

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FERNANDO FERREIRA PICINATO**

**PROPOSTA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE SISTEMA  
FOTOVOLTAICO NO CAMPUS CAMPO MOURÃO DA UTFPR**

**CAMPO MOURÃO**

**2022**

**FERNANDO FERREIRA PICINATO**

**PROPOSTA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE SISTEMA  
FOTOVOLTAICO NO CAMPUS CAMPO MOURÃO DA UTFPR**

**Proposal for generation of electric energy through a photovoltaic system on  
the Campo Mourão campus of utfpr**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão  
de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil  
do Departamento Acadêmico de Construção Civil –  
DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná - UTFPR, para obtenção do título de  
bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Esp. Evandro Luis Volpato

**CAMPO MOURÃO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FERNANDO FERREIRA PICINATO**

**PROPOSTA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE SISTEMA  
FOTOVOLTAICO NO CAMPUS CAMPO MOURÃO DA UTFPR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Data da aprovação: 06/junho/2022

---

Ronaldo Rigobello  
Doutorado em Engenharia de Estruturas pela Universidade de São Paulo  
Professor do Magistério Superior da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Jorge Luís Nunes de Góes  
Doutorado em Engenharia de Estruturas pela Universidade de São Paulo  
Professor Doutor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Evandro Luis Volpato  
Especialização em Especialização em Informática Aplicada a Educação  
Professor Ens. Básico Tecnológico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO**

**2022**

## RESUMO

Visando as vantagens que o Brasil apresenta frente a produção energética solar, bem como a preservação ambiental e a busca por energias renováveis e alternativas. O trabalho consiste em investigar a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico ligado à rede de distribuição da concessionária juntamente com uma estrutura para que os módulos de geração fotovoltaica sejam a cobertura do estacionamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão. Foram orçados custos para instalação do sistema, bem como da estrutura. A partir da estimativa de energia gerada pelo sistema, foi possível concluir as vantagens e desvantagens da instalação do sistema, além de estimar o retorno sobre o investimento.

Palavras-chave: energia fotovoltaica; eficiência energética; radiação solar; estacionamento solar.

## **ABSTRACT**

Aiming at the advantages that Brazil presents in the face of solar energy production, as well as environmental preservation and the search for renewable and alternative energies. The work consists of investigating the economic viability of a photovoltaic system connected to the distribution network without parking at the Federal Technological University of Paraná. We were recorded as energy production by the system during the months. From the investment generated by the system, it was possible to make the investment viable and estimate the installation of the system, in addition to energy.

Keywords: photovoltaic energy; energy efficiency; solar radiation; solar parking

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 - Estações ao longo do ano.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2 - Irradiação média global no Brasil.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 3 - Esquema de um sistema conectado à rede (on-grid) .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4 - Foto de drone da UTFPR-CM.....</b>	<b>188</b>
<b>Figura 5 - Estacionamento bloco G, UTFPR – Campo Mourão .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 6 - Estrutura metálica de aço galvanizado .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 7 - Bloco e estaca de concreto .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 8 - Fixação dos pilares .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 9 - Fixação das Longarinas .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 10 - Fixação terças .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 11 - Irradiação solar em Campo Mourão .....</b>	<b>26</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fluxo de caixa.....	28
-------------------------------	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
DPS	Dispositivo de Proteção de Surtos
ICMS	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços
On-grid	Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDEE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PERS	Programa de Energia Renovável Social
PIS	O Programa de Integração Social
ROI	Retorno sobre o investimento
SGT	Superintendência de Gestão Tarifária



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
2	OBJETIVOS .....	11
2.1	Objetivo Geral .....	11
2.2	Objetivos Específicos .....	11
3	JUSTIFICATIVA.....	12
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
4.1	Energia Solar .....	12
4.2	Energia Fotovoltaica .....	14
4.3	Sistema Conectados À Rede Elétrica (On Grid) .....	15
4.4	Indicadores Para Análise De Viabilidade Econômica Financeira.....	17
5	METODOLOGIA .....	18
5.1	Local Do Estudo .....	18
5.2	Módulos E Estruturas .....	19
5.3	Levantamento De Custos E Aquisições .....	19
5.4	Estudo Da Viabilidade Econômica.....	21
5.5	Dimensionamento Do Sistema .....	21
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	26
6.1	Estimativa De Geração Do Sistema .....	26
6.2	Estudo Da Viabilidade Econômica Do Sistema .....	27
7	CONCLUSÃO .....	28
	REFERÊNCIAS .....	30

## 1 INTRODUÇÃO

Mundialmente, a produção energética é predominantemente não renovável, por esse motivo, seja qual for o tipo de geração, os impactos ambientais sempre vão existir, portanto, a busca por opções menos nocivas e que sejam fontes rentáveis, segue em ascensão. Dentre as diversas fontes alternativas, encontram-se a energia fotovoltaica, eólica e de biomassa (NICOLA *et al.*, 2018).

Evidentemente, a energia fotovoltaica tem contribuído para geração de energia limpa por ser uma fonte de energia obtida pela conversão do raio solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, logo, se equiparada ao petróleo, gás natural e carvão, apresenta poucos impactos nocivos para o meio ambiente, uma taxa de restabelecimento mais rápida em relação a taxa de consumo e grande abundância na natureza (BASHIR, *et al.*, 2018).

Desde a primeira célula fotovoltaica aplicada, em 1954, em uma fonte de alimentação telefônica na Geórgia, a energia fotovoltaica evoluiu muito no âmbito mundial. China, Japão, Alemanha, Estados Unidos e Itália, são países com maior capacidade solar instalada por pessoa (PORTAL SOLAR, 2017).

A China lidera o ranking do uso e da produção de energia solar e eólica mundialmente, isso faz parte da estratégia “Made in China 2025”, englobando dentre outras áreas, a corrida para a produção global de energia alternativa. Esse aumento da produção energética se deu na última década, graças à preocupação com os danos ambientais gerados pelos combustíveis fósseis e com o aquecimento global. Como forma de estímulo, o governo chinês passou a oferecer empréstimos a juros mais em conta, subsídios para pesquisas, bem como mão de obra barata. Apesar da maioria das empresas serem privadas, existe um laço estreito entre as empresas e a classe capitalista transnacional estatal da China para promoção de energia renovável. Atualmente a China conta com cinco das dez maiores empresas de produção de energia solar mundial, além disso, nos próximos cinco anos, investirá US \$360 bilhões em energias renováveis (HARRIS, 2019).

No Brasil, inicialmente, a energia fotovoltaica em pequena escala, encontrava-se em áreas sem conexão com o Sistema Interligado Nacional (SIN) (Holdermann *et al.*, 2014). Após a resolução 482/2012 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), que regulamentou o sistema de compensação de energia elétrica, e estabeleceu condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída, a

instalação de painéis de células fotovoltaicas tornou-se economicamente atrativo, e isto causou um aumento significativo no parque gerador instalado (ANEEL, 2012). Em 2015, a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL foi alterada com a publicação da RN nº 687/2015 da ANEEL, estabelecendo facilidades para o uso da geração distribuída. A potência para microgeração, que era de até 100 kW, passou a ser de até 75 kW, e para minigeração foi de 100 kW a 1 MW, para 75 kW a 5 MW (ANEEL, 2015).

Em janeiro de 2022, a Lei 14.300/2022 foi sancionada, instituindo o marco legal do micro e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), alterando as leis nº 10.848/2004 e a nº 9427/96. Esta lei permite que os consumidores produzam sua própria energia a partir de fontes renováveis, além de conceder por 25 anos os benefícios oferecidos pela ANEEL por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), para aqueles que protocolaram a solicitação de acesso na distribuidora em 2022, bem como para as unidades consumidoras já existentes (BRASIL, 2022).

Como forma de estimular o mercado, diversos incentivos foram criados. O governo federal reduziu taxas sobre os produtos, bancos como Caixa Econômica Federal, Banco do Brasil e Sicredi, tem linhas de créditos exclusivos para instalação de energias limpas. Dentre os incentivos, o Programa de Energia Renovável Social (PERS), instituído pela Lei 14.300/2022, destina investimentos para instalação e geração de energia fotovoltaica e outras fontes renováveis para os consumidores de baixa renda. Os recursos financeiros são providos do Programa de Eficiência Energética (PEE) e de fontes de recursos complementares (BRASIL, 2022).

Outra maneira de atrair o consumidor, foi a criação do sistema de compensação energética pela ANEEL através da NR 482, este, trata basicamente da injeção de energia elétrica como forma de “crédito energético” excedente na rede distribuidora, desta forma quando não há geração de energia fotovoltaica, os créditos servirão para serem abatidos do consumo da rede convencional. Além disso, os créditos têm validade de 5 anos, podendo ser úteis para dias chuvosos e nublados (ANEEL, 2015).

Em 2015, o CONFAZ (Conselho Nacional de Política Fazendária - Ministério da Fazenda), revogou a tributação da energia injetada na rede, tornando responsabilidade de cada estado decidir sobre a isenção ou não do valor a ser cobrado de tributação, podendo este ser descontado como “crédito energético”, caso

fosse de interesse do consumidor (PORTAL SOLAR, 2015). Em junho de 2018, o estado do Paraná, uns dos últimos a adotar a isenção da tributação, adotou a medida através do convênio 16/15 do CONFAZ, esta medida proporcionou maior incentivo à adoção de fontes energéticas sustentáveis (PONTO SOLAR, 2018).

Segundo o Ministério de Minas e Energia, no Brasil, incidem alguns encargos sobre a conta de energia elétrica, sendo eles: a energia comprada, o transporte de energia até as unidades consumidoras e os encargos setoriais, além das bandeiras tarifárias e dos impostos federais (PIS/CONFINS), estaduais (ICMS) e municipais (iluminação pública) (BRASIL, 2020). Para o ano de 2022, segundo dados da Superintendência de Gestão Tarifária (SGT) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o reajuste médio homologado para as tarifas residenciais está em 9,60%, ou seja, 1,35% mais caro se equiparado com o ano de 2021, o que tem atraído cada vez mais, consumidores interessados em fontes alternativas de energia, em busca de economia (ANEEL, 22).

A fim de demonstrar estudo prático sobre o assunto, este trabalho tem como propósito dimensionar e avaliar a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico ligado à rede de distribuição da concessionária no estacionamento da UTFPR – CM, no qual permite compensar a monetariamente gerando descontos nas faturas subsequentes, e caso não seja suficiente a energia gerada, é compensada pela rede elétrica da distribuidora

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Analisar a eficiência e a viabilidade econômica de um modelo de geração de energia fotovoltaica on-grid na modalidade estacionamento solar no campus Campo Mourão da UTFPR.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Dimensionar o Sistema fotovoltaico on-grid;
- Estimar a produção mensal de energia pelo Sistema;

- Investigar o retorno financeiro para a instituição e benefícios, para o meio ambiente e para o usuário.

### **3 JUSTIFICATIVA**

Este trabalho visa o cenário energético atual, em que se busca fontes alternativas de energia voltadas para o tema de preservação ambiental, a fim de conciliar a globalização com a sustentabilidade dos recursos naturais, bem como as vantagens que o Brasil apresenta perante a energia fotovoltaica.

Desta forma, faz-se necessário realizar o desenvolvimento de um projeto de geração solar fotovoltaica através da instalação dos sistemas solar fotovoltaico, com a finalidade de analisar se é possível tornar o campus Campo Mourão da UTFPR – CM autossustentável energeticamente e gerar resultados positivos.

### **4 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **4.1 Energia Solar**

A radiação solar recebida pela Terra equivale a uma quantidade energética ao ano de centenas de milhões de vezes maior se comparada com a geração de Itaipu, que é a maior geradora de energia elétrica renovável do mundo. Portanto, a quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra equivale a dez mil vezes a demanda global, ou seja, teríamos de utilizar apenas 0,01% desta energia para cobrir a demanda total da humanidade (BARROS, 2011).

Além de condições atmosféricas a disponibilidade de energia solar, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol e à sua inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente. Desse modo, a duração solar do dia varia em algumas regiões e períodos do ano, como mostra a Figura 1 (ANEEL, 2009).

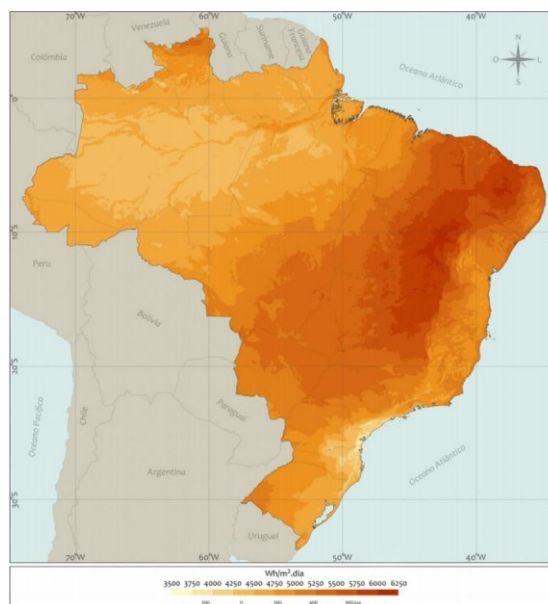
**Figura 1: Estações ao longo do ano.**



**Fonte: Magnoli; Scalzaretto, 1998. (Adaptado)**

O Brasil fica situado nos extremos no sentido norte-sul, ao sul, com latitude  $33^{\circ}45'03''$ , e ao norte do território, com a latitude de  $5^{\circ}16'20''$  região onde os raios solares incidem no sentido vertical, condição essa que faz com que haja elevados índices de radiação solar ao longo do ano. A proximidade com a linha do equador, faz com que o Brasil tenha pouca variação de incidência ao longo do ano, sendo assim independentemente de estar no inverno o Brasil ainda tem bons níveis de irradiação, provando a vantagem para o aproveitamento energético solar. A figura 2 mostra a irradiação média no Brasil (TOLMASQUIM, 2016).

**Figura 2 – Irradiação média global no Brasil.**



**Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, (2006)**

Dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (2017) entre os anos 2005 e 2015, evidenciam que a região Nordeste apresentou a menor variabilidade interanual de radiação solar, com valores entre 5,39 e 5,59 kWh/m<sup>2</sup>, a região Sul apresentou valores entre 4,53 e 4,61 kWh/m<sup>2</sup>, enquanto a Norte os valores médios anuais estão entre 4,61 e 4,69 kWh/m<sup>2</sup>, a região Sudeste apresentou médias entre 4,97 e 5,11 kWh/m<sup>2</sup>.

Durante o verão, as regiões Norte e Nordeste apresentaram as menores variabilidades, enquanto as regiões Sul e Sudeste tiveram as maiores variabilidades. No outono a menor variabilidade é verificada nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, no inverno nas regiões Nordeste e Sul e no verão na região Norte. Na primavera ocorre a maior variabilidade em quase todas as regiões do Brasil, com exceção do Sudeste, onde a maior variabilidade ocorre no verão. As menores amplitudes são encontradas na região Nordeste em todas as estações do ano, por esse motivo, ocorre uma maior estabilidade na produção de energia solar ao longo de todo ano (PEREIRA et al., 2017).

Desta forma, os valores anuais de radiação solar incidentes em qualquer região brasileira são superiores aos de grandes países que recebem fortes incentivos governamentais (JARDIM, 2017). Devido aos estímulos atuais, houve um aumento de investimentos na geração de energia fotovoltaica brasileira, englobando um total de 170.000 consumidores. Apesar dessa ascensão, países como EUA, Japão e Alemanha atingiram a marca de 2 milhões de sistemas fotovoltaicos distribuídos (ABSOLAR, 2019). Segundo a ANEEL (2020) a geração de energia fotovoltaica no Brasil é de 3287 MW. Embora esteja em ascensão, o país ainda não explora seu alto nível de radiação solar.

## **4.2 Energia Fotovoltaica**

A energia fotovoltaica pode ser considerada uma fonte inesgotável de recursos, o qual transforma o calor em energia limpa, segura e confiável. Dentre os inúmeros pontos a serem considerados, destacam-se as questões ambientais, uma vez que esta não gera resíduos durante a produção de energia, não produz ruídos nem usa fontes esgotáveis de energia (GOLDEMBERG; PALETTA 2012).

A obtenção de energia elétrica pelo sistema se dá pela conversão da luz solar por meio do efeito fotovoltaico, esse efeito acontece por conta da diferença de

potencial dos extremos de estruturas semicondutoras pela absorção da luz. Dos diversos materiais semicondutores existentes, quase todas as células fotovoltaicas são fabricadas através do silício, sendo este, o mais utilizado (CRESESB, 2006).

Para a fabricação do módulo fotovoltaico é muito utilizado o silício policristalino e monocristalino, estes apresentam grande eficiência na conversão de energia solar em elétrica (PINHO; GALDINO, 2014). Em relação ao silício monocristalino, a geração energética chega a 16% e no policristalino é de 11 e 13% (DE SOUZA, 2019).

Há disponível dois tipos de sistema de energia solar fotovoltaica: on grid e off grid. No on grid o sistema é conectado à rede pública, dando maior estabilidade para o consumidor nos momentos de baixa produção, podendo utilizar o que vem proveniente da distribuidora. A energia excedente é transformada em créditos energéticos. No off grid o sistema de produção de energia é autônomo, ou seja, são usadas baterias próprias no lugar da conexão com a rede de distribuição, essas baterias armazenam o excedente para os dias de baixa produção energética (PORTAL SOLAR, 2017).

A RN nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) pode ser considerada uma incentivadora da produção de energia por fontes renováveis, como a fotovoltaica (RABUSKE; FRIEDRICH; FONTOURA 2018). Esta resolução permite que o consumidor produza sua própria energia, além de poder injetar o excedente na rede local de distribuição de maneira individual, bem como em condomínios e cooperativas. Desta forma, quando a produção exceder a quantidade utilizada, o excedente se transforma em “crédito energético”, o qual pode ser utilizado para ser abatido na conta de energia, tendo um prazo de 60 meses até esses créditos expirem (ANEEL, 2012).

### **4.3 Sistema Conectados À Rede Elétrica (On Grid)**

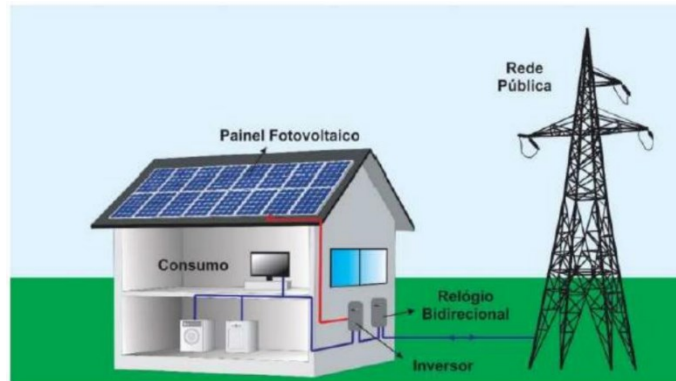
O sistema fotovoltaico conectado à rede também é conhecido como on grid (figura 3), esse tipo de sistema dispensa o uso de baterias, pois toda a potência gerada pelo sistema fotovoltaico é consumida pelas cargas ou é injetada diretamente na rede elétrica, no caso de falhas ou insuficiências, a energia é compensada pela concessionária (ANEEL, 2012).

O painel fotovoltaico gera a energia elétrica sempre que ocorre incidência de radiação solar. Essa geração oscila automaticamente conforme a variação da luz.



Para esse tipo de sistema, é necessário a presença de inversores, pois o sistema fotovoltaico gera energia em corrente contínua, e a rede de distribuição trabalha com corrente alternada (PINHO & GALDINO, 2014). Para proteção do sistema bem como das placas de descargas elétricas, indica-se a instalação de uma string box conectada ao inversor da placa de energia e ao quadro de proteção da rede elétrica.

**Figura 3 – Esquema de um sistema conectado à rede (on-grid)**



Fonte: Antunes, 2016

Segundo a Reevisa (2021), uma vez que se opta pelo uso do sistema ligado na rede pública, on grid, existem alguns tributos que incidem sobre esse sistema cobrados na fatura de energia, são eles:

ISS (imposto sobre serviços): varia a cada município de 2% a 5%, sendo cobrado pelo serviço local do estabelecimento prestador.

As alíquotas do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) aplicados pela COPEL variam entre 25% para todas as unidades consumidoras da classe residencial, localizadas em áreas rurais ou classificadas como uma das atividades da seção A da tabela do CNAE que não sejam beneficiárias do deferimento do ICM. E 29% para as demais unidades consumidoras do estado do Paraná

PIS/COFINS: incidem sobre o faturamento e receita. No caso de lucro presumido em regime cumulativo o COFINS é 3% e o PIS 0,65%. O lucro real no regime não cumulativo o COFINS é de 7,6% e o PIS 1,65%. O sistema de autoconsumo remoto/local é isento no caso de potência máxima de 5MW. Em caso de geração compartilhada ou múltiplas unidades consumidoras o PIS/COFINS incide sobre a energia recebida da distribuidora.

IR/CSLL: incide sobre a renda de pessoa jurídica em forma de lucro real ou presumido.

IRPJ: incide sobre pessoa jurídica no valor de 15% com adicional de 10% ou 9% de contribuição social sobre o lucro líquido. A base de presunção desse imposto é de 32% para serviços e 8% para distribuição e comercialização.

Segundo a ANEEL (2015) a fatura de energia do sistema fotovoltaico compreende a tarifa de energia sobre o preço unitário por KWh definido pela soma do TUSD e TE. A TUSD é a tarifa de uso do sistema de distribuição, ou seja, custo sobre reparos, equipamentos e instalações da rede. A TE é o custo pela ligação na rede. A bandeira tarifária vai depender do quanto for usado de KWh, assim é acrescido um valor a cada 100Kwh consumido. A iluminação pública é a arrecadação para manutenção da rede pública, variando por mês, município e bairro.

Em 6 de janeiro de 2022 foi aprovada a lei nº 14.300 que instituiu o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, segundo esta, a partir de 12 meses da sua publicação, a conta de desenvolvimento energético custeará os componentes tarifários não associados ao custo da energia para aquele consumidor-gerador participante do sistema de compensação de energia elétrica (SCEE) nas distribuidoras com mercado inferior a 700 gigawatts-hora por ano, ou seja, terá isenção nas tarifas não associadas ao custo de energia e a partir dos anos subsequentes a tarifa será escalonada ao longo dos anos: em 2023 será cobrado apenas 15%, em 2024 30%, em 2025 45% e assim seguirá subindo 15% ao ano até o ano de 2029, que será cobrado integralmente todos encargos definidos pela ANEEL (BRASIL, 2022).

Embora o consumidor necessite de realizar um investimento relativamente alto para instalação, existem vantagens consideráveis com a instalação do sistema a longo prazo, visto que, este alcança longas distâncias e locais de difícil acesso, além do sistema ter um tempo médio de vida útil de 25 anos e baixa manutenção (SANTOS, MARTINS E BORGES 2020).

#### **4.4 Indicadores Para Análise De Viabilidade Econômica Financeira**

Segundo Pilão e Hummel (2003) são utilizadas algumas taxas para cálculo da viabilidade econômica para instalação do sistema on grid. São elas:

TMA (taxa mínima de atividade), esta taxa demonstra o mínimo que um investidor se propõe a ganhar com o investimento. É formada por 3 componentes: o custo da oportunidade, o risco do negócio e a liquidez do negócio.

O VPL (valor presente líquido) também pode ser chamada de taxa de desconto, custo de oportunidade ou custo de capital, representa os descontos do fluxo de caixa da empresa a uma taxa específica, permite ainda, que seja realizado o cálculo do impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento (GITMAN, 2002).

A (TIR) taxa interna de retorno pode ser equiparada com a potência máxima, a qual permite descobrir a porcentagem da remuneração do investimento (PILÃO E HUMMEL, 2003).

Através do Payback é possível mensurar o número de anos necessários para recuperar o investimento inicial ignorando a taxa de desconto. No Payback descontado, consideramos o valor investimento calculando a taxa de desconto para que se possa verificar o período exato do que foi investido inicialmente (GROPPELI E NIKBAKHT, 2010).

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Local Do Estudo

O local de implantação do sistema é o Campus da UTFPR - Campo Mourão, mais precisamente no estacionamento norte, cuja latitude e longitude são respectivamente  $24,0599^{\circ}$  Sul e  $52,3858^{\circ}$  Oeste, hachurado em amarelo na figura 4.

**Figura 4 – Foto de drone da UTFPR-CM**



**Fonte: Aatoria Professor Evandro Luis Volpato (2021)**

Para estimar a geração dos módulos fotovoltaicos, será utilizado a base de dados do Laboratório de Energia Solar (LABENS), que conta com um grupo de pesquisa da UTFPR – Curitiba que tem como foco desenvolver pesquisas relacionadas à energia solar como, a irradiação solar e o potencial fotovoltaico no estado do Paraná. O LABENS utiliza de dados experimentais de sistemas fotovoltaicos instalados na própria universidade (LABENS, 2022).

A localização supracitada, apresenta maior média anual de incidência de irradiação solar no plano inclinado de 20° apontado para o norte, alcançando cerca de 4,87Wh/m<sup>2</sup> ano. Como a irradiação solar é sazonal, existem variações significativas, no mês de junho é apresentado a menor incidência, 3,17 kWh/m<sup>2</sup> dia, e no mês de dezembro a maior chegando a 6,47 kWh/m<sup>2</sup>mdia (TIEPOLO et al., 2017).

## **5.2 Módulos E Estruturas**

Para o dimensionamento dos módulos será levado em consideração a área disponível, bem como a posição geográfica. Para que o fornecimento atendesse ao município de Campo Mourão, o módulo foi escolhido a partir da eficiência de geração por metro quadrado, e o inversor com base no tamanho do sistema, com a maior garantia do mercado. A estrutura proposta será de aço com pintura resistente a intempéries, a fim de acompanhar a longevidade do sistema.

Esse modelo de estrutura Carport será instalado em série a cada 2 vagas, além disso, travessas de travamento serão colocadas sobre essa estrutura para a fixação dos painéis, facilitando a angulação dos painéis.

## **5.3 Levantamento De Custos E Aquisições**

Por se tratar de uma instituição pública serão necessários três orçamentos em empresas devidamente homologadas para a instalação de sistema de energia solar, a fim de orçar os custos e aquisições. O projeto do sistema terá que cumprir alguns requisitos, dos quais, o sistema deverá ser conectado à rede de elétrica (On-grid), conter uma string box, um inversor de corrente contínua para corrente alternada, assim como a estrutura para sustentação do sistema. Para a análise deste trabalho

foi feito o levantamento em apenas uma empresa, Solinare Energia, que forneceu valores para fornecimento e instalação do sistema bem como da estrutura metálica.

## 5.4 Estudo Da Viabilidade Econômica

Serão utilizados dois indicadores econômicos para averiguar a viabilidade da instalação do sistema fotovoltaico, ROI e Payback, para investimentos a longo prazo são tomados como padrão nas análises.

Com base no índice de irradiação solar da área a ser implantado o sistema fotovoltaico juntamente com a análise das faturas dos últimos 28 meses das contas de energia da UTFPR, foram realizados os cálculos.

Com o Payback podemos calcular o retorno do investimento em anos, com o ROI, o retorno do investimento em porcentagem, além do ganho ao investir, a fim de se ter o controle do quanto os custos serão reduzidos com o investimento no sistema. Para ambos os cálculos, foram consideradas as estimativas de inflação e um valor da tarifa energética. Foi feita uma média nos últimos 28 meses chegando em R\$ 0,53 por kWh. Um benefício não valorado neste trabalho é uma possível redução na demanda contratada pela UTFPR – CM, situação que impactaria em uma maior economia para a universidade.

O retorno do investimento (ROI) será calculado a partir da seguinte fórmula:

$$ROI = \frac{\textit{Média anual de economia}}{\textit{Total do Investimento} \times 100}$$

O payback será calculado a partir da seguinte fórmula:

$$\textit{Payback} = \frac{\textit{Total do investimento}}{\textit{Média anual de economia}}$$

## 5.5 Dimensionamento Do Sistema

O dimensionamento foi feito considerando a área disponível escolhida, esta situa-se na fileira mais próxima ao bloco G do estacionamento da UTFPR – Campo Mourão.



**Figura 5 – Estacionamento bloco G, UTFPR – Campo Mourão**



**Fonte: Próprio Autor (2022)**

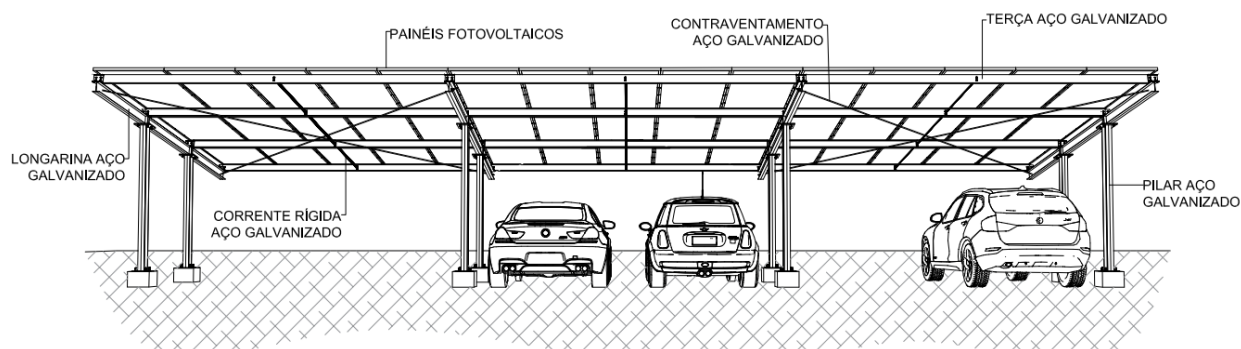
De acordo com o projeto fornecido pela universidade foi feito um estudo preliminar da área, da locação dos módulos fotovoltaicos e de sua estrutura de sustentação. O estacionamento tem 65m lineares, que divididos em vagas de 2,5m chegamos a 26 vagas nessa faixa do estacionamento. Foram considerados painéis com dimensões de 2,27x1,13m e alocados com inclinação de 24° com o plano, contabilizando 171 módulos ao todo.

O módulo fotovoltaico utilizado para esse estudo é o modelo OSDA Solar ODA550-36H-MH para o sistema de silício monocristalino. Seu peso unitário é de 24,40kg e pode gerar até 550w em cada módulo a depender da incidência de radiação solar no local, sua eficiência é de 21,3%, portanto o sistema pode atingir uma geração máxima de 94,05 kWp. O inversor utilizado para esse estudo é o modelo da marca WEG, trifásico 380V, modelo: SIW500H ST100, para suportar esse sistema, possui potência nominal 100 kWp e eficiência de 99%. Tendo em vista que a saída do inversor é de 380V é necessário a instalação de um transformador trifásico de 100kVA para que a tensão seja transformada de 380V para 220V além dos cabos específicos

para corrente contínua com 6mm<sup>2</sup> e de disjuntores de proteção, respeitando as especificações da NBR 5410.

A estrutura proposta para a instalação é metálica de aço galvanizado com pintura resistente a intempéries, sua disposição geral está representada na figura 6.

**Figura 6 – Estrutura metálica de aço galvanizado**



**Fonte: Manual de instalação da estrutura (2022)**

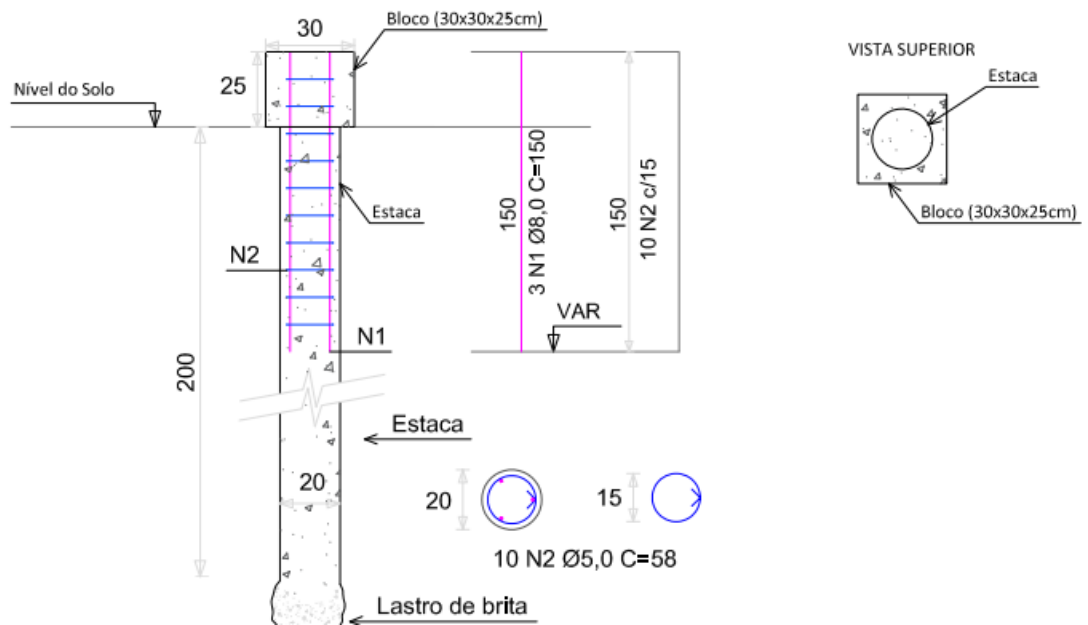
Para a execução do projeto estrutural iniciaremos com a fundação, executada com uma estaca armada com diâmetro 20cm para cada pilar e um bloco de concreto armado com 30x30x25cm acima das estacas, seguindo as proposições da NBR 6122. Os detalhes executivos estão descritos na figura 7.



**Figura 7 – Bloco e estaca de concreto**

**DETALHE 1**

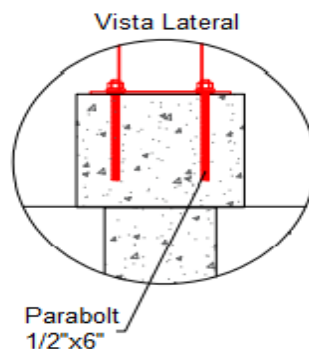
BLOCO DE CONCRETO (30x30x25cm)  
ESTACA DE CONCRETO (Ø0,20m - PROFUNDIDADE= 2,0m)



Fonte: Manual de instalação da estrutura (2022)

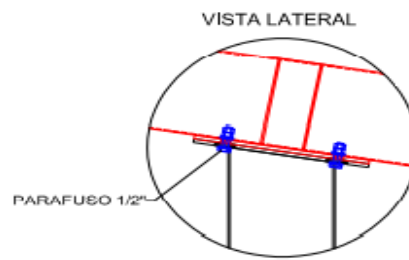
Os pilares, que são perfis W 200x15 com chapa de 4mm, terá sua fixação feita com 4 chumbadores, tipo parabolt de 1/2"x6" por pilar, detalhados na figura 8. As longarinas serão parafusadas utilizando porcas, arruelas e parafusos de 1/2".

**Figura 8 – Fixação dos pilares**



Fonte: Manual de instalação da estrutura (2022)

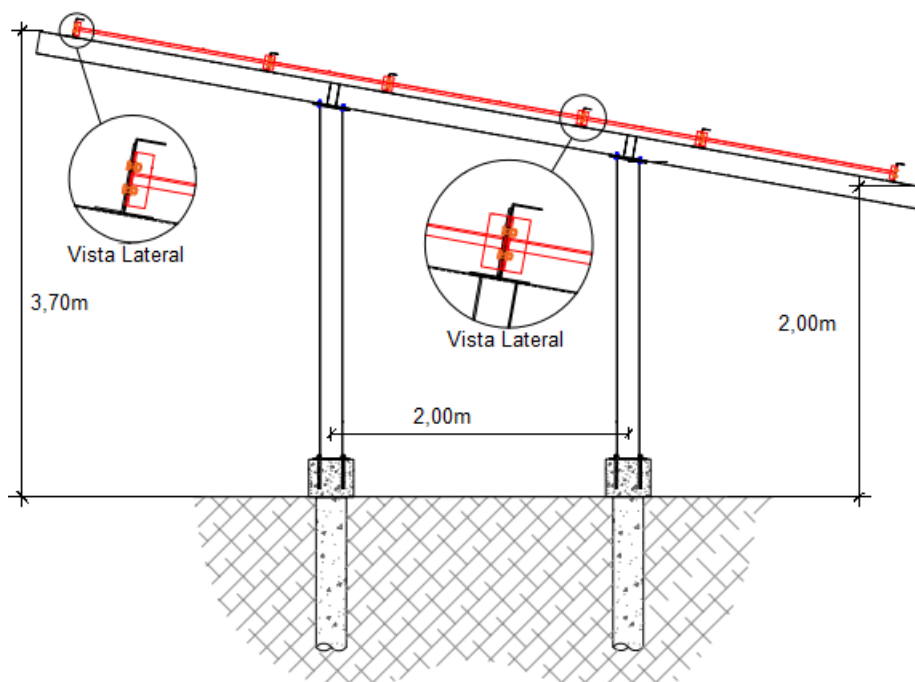
**Figura 9 – Fixação das Longarinas**



**Fonte: Manual de instalação da estrutura**

Acima das Longarinas serão fixadas terças, que são perfis U enrijecido com chapa de 112 micras de espessura, também parafusadas utilizando porcas, arruelas e parafusos brocantes de  $\frac{3}{8}$ ", para que nelas sejam fixados os módulos fotovoltaicos, representados na figura 9.

**Figura 10 – Fixação terças**



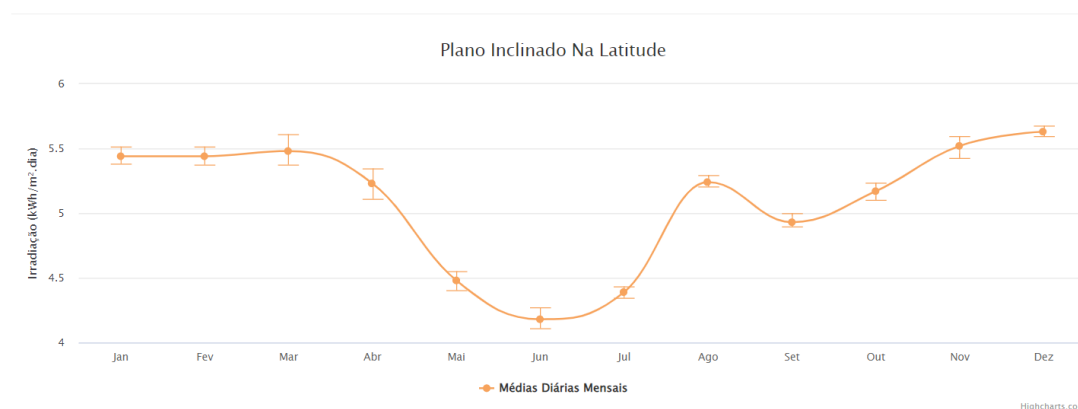
**Fonte: Manual de instalação da estrutura (2022)**

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Estimativa De Geração Do Sistema

De acordo com dados obtidos pelo Laboratório de Energia Solar (LABENS) a irradiação solar no plano inclinado de 24° com o plano em Campo Mourão, corresponde a uma média mensal ao longo do ano de 5,04 kWh/m<sup>2</sup>. Por conta da sazonalidade, existem variações significativas de acordo com os meses e estações do ano, sendo o mês de dezembro com maior irradiação, apresentando um total de 5,6 kWh/m<sup>2</sup>, e o mês de junho com o menor índice de 4,2 kWh/m<sup>2</sup>. Os dados podem ser observados na figura 5 (TIEPOLO et al., 2017).

**Figura 11 - Irradiação solar em Campo Mourão**



**Fonte: LABENS – UTFPR CAMPO MOURÃO (2022)**

Com base nesses dados retirados do LABENS podemos calcular a geração média mensal do sistema, foi considerado um fator de minoração da geração teórica para a geração prática chamado de *performace ratio* para esse estudo foi considerado um valor conservador de 80%.

$$\frac{kWh}{mês} = Pot. do sistema \times irradiação solar \times performace ratio \times \frac{365}{12}$$

Encontramos um valor estimado de 11 527,97 kWh/mês.

## 6.2 Estudo Da Viabilidade Econômica Do Sistema

Foi feita uma análise dos últimos 28 meses, no período de janeiro de 2020 a abril de 2022 das faturas de energia da Universidade Federal Tecnológica do Paraná, no período o valor médio da tarifa fora de ponta de R\$0,53/kwh e um gasto médio mensal de R\$25.934,56. A partir da média mensal de irradiação solar ao longo do ano, encontrou-se uma estimativa de geração de energia pelo sistema proposto de 11.527,97 kwh/mês. O produto da taxa com o valor estimado de produção mensal será de R\$6.109,82, valor esse que representa uma média de economia mensal, ao longo do ano.

A fim de estimar o investimento total do sistema, foi realizado um orçamento, considerando os preços das placas, inversores, String Box e todos materiais necessários para instalação do sistema, totalizando um montante de R\$395 950,05.

Em relação a estrutura a ser instalada, foram orçadas uma estrutura de garagem solar terrestre, juntamente com um extensor de garagem solar terrestre, no valor de R\$85.800,00.

Para a implantação do sistema, foi orçado ainda, o valor da mão-de-obra para a desenvolvimento e implantação do sistema, totalizando o valor de R\$40.000,00

Com base na geração de energia pelo sistema proposto e no valor médio da tarifa nos últimos 28 meses a economia mensal estimada foi de R\$6.109,82, sendo necessário um investimento total foi de R\$ 521.750,05. Ao se calcular o retorno sobre o investimento (ROI), foi encontrada uma rentabilidade de 14,05% ao ano, que corresponde a uma economia de a de R\$73.317,84 ao ano, no gasto elétrico da universidade. Para a estimativa de tempo do retorno financeiro (Payback) foi considerado uma depreciação de 2,5% no primeiro ano e de 0,7% nos anos subsequentes após o investimento e assim após sete anos e dois meses alcança-se o ponto de equilíbrio, como apresentado na tabela a seguir:

**Quadro 1 - Fluxo de Caixa**

Ano	Geração (kWh/ano)	Tarifa média por kWh	Reembolso Anual	Reembolso Acumulado	Fluxo de Caixa
0					-521750,05
1	138335,64	R\$ 0,53	R\$ 73.317,89	R\$ 73.317,89	-R\$ 448.432,16
2	134877,25	R\$ 0,53	R\$ 71.484,94	R\$ 144.802,83	-R\$ 376.947,22
3	133933,11	R\$ 0,53	R\$ 70.984,55	R\$ 215.787,38	-R\$ 305.962,67
4	132995,58	R\$ 0,53	R\$ 70.487,66	R\$ 286.275,03	-R\$ 235.475,02
5	132064,61	R\$ 0,53	R\$ 69.994,24	R\$ 356.269,28	-R\$ 165.480,77
6	131140,16	R\$ 0,53	R\$ 69.504,28	R\$ 425.773,56	-R\$ 95.976,49
7	130222,17	R\$ 0,53	R\$ 69.017,75	R\$ 494.791,31	-R\$ 26.958,74
8	129310,62	R\$ 0,53	R\$ 68.534,63	R\$ 563.325,94	R\$ 41.575,89
9	128405,44	R\$ 0,53	R\$ 68.054,89	R\$ 631.380,82	R\$ 109.630,77
10	127506,61	R\$ 0,53	R\$ 67.578,50	R\$ 698.959,33	R\$ 177.209,28
11	126614,06	R\$ 0,53	R\$ 67.105,45	R\$ 766.064,78	R\$ 244.314,73
12	125727,76	R\$ 0,53	R\$ 66.635,71	R\$ 832.700,49	R\$ 310.950,44
13	124847,67	R\$ 0,53	R\$ 66.169,26	R\$ 898.869,76	R\$ 377.119,71
14	123973,73	R\$ 0,53	R\$ 65.706,08	R\$ 964.575,83	R\$ 442.825,78
15	123105,92	R\$ 0,53	R\$ 65.246,14	R\$ 1.029.821,97	R\$ 508.071,92
16	122244,18	R\$ 0,53	R\$ 64.789,41	R\$ 1.094.611,38	R\$ 572.861,33
17	121388,47	R\$ 0,53	R\$ 64.335,89	R\$ 1.158.947,27	R\$ 637.197,22
18	120538,75	R\$ 0,53	R\$ 63.885,54	R\$ 1.222.832,81	R\$ 701.082,76
19	119694,98	R\$ 0,53	R\$ 63.438,34	R\$ 1.286.271,15	R\$ 764.521,10
20	118857,11	R\$ 0,53	R\$ 62.994,27	R\$ 1.349.265,41	R\$ 827.515,36
21	118025,11	R\$ 0,53	R\$ 62.553,31	R\$ 1.411.818,72	R\$ 890.068,67
22	117198,94	R\$ 0,53	R\$ 62.115,44	R\$ 1.473.934,16	R\$ 952.184,11
23	116378,54	R\$ 0,53	R\$ 61.680,63	R\$ 1.535.614,79	R\$ 1.013.864,74
24	115563,89	R\$ 0,53	R\$ 61.248,86	R\$ 1.596.863,65	R\$ 1.075.113,60
25	114754,95	R\$ 0,53	R\$ 60.820,12	R\$ 1.657.683,77	R\$ 1.135.933,72

Fonte: Próprio Autor

## 7 CONCLUSÃO

O uso do sistema fotovoltaico On-Grid é uma ótima alternativa de geração de energia sustentável.

A implantação do sistema estudado tem vantagens e desvantagens financeiras. A economia gerada na conta de luz é representativa, e como o governo está incentivando a instalação de energia fotovoltaica a mesma se torna ainda mais atrativa. Além da vantagem financeira proporcionada pela instalação do sistema, aumentar a matriz energética sustentável do país diminuirá os impactos ambientais decorrentes de outras formas de geração e unido ao conforto térmico gerado pela cobertura no estacionamento é um bom investimento. A maior desvantagem da

instalação do sistema fotovoltaico é o investimento inicial, mas que considerando os índices utilizados nesse estudo, para a Universidade, o tempo de retorno do investimento é rápido, quando comparado com seu ciclo de vida.

Com este estudo de implantação do Sistema Fotovoltaico na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, foi possível dimensionar o valor investido, e o tempo de retorno do investimento inicial que foi de 7 anos e 2 meses, considerando que o sistema necessita de poucos reparos e tem um tempo de vida útil de 25 anos, podendo chegar há 40 anos, é uma alternativa que viável de benfeitoria para a universidade.

Para trabalhos futuros, pode-se sugerir um estudo para autossuficiência energética do campus, e analisar a viabilidade de um sistema off-grid de geração.

## REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução nº 687**, de 24 de novembro de 2015 Brasília, 2015

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Tarifas residências. 2022. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZDFmMzIzM2QtM2EyNi00YjkyLWIxNDMtYTU4NTI0NWlyNTI5IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 28 abr. 2022

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, ago. 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. 3. ed. Rio de Janeiro, mar. 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 6023**: informação e documentação: referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação. Rio de Janeiro, maio 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 6027**: informação e documentação: sumário: apresentação. Rio de Janeiro, maio 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 6028**: informação e documentação: resumo: apresentação. Rio de Janeiro, nov. 2003.

BASHIR, R. *et al.* Comparative study of the photovoltaic behavior of ruthenium and the other organic and inorganic Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC). **Optik**, v. 157, p. 11-15, 2018

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Tributos cobrados na conta de energia**. 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/mme/pt-br/canais\\_atendimento/ouvidoria/perguntas-frequentes/tributos-cobrados-na-conta-de-energia](https://www.gov.br/mme/pt-br/canais_atendimento/ouvidoria/perguntas-frequentes/tributos-cobrados-na-conta-de-energia). Acesso em: 28 abr. 2022

BRASIL. **Lei nº 14300**, 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS)

HARRIS, J. Can China's Green Socialism transform global capitalism? **Civitas - Revista de Ciências Sociais**, v. 19, n. 2, p. 354-373, 9 ago. 2019. Disponível em: <https://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/civitas/article/view/31972> Acesso em: 27 abr. 2022.

HOLDERMANN, C.; KISSEL, J.; BEIGEL, J. (2014) Distributed Photovoltaic Generation in Brazil: An Economic Viability Analysis of Small-Scale Photovoltaic

Systems in the Residential and Commercial Sectors. **Energy Policy**, 67, 612-617. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.064>. Acesso em: 24 abr. 2022.

MAGNOLI, D.; SCALZARETTO, R. **Geografia, espaço, cultura e cidadania**. São Paulo: Moderna, 1998. v. 1. (Adaptado).

NICOLA, V.A. *et al.* Estudo e implementação de um estacionamento solar fotovoltaico conectado à rede elétrica. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar**, VII., 2018, Gramado, p. 1-7.

PEREIRA, E.B. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089> 80p.: il. (E-BOOK). Acesso em: 24 abr. 2022.

PONTO SOLAR. Energia solar passa a ter isenção no estado do Paraná. 2018. Disponível em: <https://pontosolar.com.br/blog/energia-solar-passa-a-ter-isencao-de-icms-no-parana>. Acesso em: 27 abr. 2022.

PORTAL SOLAR. **Energia solar on grid ou off grid? Qual devo escolher**. 2017. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-on-grid-ou-off-grid-qual-devo-escolher>. Acesso em: 12 maio 2022.

PORTAL SOLAR. **TOP 7 Países que mais usam energia solar**. 2017. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/top-7-paises-que-mais-usam-energia-solar.html>. Acesso em: maio 2021

TIEPOLO, G. M. *et al.* **Atlas de energia solar do estado do Paraná**. Curitiba: UTFPR, 2017. Disponível em: <https://www.atlassolarparana.com/charts>. Acesso em: 23 maio 2022.

LABENS, Laboratório de Energia Solar. Disponível em: <https://labens.ct.utfpr.edu.br/>. Acesso em: 23 maio 2022