2019

Porém, somente a análise do *Payback* não oferece condições para a aceitação do projeto por não levar em consideração o valor do dinheiro no decorrer do projeto. Dessa maneira, foi realizada a análise do investimento considerando o valor do dinheiro durante a aplicação do projeto. Para tanto, o cálculo da TIR dará condições de se tomar a decisão em aceitar ou rejeitar o projeto.

#### 4.5.3 Taxa Interna de Retorno

Diante do valor total calculado do investimento para implantação do projeto em estudo, o fluxo de caixa inicial será de – R\$ 1.213.916,68, seguido pelo fluxo de caixa de entradas de R\$ 115.047,74 no primeiro ano, e aumentando exponencialmente o saldo de caixa durante os 25 períodos (25 anos). A Figura 18 mostra o fluxo de caixa acumulado.



Fonte: A Autora, 2019

Para 25 anos, a taxa de desconto que se iguala, em um único momento, os fluxos de entrada com os de saída de caixa é de 18,17 %. Esta taxa de retorno está acima da TMA estipulada, que é de 15 %, o que torna o projeto viável.

#### 4.6 EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>

Tendo em vista que uma das maiores fontes de energia consumida no mundo ainda é o carvão, segundo o BEN (2019), calculou-se a redução na emissão de CO<sub>2</sub> com a substituição dessa energia advinda de combustível fóssil pela energia solar fotovoltaica.

Para isso, deve levantar o fator de emissão, este é um valor fornecido para que se consiga obter a partir de um dado de atividade (litro, km, tonelada etc.) os GEEs emitido (SENAI, 2017). Segundo a ABCM (2013), o fator de emissão na etapa de geração de energia elétrica na termelétrica hipotética de 500 MW podem ser utilizados os fatores de emissão do IPCC (2006) para o carvão de 94.600,00 kgCO<sub>2</sub>/TJ. Utilizou-se a Equação 8 para cálculo da emissão de CO<sub>2</sub>.

$$ECO_2 = C * FE$$

(8)

ECO<sub>2</sub> – Emissão de CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>);

C – Consumo anual de energia elétrica (TJ);

FE – Fator de emissão do carvão (kgCO<sub>2</sub>/TJ).

Considerando o consumo médio de energia elétrica de 32.540,20 kWh/mês da unidade, em um ano este consumo resultará em 320.672,09 kWh/ano.

Para realizar o cálculo da Equação 8 deve-se igualar as unidades, transformando o consumo de energia de kWh/ano para TJ. Dessa maneira leva-se em consideração as seguintes conversões: 1 kWh = 3.600.000 J; 1 TJ = 10<sup>12</sup> J. Convertida as unidades, encontrou-se um consumo de 1,15TJ.

Utilizando da equação acima constatou-se uma emissão de 109.208,09 kgCO<sub>2</sub>. À vista disso, pode-se constatar que com a implantação do sistema gerador de energia solar fotovoltaica, a unidade consumidora estaria deixando de emitir 109.208,09 kgCO<sub>2</sub> por ano, contribuindo na redução da emissão dos GEE.

## 5 CONCLUSÃO

Através da análise dos dados referentes a irradiação solar média na região do Extremo Sul Catarinense observou-se um potencial do recurso solar para implantação do projeto de energia solar fotovoltaica na empresa de revestimentos cerâmicos, tendo em vista os aspectos da localização geográfica, distribuição da irradiação solar ao longo do ano, valores médios anuais de irradiação solar e boa capacidade de geração de energia solar em todos os meses do ano, garantindo a viabilidade técnica da implantação do sistema.

A respeito da geração de energia solar, no primeiro ano de operação o projeto possuirá capacidade para gerar 395.297,29 kWh/ano. Essa geração diminuirá 2,50 % no primeiro ano e 0,70 % nos anos seguintes se comparado a eficiência total durante os 25 anos de vida útil do sistema, podendo chegar a gerar 319.004,91 kWh/ano, quando as placas perderam aproximadamente 20 % da sua capacidade inicial.

No que tange a viabilidade econômica, observa-se no cenário avaliado que a viabilidade é favorável em 7 anos 7 meses para o retorno do investimento inicialmente realizado na implantação do sistema geração solar. Toda a energia gerada mês a mês pelo sistema fotovoltaico representará uma previsão efetiva de redução mensal da fatura de energia, pois a empresa estaria deixando de consumir da rede. Essa geração convertida em economia, renderia nesse período R\$ 9.505.079,09.

A TIR encontrada para o cenário estudado, de 18,17 %, representa um ganho se comparado a TMA estabelecida de 15 %, ou seja, é vantajoso para a empresa instalar o sistema de geração de energia fotovoltaica.

Identificou-se diante dos resultados obtidos que a implantação da energia solar representa uma solução de excelente viabilidade econômica e também ambiental, visto a quase inexistência de impactos ambientais no processo de geração quando comparados as demais fontes de maior representatividade da matriz elétrica nacional, como exemplo da hidroelétrica e a termoeletrica. Além dos demais impactos causados, essas fontes são contribuintes na geração de CO<sub>2</sub>, o principal gás causador do efeito estufa. Tendo em vista que uma das maiores fontes de geração de energia no mundo é o carvão, realizou-se o cálculo para verificar a

redução da emissão de CO<sub>2</sub> e foi encontrado um ganho ambiental com a redução da emissão desse gás de 109.208,09 kgCO<sub>2</sub>.

No que tange ainda a questão ambiental, para implantação desse projeto de 0,32 MW entende-se na legislação que a empresa deve fazer a inclusão desta atividade ao seu processo de licenciamento ambiental junto ao órgão ambiental licenciador, o Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA), informando-os e solicitando uma autorização para a substituição do consumo de energia elétrica da rede, em partes, para geração própria de energia através da energia solar fotovoltaica, sendo configurado uma melhoria ambiental da empresa.

Os objetivos específicos deste trabalho foram atendidos quanto ao dimensionamento do gerador solar e do cálculo da previsão da geração mensal e anual de energia elétrica para a avaliação do cenário atual da empresa cerâmica. Assim, de posse dos valores encontrados, conclui-se que a implantação desse projeto representa uma favorável oportunidade de ganho real do investimento aliado com redução de custos no consumo de energia elétrica durante os 25 anos de vida útil do sistema. Além disso, é possível atrelar a implantação dessa energia advinda de uma fonte inesgotável de energia à redução do uso de recursos naturais não renováveis, bem como a diminuição dos gases de efeito estufa e consequente contribuição para melhoria da qualidade e equilíbrio do meio ambiente.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se propor a realização de um estudo para a ampliação dessa carga energética para o abastecimento de outros setores além do setor administrativo da empresa de revestimentos cerâmicos, e analisar os ganhos em economia com energia elétrica ao longo da vida útil do sistema.

Outra sugestão para um trabalho consequente é estudar o mercado de carbono no Brasil para realizar a venda de créditos de carbono gerados com a implantação do sistema. Esse é um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto no Protocolo de Kyoto, em que países que geram mais CO<sub>2</sub> podem compensar a emissão comprando créditos de carbono de outros países. Por fim, como recompensa aos que reduziram a emissão, os créditos gerados podem ser vendidos e promover lucros para o fornecedor.



## REFERÊNCIAS

- ABCM (Associação Brasileira de Carvão Mineral). **Estudo Comparativo de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2013. Disponível em: [http://www.carvaomineral.com.br/arquivos/Estudo\\_Comparativo\\_GEE\\_final.pdf](http://www.carvaomineral.com.br/arquivos/Estudo_Comparativo_GEE_final.pdf). Acesso em: 07 out. 2019.
- ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica). **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. São Paulo, jun. 2012. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 04 set. 2019.
- ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Por que querem impedir o crescimento da energia solar fotovoltaica?** São Paulo, nov. 2018. Disponível em: <http://absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/por-que-querem-impedir-o-crescimento-da-energia-solar-fotovoltaica.html>. Acesso em: 04 set. 2019
- ALCANTARA, E. **Estudo de viabilidade técnica e econômico-financeira para a implementação de sistema fotovoltaico em condomínio residencial com conexão à rede de distribuição de energia elétrica**. Rio de Janeiro, set. 2017. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10021984.pdf>. Acesso em: 04 set. 2019.
- ALVES, D. L. **Geração solar fotovoltaica: conceitos básicos**. 2016. Disponível em: [https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila\\_geracao\\_solar\\_fv\\_0.9.1](https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila_geracao_solar_fv_0.9.1). Acesso em: 20 out. 2019.
- ALVES, M. O. L. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. Minas Gerais, ago. 2019. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA\\_EnergiaSolarEstudo.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf). Acesso em: 16 out. 2019.
- ANAMI, A, M. **Painel Fotovoltaico - Perspectivas e desafios**. UTFPR, Londrina, 2017. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9144/1/LD\\_COEAM\\_2017\\_2\\_01.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9144/1/LD_COEAM_2017_2_01.pdf). Acesso em: 12 out. 2019.
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Resolução Normativa Nº 482**. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Resolução Normativa Nº 687**. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.
- BEN (Balanço Energético Nacional). **Balanço Energético Nacional 2019**. Rio de Janeiro, mai. 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico->

470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf. Acesso em: 27 ago. 2019.

BURATTINI, M. P. T. DE C. **Energia: uma abordagem multidisciplinar**. São Paulo: Livraria da física, 2008.112 p.

BRUNI, A. L; RUBENS, F. **As Decisões de Investimentos** - Com aplicações na HP12C e Excel. São Paulo: Atlas, 2003.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. **As decisões de investimentos: com aplicações na calculadora HP12C e Excel**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2007. 67 p.

CCST/LABREN/INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, 2ª edição, São Paulo, 2017. Disponível em:  
[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf). Acesso em: 19 set. 2019.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONSEMA nº 98, de 5 de maio de 2017**. Disponível em:  
<http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/RES%20CONSEMA%2098%202017%20compilada%20-%20SDS%2014fev18%20-%20inclui%20consema%20112-2017.pdf>. Acesso em: 15 out. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Disponível em:  
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.htl>. Acesso em: 20 out. 2019.

CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, mar. 2014. Disponível em:  
[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 26 set. 2019.

CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito). **Potencial Solar – SunData v 3.0**. Rio de Janeiro, Jan. 2018. Disponível em:  
<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 12 set. 2019.

DGS (German Solar Energy Society). **Planning and Installing Photovoltaic Systems**. German, 2013.

ENDLER, K. D.; STEINER, M. T. A.; BOURSCHEIDT, L. E. **Análise da viabilidade econômica de um investimento em uma agroindústria situada no oeste do estado do Paraná**. In: ENEGEP, 34. Curitiba, 2014.

FALLEIRO, A. M.; ANDRADE, J. C. S.; GASTALDINI, M. C. C. **Projetos de energia renovável no âmbito do MDL - o caso do Brasil**. Revista Metropolitana de Sustentabilidade - RMS, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 43-58, jan/abr 2016. Disponível em:  
<http://www.revistaseletronicas.fmu.br/>. Acesso em: 26 out. 2019.

FANTINELLI, J. T., **Tecnologia solar de interesse social e baixo custo para aquecimento de água na moradia**. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, Campinas - São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/262923>. Acesso em: 24 out. 2019.

FILHO, N. C. **Elaboração de projetos empresariais: análise estratégica, estudo de viabilidade e plano de negócios**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GITMAN, L. J. **Princípios da administração financeira**. 12ª ed. São Paulo: Pearson, 2010.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 234 p.

GROTH, J. A. **Usina de geração fotovoltaica**. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96209/000915411.pdf?sequence=1>. Acesso em: 21 set. 2019.

HINRICHS, R.; KLEINBACK, M. H. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Thomson Learning, 2003.

JANNUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: Meio Ambiente, Conservação de Energia e Fontes Renováveis**. Campinas: Editora Autores Associados, 1997. 246 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Chapter 2: and 3 Volume 2: Energy**, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso em: 31 out. 2019.

KLOSTER, N. J.; MARQUES, E. H.; BASTARZ, P. E. **Análise da viabilidade técnica de implantação de um sistema fotovoltaico como fonte de energia elétrica auxiliar em uma embarcação**. Paraná, 2011. Disponível: [https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2011\\_1\\_09/2011\\_1\\_09\\_artigo.pdf](https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2011_1_09/2011_1_09_artigo.pdf). Acesso em: 20 set. 2019.

MAIA, R. S. **Energia solar: o desenvolvimento de um novo mercado**. Rio de Janeiro, mar. 2018. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024980.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.

MARINI, J. A. **Desenvolvimento de programa computacional para projeto de sistemas fotovoltaicos no suprimento de eletricidade a pequenas comunidades rurais**. Campinas, jan. 2001. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257624/1/Marini\\_JoseAdriano\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257624/1/Marini_JoseAdriano_M.pdf). Acesso em: 21 out. 2019.

MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B., ABREU, S.L. **Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project**, Solar Energy, v. 81, pp. 517–528, Set.

2006. Disponível em:

[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/periodicos/SolarEnergy\\_2007\\_v81\(4\)\\_p517-528.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/periodicos/SolarEnergy_2007_v81(4)_p517-528.pdf). Acesso em: 15 out. 2019.

MICHELS, R. N.; RICIERI, R. P.; GNOATTO, E.; SOUSA, S. N. M. DE; SUEDEMIO, DE L.; FISCHBORN, M. **Avaliação do bombeamento de água em um sistema alimentado por painéis fotovoltaicos**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.3, p.370-379, Paraná, 2009. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v29n3/a04v29n3.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019.

MINHA CASA SOLAR. **String Box 01 Saída / 01 ou 02 Entradas Proauto - SBP02/01**. s.d. Disponível em: [https://www.minhacasasolar.com.br/produto/string-box-01-saida-01-ou-02-entradas-proauto-sbp02-01-79346?utm\\_source=GoogleShopping&utm\\_medium=&utm\\_campaign=GoogleShopping&gclid=Cj0KCQjwrfvsBRD7ARIsAKuDvMPIJrjS2oTiJ0BLM9sdk0FA0ucNZbCIOgvtmJ-o4WYGFswDxKypmWwaAkgpEALw\\_wcB](https://www.minhacasasolar.com.br/produto/string-box-01-saida-01-ou-02-entradas-proauto-sbp02-01-79346?utm_source=GoogleShopping&utm_medium=&utm_campaign=GoogleShopping&gclid=Cj0KCQjwrfvsBRD7ARIsAKuDvMPIJrjS2oTiJ0BLM9sdk0FA0ucNZbCIOgvtmJ-o4WYGFswDxKypmWwaAkgpEALw_wcB). Acesso em: 10 out. 2019.

MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações).

**Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 4ª edição, Brasília, 2017. Disponível em:

[http://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/Estimativas\\_4ed.pdf](http://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/Estimativas_4ed.pdf). Acesso em: 30 nov. 2019.

MME (Ministério de Minas e Energia). **Boletim mensal de monitoramento do setor elétrico – dezembro de 2016**. Brasília: MME, 2017.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Norma Regulamentadora nº 35**. Portaria SIT n.º 313, de 23 de março de 2012. Disponível em:

<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR35.pdf>. Acesso em: 23 out. 2019.

MOSTOFI, M.; NOSRAT, A. H.; PEARCE, J. M. **Institutional scale operational symbiosis of photovoltaic and cogeneration energy systems**. International Journal of Environmental Science and Technology, Teerã, v. 8, n. 1, p. 31-44, 2011. Disponível em: <http://www.bioline.org.br/pdf?st11003>. Acesso em: 23 out. 2019.

NASCIMENTO, L. F. **Avaliação de longo prazo de um sistema fotovoltaico integrado à edificação urbana e conectado à rede elétrica pública**. Santa Catarina, 2013. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/130919/327988.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 out. 2019.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. São Paulo, s.d. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 20 out. 2019.

NEOSOLAR. **Painel Solar Fotovoltaico 330W - Yingli YL330P-35B**. São Paulo, s.d. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-yingli-yl330p-35b-330wp.html>. Acesso em: 13 set. 2019.

- NEXANS. **Soluções para energia renovável**. 2016. Disponível em: <https://www.nexans.com.br/Brazil/2016/Folder%20Solucao%20Renovavel%20Nexans%202016.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019.
- OLIVEIRA, A.; SILVEIRA, G. B.; BRAGA, J. M. **Diversidade sazonal do consumo de energia elétrica no Brasil**. *Pesq. Plan. Econ.*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 2, p.211-258, ago. 2000. Disponível em: <http://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/viewFile/171/106>. Acesso em: 25 out. 2019.
- PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 2002. 358 p.
- PEREIRA, W. A.; ALMEIDA, L. S. **Método manual para cálculo da taxa interna de retorno**. Amazonas, s.d. Disponível em: <http://www.faculdadeobjetivo.com.br/arquivos/MetodoManual.pdf>. Acesso em: 15 out. 2019.
- PINHO, B. R. B; MIRANDA, G. B.; SANTOS, R. P. C.; VIEIRA P. S. **A aplicação de métodos de análise de investimentos para mensuração de ganhos em iniciativas de melhorias de processos**. XXXI ENEGEP, Minas Gerais, out. 2011. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011\\_tn\\_sto\\_137\\_871\\_19204.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_137_871_19204.pdf). Acesso em: 12 out. 2019.
- PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. São Paulo, s.d. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 27 ago. 2019.
- PORTO, Y. C.; MIOLA, B.; DAYANE, F.; MELO, C.; FILHO, F. DE A. L.; PATRÍCIO, R. A. **Viabilidade técnica para implantação de um sistema solar fotovoltaico flutuante em um reservatório do semiárido brasileiro**. *Rev. Technol. Fortaleza*, v. 38, n. 2, p. 1-11, 2017. Disponível em: <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/7418/5618>. Acesso em: 12 out. 2019.
- RENLIGHT ENERGY. **Inversor Solar Abb 50,0kW Trifásico**. São Paulo, s.d. Disponível em: [https://renlightenergy.com.br/inversor-solar-abb-aldo-solar-3p799900000a-trio-tm-500-sx2-400-500kw-trifsico-380v-3-mppt-15-entradas-monitoramento-3475.html?gclid=CjwKCAjwldHsBRAoEiwAd0JybTxglfE-8ug0Ktvi4OCPxqEKG\\_7801ZvmCBdpMHHgevl\\_qfD1EXxMRoCuusQAvD\\_BwE](https://renlightenergy.com.br/inversor-solar-abb-aldo-solar-3p799900000a-trio-tm-500-sx2-400-500kw-trifsico-380v-3-mppt-15-entradas-monitoramento-3475.html?gclid=CjwKCAjwldHsBRAoEiwAd0JybTxglfE-8ug0Ktvi4OCPxqEKG_7801ZvmCBdpMHHgevl_qfD1EXxMRoCuusQAvD_BwE). Acesso em: 02 out. 2019.
- REVISTA ÉPOCA. **Energia solar deve crescer 44% no Brasil em 2019 com impulso de geração distribuída**. São Paulo, jan. 2019. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2019/01/epoca-negocios-energia-solar-deve-crescer-44-no-brasil-em-2019-com-impulso-de-geracao-distribuida.html>. Acesso em: 20 out. 2019.
- SÁLES, I. C. F. **Análise da substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar: uma contribuição ao setor elétrico na conservação de energia**. 158 f. Dissertação (mestrado) – Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia, Universidade

Federal de Alagoas, Maceió, 2008. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/410>. Acesso em: 20 ago. 2019.

SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial). **Departamento Regional do Estado do Rio de Janeiro Cartilha inventário de emissões de gases de efeito estufa**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/manuais-e-cartilhas/cartilha-inventario-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa.htm>. Acesso em: 30 out. 2019.

SANTOS, I. P. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista**. Santa Catarina, 2009. Disponível em: <http://fotovoltaica.ufsc.br/Dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20final-Isis.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.

SILVEIRA, R. B; ALVES, M. P. A; MURARA P. **Estudo de caracterização da direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina**. Anais do X Simpósio Brasileiros de Climatologia Geográfica. p. 380 – 392. Paraná, 2014. Disponível em: <http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/80.pdf>. Acesso em: 29 out. 2019

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análise de Investimento: fundamentos, técnicas e aplicações**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2004.

VILAÇA, I.N.C. **Projeto de uma instalação fotovoltaica de 1,5 MW**. Braga, out. 2009. Disponível em: <http://intranet.dei.uminho.pt/gdmi/galeria/temas/pdf/24608.pdf>. Acesso em: 14 out. 2019.

VOCÊ SOLAR. **Célula Fotovoltaica – Da Luz Solar à Energia Elétrica**. São Paulo, set. 2019. Disponível em: <https://vocesolar.com.br/celula-fotovoltaica-da-luz-solar-a-energia-eletrica/>. Acesso em: 16 out. 2019.

YINGLI SOLAR. **Datasheet: Yge 72 cell series 2 hsf smart**. s.d. Disponível em: [http://www.yinglisolar.com/static/assets/uploads/products/downloads/DS\\_YGE72CELL%20SERIES%20%20HSF%20SMART-35b\\_40mm\\_EU\\_EN\\_20171030\\_V04.pdf](http://www.yinglisolar.com/static/assets/uploads/products/downloads/DS_YGE72CELL%20SERIES%20%20HSF%20SMART-35b_40mm_EU_EN_20171030_V04.pdf). Acesso em: 26 out. 2019.

WESTERFIELD, R; LAMB, J. **Administração financeira: versão brasileira de corporate finance**. 10ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.