



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA  
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**



**JOÃO PAULO ESTÊVÃO MORAIS**

**ANÁLISE DA INSERÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO  
CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E  
AUTOMAÇÃO**

**OURO PRETO – MINAS GERAIS  
2023**

**JOÃO PAULO ESTÊVÃO MORAIS**

**ANÁLISE DA INSERÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO CAMPUS  
MORRO DO CRUZEIRO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Máximo Eleotério Martins,  
PhD.

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Adrielle de Carvalho  
Santana, PhD.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E  
AUTOMACAO



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**João Paulo Estêvão Morais**

**Análise da Inserção de um Sistema Fotovoltaico no Campus Morro do Cruzeiro**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Aprovada em 22 de março de 2023

**Membros da banca**

Prof. Dr. Máximo Eleotério Martins - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Prof. Dra. Adrielle de Carvalho Santana - Coorientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Prof. Dr. Fidellis Bitencourt Gonzaga Louzada e Estanislau - Convidado (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Prof. Dr. Claver Antônio Fontes Vilela - Convidado (Universidade Federal de Ouro Preto)

Máximo Eleotério Martins, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 30/03/2023



Documento assinado eletronicamente por **Maximo Eleoterio Martins, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/03/2023, às 22:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0495768** e o código CRC **BCB1CD16**.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, por me permitir chegar até este momento com saúde, paz e harmonia e também por todos os momentos vivenciados durante a graduação.

Agradeço aos meus pais, Bernadete e Rogério, por serem meus pilares e, com carinho, amor, atenção, apoio emocional e amizade, me tornarem mais forte e corajoso para enfrentar os desafios e batalhas da vida.

Agradeço as minhas avós, Agostinha e Minas, todos os meus tios e tias das famílias Estêvão e Morais, Maria Passos Messias, Rosânea, Nair (in memoriam) e a todos os meus professores e mestres até o momento, por serem responsáveis pela formação do meu caráter e por contribuírem de alguma forma ao longo do percurso, durante diferentes fases da minha vida.

Agradeço aos meus orientadores, Máximo Eleotério e Adrielle Santana, por aceitarem me orientar nesta defesa de monografia e me auxiliarem no caminho para que o trabalho pudesse correr da melhor maneira possível.

Agradeço também aos professores Antônio Santos Sánchez e Claver Antônio Fontes Vilela e ao Engenheiro Eletricista Paulo Viana pelo apoio e compartilhamento de ideias e dados para que a pesquisa ficasse mais completa e resultasse em uma conclusão sólida e satisfatória.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Engenharia de Controle e Automação da UFOP (Decat) e a todos os servidores com quem pude compartilhar momentos e conversas durante essa jornada na graduação, em especial Paulo Monteiro, Bruno Randazzo e Adriana Rodrigues.

Além disso, agradeço também a todos os meus amigos, sejam da vida ou que conheci e cultivei na UFOP: Renato, João Victor, Guilherme, Vítor Paiva, Lucas Cotta, Diego, Leonardo, Giovanna, Luís Eduardo, Vitória, Bárbara, Maria Eduarda, Laura, Carol, Isabela, Gabriel, Bruno, Henrique, Pâmela, Joyce, Gabriela e Victor.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto por possibilitar ensino público de qualidade, corpo docente competente e ambiente agradável de estudos. Sou grato, principalmente, pela oportunidade de formar em uma instituição pública de qualidade e desenvolver o gosto pela pesquisa. Além disso, ressalto a contribuição dessa gloriosa instituição para a formação dos aspectos pessoais que serão de extrema relevância para o meu futuro profissional.

*“Ambientalizar o acessível... Acessibilizar o ambiental... Exercícios necessários para construir pontes para um futuro que não seja mais do mesmo.”*

*(Jorge Amaro)*

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso apresentou como tema a análise da inserção de um sistema fotovoltaico no Campus Morro do Cruzeiro, da Universidade Federal de Ouro Preto, e teve como objetivo geral realizar a análise dos resultados relativos à produção e economia de energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos no Campus e, como objetivos específicos, visou calcular a energia economizada por ano em kWh, o valor em reais correspondente à essa economia e analisar se o projeto foi vantajoso. A metodologia da monografia deu-se por meio de cálculos do *payback* (prazo de retorno do investimento), valor presente líquido, taxa interna de retorno, índice de lucratividade e relação custo-benefício por meio de planilha automatizada no *software* Excel, considerando taxa mínima de atratividade e taxa de desconto adotada pela Empresa de Pesquisa Energética para que os resultados da análise pudessem ser os mais concretos possíveis e, aliado a isso, utilizou-se de leituras de contratos da UFOP correspondentes à instalação das usinas solares fotovoltaicas e dos componentes utilizados no sistema. Os resultados obtidos no presente trabalho indicaram que o projeto adotado pela Universidade foi muito assertivo e vantajoso para a mesma, visto que os parâmetros encontrados para o investimento superaram as expectativas e indicaram que a Instituição se beneficiará cada vez mais com os mesmos com o passar dos anos. Concluiu-se que o investimento foi viável e, tendo em vista uma possível ampliação da capacidade de potência instalada das Usinas, acrescido ao fato de que a iluminação externa será substituída por lâmpadas que consomem menos energia, observou-se e comprovou-se um olhar mais cuidadoso da Universidade Federal de Ouro Preto para com as questões que dizem respeito à sustentabilidade e ao avanço tecnológico que podem contribuir cada vez mais com pesquisas acerca das fontes renováveis, principalmente a de energia solar.

**Palavras-chave:** Sistema fotovoltaico; Economia de energia elétrica; Energia solar; Investimento; *Payback*.

## ABSTRACT

This course conclusion work presented as its theme the analysis of the insertion of a photovoltaic system in the Campus Morro do Cruzeiro, of the Federal University of Ouro Preto, and had as general objective to analyze the results related to the production and economy of electric energy generated by the photovoltaic panels on the Campus and, as specific objectives, aimed to calculate the energy saved per year in kWh, the value in reais corresponding to this savings and analyze whether the project was advantageous. The methodology of the monograph was based on calculations of the *payback* (term of return on the investment), net present value, internal rate of return, profitability index and cost-benefit ratio through an automated spreadsheet in Excel software, considering a minimum rate of attractiveness and discount rate adopted by the Energy Research Company so that the results of the analysis could be as concrete as possible and, in addition to this, readings of UFOP contracts corresponding to the installation of photovoltaic solar plants and the components used were used in the system. The results obtained in the present work indicated that the project adopted by the University was very assertive and advantageous for it, since the parameters found for the investment exceeded expectations and indicated that the Institution will increasingly benefit from them with the passing of the years. It was concluded that the investment was viable and, in view of a possible expansion of the installed power capacity of the Plants, added to the fact that the external lighting will be replaced by lamps that consume less energy, a look was observed and proved. more careful at the Federal University of Ouro Preto towards issues related to sustainability and technological advancement that can increasingly contribute to research on renewable sources, especially solar energy.

**Keywords:** Photovoltaic system; Economy of electric energy; Solar energy; Investment; *Payback*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura de uma célula fotovoltaica .....	33
Figura 2 - Placa de silício policristalino .....	34
Figura 3 - Fazenda Solar.....	36
Figura 4 - Sistema de bombeamento solar.....	37
Figura 5 - Usina de geração fotovoltaica.....	38
Figura 6 - Inversores solares.....	39
Figura 7- Tarifação feed in .....	40
Figura 8 - Barco MS Turanor PlanetSolar movido a Energia Solar .....	41
Figura 9 - Representação de sistema off grid .....	42
Figura 10 - Placas fotovoltaicas nos laboratórios da Escola de Minas.....	45
Figura 11- Módulos fotovoltaicos no CEAD .....	46
Figura 12 - Sistema de monitoramento das usinas solares fotovoltaicas da UFOP .....	51
Figura 13 - Latitude e Longitude da cidade de Ouro Preto - Minas Gerais .....	52
Figura 14 - Painéis fotovoltaicos instalados sobre os laboratórios da Escola de Minas .	54
Figura 15- Diferentes angulações de módulos fotovoltaicos.....	54
Figura 16 - Estação meteorológica do Campus Morro do Cruzeiro .....	56
Figura 17 - Módulo Fotovoltaico RSM 156-6-445M.....	57
Figura 18 - Inversor de Corrente GW50KLV-MT .....	58
Figura 19 - Gráfico energia consumida (2022) X Energia Gerada (2023) .....	61
Figura 20 - Histórico de Consumo do Campus Morro do Cruzeiro - 2022.....	63
Figura 21 - Fluxo de Caixa Sistema Fotovoltaico UFOP .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais descobertas da antiguidade.....	21
Tabela 2 - Dados das principais fontes de energia do Mundo.....	22
Tabela 3 - Itens da licitação, quantitativos e valores.....	50
Tabela 4- Irradiância solar diária média em Ouro Preto .....	53
Tabela 5- Ângulos para a instalação de painéis.....	55
Tabela 6 - Histórico de consumo de energia elétrica da UFOP em 2022.....	59
Tabela 7- Energia gerada pelas usinas fotovoltaicas em 2023 .....	60
Tabela 8 - Parâmetros de entrada da planilha de viabilidade econômica.....	62
Tabela 9- Economia da UFOP (reais) = consumo mensal X R\$ 0,451 .....	64
Tabela 10- Fluxo de caixa do sistema fotovoltaico .....	65
Tabela 11- VPL e VPL Acumulado do Projeto.....	67
Tabela 12- Resultados encontrados após realizada a análise econômica do sistema .....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEAD	Centro de Educação Aberta e a Distância
CEI	Comissão Eletrotécnica Internacional
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CdTe	Telureto de Cádmio
CF	Constituição Federal
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CIS	Seleneto de Cobri Índio
CIGS	Cobre-Índio-Gálio-Selênio
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica de Salvo Brito
DECAT	Departamento de Engenharia de Controle e Automação
DECIV	Departamento de Engenharia Civil
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ICEA	Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
ICSA	Instituto de Ciências Sociais Aplicadas
IEE	Instituição dos Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IL	Índice de Lucratividade
MEC	Ministério da Educação
NR	Norma Regulamentadora
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
NUGEO	Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

SICAF	Sistema de Cadastramento Unificado de Fornecedores
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
UNIGE	Universidade de Genebra
VPL	Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

°	Graus
C	Velocidade da luz elevada ao quadrado
E	Energia
GWH	Gigawatts-hora
HFP	Horário fora de ponta
HP	Horário de ponta
KG	Quilo
KV	Quilovolt
KW	Quilowatt
Kwh	Quilowatt-hora
M	Massa
MW	Megawatts
W	Watt
WP	Watt-pico

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 Contextualização e Justificativa</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>19</b>
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>19</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3 Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>19</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 A produção de energia ao longo da História: dos primórdios da civilização humana à necessidade de uma política energética sustentável no mundo e no Brasil</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2 A Eletrobras como instrumento de estatização da energia no Brasil</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3 Principais desafios da produção energética no Brasil</b> .....	<b>27</b>
<b>2.4 A importância das fontes renováveis: perspectivas e conceituações</b> .....	<b>28</b>
<b>2.5 A Energia Solar como forma de produção de energia limpa: uma visão de futuro no contexto institucional</b> .....	<b>32</b>
<b>2.6 Sistema ligado à rede e sistema isolado</b> .....	<b>36</b>
<b>2.7 Sistemas Conectado à Rede Elétrica (<i>on-grid</i>)</b> .....	<b>37</b>
<b>2.8 Tarifação de sistemas conectados à rede</b> .....	<b>40</b>
<b>2.9 Sistemas <i>Off-Grid</i></b> .....	<b>41</b>
<b>2.10 Sobre a Universidade Federal de Ouro Preto</b> .....	<b>43</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>44</b>
<b>3.1 Materiais e Métodos</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1.1 Payback</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1.2 Valor Presente Líquido (VPL)</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1.4 Demais variáveis e dados quantitativos do projeto do Campus Morro do Cruzeiro</b> .....	<b>49</b>
<b>3.1.5 Coordenadas a respeito da Cidade de Ouro Preto e Dados de Irradiação Solar</b> .....	<b>52</b>
<b>3.1.6 Informações Contratuais e Instalações no Campus Morro do Cruzeiro</b> .....	<b>53</b>
<b>3.1.7 Informações a respeito da orientação dos módulos solares e de seus ângulos</b> .....	<b>54</b>
<b>3.1.8 Descrição dos itens da licitação e valor global do investimento</b> .....	<b>56</b>
<b>3.1.9 Dados do Inversor</b> .....	<b>57</b>
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>59</b>
<b>4.1 Dados e Valores Obtidos – Campus Morro do Cruzeiro</b> .....	<b>59</b>

<b>4.2 Planilha Automatizada de Viabilidade Econômica .....</b>	<b>62</b>
<b>4.3 Dados de Conta de Luz da UFOP .....</b>	<b>63</b>
<b>4.4 Cálculo da tarifa para definir o quanto é economizado por mês e ano .....</b>	<b>63</b>
<b>4.5 Fluxo de Caixa .....</b>	<b>65</b>
<b>4.6 VPL e VPL Acumulado .....</b>	<b>66</b>
<b>4.7 Definição do <i>Payback</i> descontado do Sistema Fotovoltaico do Campus Morro do Cruzeiro .....</b>	<b>68</b>
<b>4.8 VPL do Projeto .....</b>	<b>68</b>
<b>4.9 Taxa Interna de Retorno (TIR).....</b>	<b>68</b>
<b>4.10 Índice de Lucratividade do Projeto (ILP) .....</b>	<b>68</b>
<b>4.11 Relação Custo-Benefício (RCB) .....</b>	<b>68</b>
<b>4.12 Resumo das informações obtidas pela análise econômica .....</b>	<b>69</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>70</b>
5.1 Sugestões para trabalhos futuros .....	72
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização e Justificativa

Há uma compreensão de que sem a utilização consciente e a preservação dos recursos naturais disponíveis no Brasil, a esfera econômica e inúmeras outras atividades que ditam o ritmo da sociedade não seriam possíveis de serem realizadas. Por essa razão, é de fundamental importância salientar o papel do uso das energias renováveis para o fortalecimento da indústria nacional e da modernização das relações de produção, a partir da pauta da sustentabilidade ambiental, tema tão debatido nos mais diversos espaços de decisão política.

As discussões em torno da matriz energética brasileira atual se tornam necessárias a fim de que essas fontes sejam cada vez mais descabornizadas, portanto, menos agressivas ao meio ambiente, contribuindo, também, para sua reprodução, elevando o potencial de produção de energia do Brasil em termos de expansão territorial. Nesse sentido, são exemplos de energias renováveis: a eólica, que faz uso da força dos ventos para girar pás e, com a velocidade do giro, produzem energia; a oceânica, resultante de movimentações de massas de água que, por meio da força de seu deslocamento, produzem energia; a de biocombustíveis, que ocorre pelo aproveitamento da biomassa, podendo ser gerada pela produção direta, combustão, fermentação e gaseificação; a geotérmica, proveniente do calor do interior da Terra e gerada em áreas com atividade vulcânica; a hidrelétrica que utiliza o movimento dos rios, constrói represas para que, com a velocidade atingida pelas massas de água, a energia seja produzida pelas usinas; e, a energia solar referente ao aproveitamento da radiação solar que incide sobre a Terra. Esta última merece destaque por se tratar de uma fonte de energia com um enorme potencial devido à exposição do planeta Terra todos os dias ao Sol.

A energia solar possui duas formas de captação. A primeira é a fotovoltaica, que será aprofundada nesta monografia, e a térmica, que aquece a água e o restante do ambiente, é bastante utilizada em termelétricas em que o vapor produzido através de turbinas, rotacionando e acionando geradores de energia.

O Sol é a principal estrela do Sistema Solar e surgiu há 4,6 bilhões de anos. Ele é composto por 74% de hidrogênio e 24% de hélio, os outros 2% restantes são compostos de oxigênio, carbono e ferro. Desde os primórdios da existência da Terra, o Sol é responsável pelo aquecimento do planeta, mudanças climáticas, realização da fotossíntese para manutenção da vida dos seres terrestres, especialmente a flora e fauna, e possibilita a vida dos seres humanos já que é nossa fonte primária de energia.

A viabilidade do Sol enquanto fonte energética se deu com a pesquisa desenvolvida pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, estudante da Universidade de Paris, que descobriu o efeito fotovoltaico que é a exposição de um módulo fotovoltaico ao Sol e possibilita a formação de uma corrente elétrica (QUANTUM ENGENHARIA, 2020)

Em 1883, o norte-americano Charles Fritts desenvolveu a primeira célula fotovoltaica cujo funcionamento se dá a partir da absorção dos fótons que liberam elétrons, fluindo através das células e, a partir disso, gerando energia.

O marco para criação de energia solar fotovoltaica por meio de placas se deu em 1954, durante a National Academy of Sciences, quando o engenheiro Russell Shoemaker Ohl apresentou o modelo mais próximo do que hoje é conhecido. Seu trabalho só foi possível graças aos esforços de pesquisadores como Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin, cientistas do laboratório Bell Labs. Nesse período, houve uma primeira experiência de uso das placas solares como baterias instaladas na rede de telefonia remota na Georgia, Estados Unidos.

Na década de 1970, ocorreu uma frente fria que se destacou pelas temperaturas severamente baixas e afetou, principalmente, os países localizados na região do Atlântico Norte. Houve a interrupção de distribuição de gás natural e gasolina, utilizados para aquecimento de casas. Nessa mesma época, algumas placas de energia fotovoltaicas foram instaladas nas casas daqueles lugares e, a partir disso, surgiram perspectivas em torno da consciência ambiental, acarretando impulsionamento de preocupação sobre novas fontes de energias limpas e renováveis.

A energia solar se caracteriza como um elemento de fundamental importância no contexto social, econômico e tecnológico da sociedade atual enquanto fonte renovável de energia. A demanda por consumo de energia no Brasil vem crescendo de forma exponencial nos últimos anos. Segundo o site Valor Econômico (2022), no mês de abril de 2022, o consumo de energia elétrica no país foi de 43.123 gigawatts-hora (GWh), o maior volume registrado desde o ano de 2004. Logo, há uma necessidade crescente de que os meios de geração de energia elétrica sejam eficientes e tenham o menor impacto ambiental possível num contexto em que, a cada dia, deve-se ter um olhar mais atento para o futuro e para a boa utilização das energias renováveis.

A energia solar fotovoltaica é uma fonte extremamente sustentável e inesgotável. Essa tecnologia é obtida através da conversão direta da luz em energia por meio do efeito fotovoltaico. Ele apresenta uma parte de captação de energia e outra de condução da energia solar, como se fossem filamentos presentes nos painéis solares que permitissem

a chegada e a geração da energia.

Os painéis solares do telhado captam a luz proveniente do Sol, transformando-a em energia elétrica. Essa energia passa por um inversor que a prepara para o consumo nos locais onde os painéis são instalados e é distribuída por meio do quadro de força para as subdivisões dos prédios e das residências onde o sistema atua. Da mesma forma, o gerador da instalação continuará a produzir energia em toda e qualquer condição climática durante todo o dia. Assim, os prédios irão consumir energia da rede pública local. Entende-se como objetivo do sistema produzir um equilíbrio entre aquilo que foi gerado de energia por ele e a quantidade consumida.

A característica continental do Brasil e a sua localização geográfica são pontos de apoio importantes para o aproveitamento das fontes eólica e solar. No primeiro caso, ela tem permitido a implantação de parques eólicos localizados em diferentes regiões, com diferentes regimes de ventos e, além disso, os fatores de capacidade dos parques eólicos vencedores dos leilões de energia têm sido mais altos do que os valores médios globais. No caso da solar, favorecem elevados índices de irradiação em quase todo o território nacional pelo fato de o Brasil estar situado numa região com incidência mais vertical dos raios solares.

Ainda, a proximidade à linha do equador faz com que haja pouca variação na incidência solar ao longo do ano, de modo que, mesmo no inverno, pode haver bons níveis de irradiação (TOLMASQUIM, 2016, p. 10).

Com relação aos benefícios gerados pela inserção de painéis, frisa-se a vantagem de produzir sua própria energia e a do cliente não ficar mais propenso às mudanças das tarifas estabelecidas pela empresa distribuidora de energia do Estado. Além disso, outro ponto a ser destacado refere-se à alta eficiência, que varia de 15% a 20% e diminui com o passar do tempo, e vida útil dos painéis que se mantêm cumprindo o propósito de maneira satisfatória por aproximadamente 25 anos. Além disso, existe também uma facilidade de manutenção dos painéis, pois dificilmente ocorrem problemas e a durabilidade, até que ocorra uma falha, geralmente dá-se entre 15 e 25 anos. Logo, é um sistema de fácil instalação e com um custo não tão baixo mas razoável quando se pensa em correções a eventuais problemas.

Atualmente, em se tratando de universidades, já é notória a busca por instalação de sistemas fotovoltaicos em suas dependências devido às amplas vantagens que eles oferecem. Aliado a isso, o Governo Federal lançou em 2020 o programa “Pró-Sol” (BRASIL, 2020) que visa reduzir a emissão de carbono na atmosfera e otimizar a matriz energética nacional de maneira que as metas propostas pelo país, em acordos

internacionais, sejam atingidas. Ademais, o Ministério da Educação (MEC) liberou R\$125 milhões para fomentar a adoção de energia solar em 63 Universidades Federais do Brasil, visando gerar uma economia de energia de aproximadamente R\$25,5 milhões de reais para as universidades que receberem o investimento (PORTAL, 2022).

No caso mais específico da Universidade Federal de Ouro Preto, no ano de 2021 foi realizada a instalação de painéis fotovoltaicos nos Campus de Ouro Preto, Mariana e João Monlevade, objetivando adequar-se à realidade cada vez mais sustentável do mundo atual, economizar gastos com manutenção, conta de luz e otimizar sua própria produção de energia e distribuí-la aos prédios dos locais. Conforme Rüther (2004), os painéis fotovoltaicos são projetados para serem empregados em ambientes externos, sob ação dos agentes climáticos, como chuva e vento. Assim, eles foram instalados em boa parte dos laboratórios e prédios em que se tem maior demanda de energia, como restaurantes e setores administrativos.

Partindo desse pressuposto, o presente projeto de monografia visa analisar os efeitos da inserção dos painéis fotovoltaicos no Campus Morro do Cruzeiro da UFOP de modo a mensurar, em termos quantitativos e qualitativos, quais as vantagens observadas e se são significativas a ponto de valer o investimento feito pela instituição na instalação do sistema.

O objeto de estudo escolhido para a produção desta monografia é relevante para a comunidade universitária da UFOP, campus Ouro Preto – docentes, discentes e servidores –, pois possibilita a divulgação dos dados, bem como a promoção das vantagens obtidas pela instituição após a instalação de painéis de energia fotovoltaica num ambiente com alta demanda de energia e gastos consideráveis devido ao contingente de pessoas frequentando as dependências do local.

Deve-se considerar, para a produção deste projeto de monografia, a análise referente ao *payback*, ou seja, ao tempo em que o dinheiro investido na instalação do sistema será ‘recuperado’ de maneira integral pela universidade e a conclusão da viabilidade dele de acordo com esse tempo e o percentual de economia gerada em kWh.

Assim, esta pesquisa visa sanar a dúvida e definir se economicamente foi viável para a Universidade Federal de Ouro Preto a adoção do sistema de placas solares, tendo em vista a redução observada no consumo de energia e também a legislação nacional vigente no que tange às instalações de painéis fotovoltaicos em instituições públicas de ensino.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Analisar os resultados relativos à produção e economia de energia gerada pelos painéis fotovoltaicos na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Campus Morro do Cruzeiro.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Calcular a quantidade de energia economizada por ano, em termos de kWh, e o *payback*, isto é, em quantos anos a UFOP irá recuperar o investimento feito, em reais, por meio das economias geradas na conta de luz da instituição.
- Analisar se o projeto de implementação de energia solar fotovoltaica no Campus Morro do Cruzeiro foi vantajoso, tendo em vista índice de lucratividade, relação de custo-benefício do mesmo e atentando-se a critérios adotados e estudados em outros trabalhos e artigos publicados.

## **1.3 Estrutura do Trabalho**

No primeiro capítulo da introdução, apresentou-se uma breve contextualização e a justificativa da proposta de investigação, em seguida, delineou-se os objetivos: geral e específicos. Posteriormente, no segundo capítulo, desenvolveu-se o referencial teórico que apresentou a realidade da utilização das fontes renováveis no Brasil e no Mundo, discorreu sobre a importância das mesmas para o atual panorama mundial e descreveu, em detalhes, o sistema solar fotovoltaico, seus tipos e componentes empregados em cada um deles. Já no terceiro capítulo, que trata sobre a metodologia, foram apresentadas as fórmulas para que se pudesse ter uma análise de viabilidade econômica do projeto de maneira concisa, os dados contratuais entre a UFOP e a empresa contratada para a execução do serviço de instalação das usinas solares fotovoltaicas no Campus Morro do Cruzeiro, além de apresentar as particularidades do sistema instalado no local. No capítulo 4, que tratou dos resultados, foram descobertos os valores correspondentes ao *payback*, valor presente líquido, taxa interna de retorno, relação custo-benefício, índice de lucratividade do projeto e alguns gráficos comparativos entre o consumo e a geração de energia da UFOP foram traçados. No capítulo 6 concluiu-se que o projeto foi viável e no capítulo 7 foram apresentadas as referências consultadas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A produção de energia ao longo da História: dos primórdios da civilização humana à necessidade de uma política energética sustentável no mundo e no Brasil

Albert Einstein, um dos maiores cientistas em toda a história humana, criou a Teoria do Princípio da Relatividade. Através do estudo, ele defendeu que é possível transformar a massa de um objeto em energia e vice-versa partindo do pressuposto físico do conceito de Energia que é a capacidade que um corpo, uma substância ou um sistema físico têm para realizar um trabalho. Por meio de uma equação matemática, o cientista comprovou a equivalência quantitativa na relação entre Energia e Massa. (EINSTEIN, 1915)

$$E = m \times c^2$$

*Em que:*

*E = Energia*

*m = Massa*

*c = Velocidade da Luz*

Tal teoria corrobora com a evolução da produção energética pelo homem já que, mesmo nos primórdios da civilização humana, a energia produzida se dava pelas necessidades imediatas daquelas sociedades como, por exemplo, caçar para alimentação e aquecer-se do frio. Para tanto, no período Paleolítico, o *Homo Erectus* desenvolveu o fogo, resultante de um processo químico de transformação que desprende luz e calor devido à combustão de diversos materiais, e a criação de ferramentas de pedras lascadas utilizadas a partir da energia dispensada pelo corpo humano.

A partir do período Neolítico, o homem passou a se utilizar da produção de energia excedente armazenada pelas atividades de agricultura e pecuária. A mudança de comportamento de nômade para sedentário, fixando-se em determinado lugar, colocou a humanidade num novo patamar de produção energética. Assim, o *Homo Sapiens* não dedicou mais tanta energia endossomática na alimentação, possibilitando o envolvimento em outras atividades como olaria, artesanato e cerâmica (FARIAS; SELLITO, 2011).

Na Antiguidade, especialmente entre gregos e romanos, a principal fonte de energia para o desenvolvimento das sociedades era o próprio homem. Tessmer (2002) afirma que, na Grécia Antiga, cerca de 80% da mão de obra utilizada era escravizada, ou

seja, a estrutura social dependia diretamente da energia humana para se desenvolver.

Nesse mesmo contexto, a busca pelo domínio de outros territórios através de uma política expansionista, trouxe o avanço do uso do vento, uma forma indireta de energia solar, como fonte energética, visto que as embarcações eram constituídas de velas. A principal obra literária produzida na época, Odisseia, do escritor Homero, traz a seguinte citação: “Vento acalmado ao sétimo, embarcamos, e ereto o mastro, as velas desferimos” (HOMERO, LIVRO XII, CANTO 295). Pode-se concluir que havia uma cultura ligada ao uso de embarcações à vela como meio de produção de energia utilizada para fins de vencer guerras e conflitos, transportar alimentos e pessoas de um local para outro e para a proteção de territórios.

Ainda na Antiguidade, outros avanços importantes contribuíram para a evolução da humanidade quanto à produção de energia. Na Grécia, a produção de conhecimento está ligada à matemática, física, química e astronomia cujas descobertas ainda hoje estão presentes no nosso cotidiano, conforme apresenta a tabela 1 a seguir:

Tabela 1- Principais descobertas da antiguidade

PENSADOR	PERÍODO DA DESCOBERTA	OBJETO DESCOBERTO
Tales de Mileto	VI a. C.	Geometria
Pitágoras	III a. C.	Teorema de Pitágoras
Demócrito	V a. C.	Composição da matéria - uma formulação basilar sobre o conceito de átomo
Anaximandro	IX a. C.	Cartografia
Ctesebius	II a. C.	Alarme - hoje utilizado no relógio
Vitruvius	XXVII a. C.	Odômetro

Fonte: Produzida pelo autor, 2023.

Na Idade Média, a partir do século XII, muitos cientistas contribuíram para a criação da primeira máquina a vapor. Num contexto em que a exploração de carvão e ferro era uma realidade, havia muitos alagamentos nas minas e o sistema utilizado era muito precário. Tratavam-se de rodas que içavam baldes de água, utilizando energia

proveniente da força animal, mas o custo subia consideravelmente. Naquele contexto, Denis Papin buscou resolver o problema com o uso de bombas a vapor.

Em 1698, Thomas Newcomen soluciona o problema dos alagamentos, propondo um modelo que separava o cilindro da caldeira. Porém, o equipamento precisou ser substituído com o passar do tempo, em detrimento da profundidade das minas, fato que onerava os custos de produção.

Para dar conta de garantir maior produtividade nas minas de carvão, o modelo de Newcomen foi substituído pela invenção de James Watt que propôs uma máquina a vapor “com um alto aprimoramento mecânico no forjamento de cilindros retilíneos” (FARIAS; SELLITO, 2011, p. 9) cuja produção de energia se dá pela “transformação do movimento alternado e linear do êmbolo da máquina em movimento giratório [que] permitiu a criação de uma fonte universal de energia” (FARIAS; SELLITO, 2011, p. 9

A partir da era da industrialização, a descoberta de combustíveis fósseis possibilitou que duas formas de produção de energia se mantivessem no topo. Farias e Sellito (2011) destacam que até 1961, o *ranking* da produção de energia colocava o carvão mineral em primeiro e o petróleo em segundo. Dados de 2022 da Agência Internacional de Energia – IEA são representados na tabela 2:

**Tabela 2 - Dados das principais fontes de energia do Mundo**

FONTE DE ENERGIA	PERCENTUAL
Petróleo e Derivados	29,5%
Carvão Mineral	26,8%
Gás Natural	23,7%
Biomassa	9,8%
Nuclear	5,0%
Hidráulica	2,7%
Outras	2,5%

Fonte: [Adaptado] Agência Internacional de Energia, 2022

No Brasil, essa realidade é diferente já que a abundância de água proporciona que usinas hidrelétricas liderem a produção de energia. Contudo, a construção de hidrelétricas afetam de maneira considerável o ecossistema já que depende do alagamento de grandes áreas para armazenamento de água. Os efeitos dessas barragens recaem sobre a flora e a fauna, as comunidades tradicionais, especialmente, ribeirinhos e indígenas, além de

acabar com cidades inteiras, impactando na construção da identidade de um povo e do pertencimento ao lugar.

Historicamente, a formação do Brasil tem como princípio duas palavras essenciais: energia e economia. Diferentemente da Espanha, Portugal ficou incumbido de ocupar o território que viria a se chamar Brasil no intuito de explorar atividade econômica que não fosse a já usual prática de extração de materiais preciosos como se deu em outras colônias das Américas.

No que diz respeito à energia, seria no setor de bens de produção que os suprimentos locais encontrariam mais espaço para sua expansão contando com lenha e animais de tiro como principais fontes e também com o material, de longe, mais utilizado para fornecer energia: a madeira.

Em relação à luz, os indígenas utilizavam suas fogueiras (luz do fogo) para iluminação dos ambientes. Nos anos 1500, os portugueses trouxeram consigo elementos já usados na cultura européia como as lamparinas a base de óleo vegetal ou animal, por exemplo. Ademais, como o óleo de oliva era muito caro e acessível apenas a uma pequena elite européia, no Brasil ele prontamente passou a ser substituído pelo óleo de mamona ou até mesmo o óleo de coco por serem opções mais econômicas.

Segundo José Goldemberg (1998), a energia é um ingrediente fundamental para o desenvolvimento. É ela quem fundamenta todo o ciclo de atividades exercidas pelos seres humanos e de desenvolvimento econômico. Em sentido literal pode-se afirmar que a energia move e transforma o mundo.

Tratando-se da evolução da energia elétrica no Brasil, primeiro deve-se voltar a época da República Velha, que teve seu início em 1880 e ocorreram os primórdios do uso da energia elétrica no Brasil, onde foram implantados os primeiros empreendimentos nacionais e estrangeiros (monopólio privado) e onde existiu o incentivo majoritário de capital estrangeiro. Em 1889 a primeira hidrelétrica do país foi instalada na cidade de Juiz de Fora, em Minas Gerais.

Em 1908, a região Sudeste passou a ser atendida em sua maioria por geração hidrelétrica. Por outro lado, a base térmica era bastante observada nos Estados das Regiões Nordeste, Norte, Centro-Oeste e no Estados do Rio Grande do Sul e Paraná (Cabral et al., 1988, p.33).

No contexto da Primeira Grande Guerra (1914), boa parte do capital estrangeiro que era investido no Brasil era destinado a melhora dos serviços de eletricidade e ao ramo da geração e distribuição de energia elétrica, que se dava por meio de empresas de grande porte geridas por grupos de empresários do Canadá e dos Estados Unidos (Szmrecsányi,

1986, p.19 ).

Com a quebra da Bolsa de Valores de Nova York, em 1929, o Brasil foi duramente afetado. Em 1930 Vargas assume o poder e em 1937 institui o regime autoritário chamado de Estado Novo no País que alimenta e expande o mercado interno criando o Conselho Nacional de Energia Elétrica (CNAEE) e, em 1945 a primeira empresa estatal federal de energia elétrica – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - (CHESF) para socorrer uma região crítica em termos de oferta de energia: o Nordeste.

A partir da década de 1930, os investimentos externos ficam praticamente estagnados, afetando o comportamento das empresas estrangeiras estabelecidas no Brasil, conforme lembra José Luiz Lima “e isso fica muito nítido na própria política de expansão da Light, e mais ainda no caso da Amforp. A partir de 1930 observa-se um desinteresse permanente e persistente, em relação a aplicações, inversões no setor de energia elétrica no Brasil” (Cmeb, 1995)

Na década de 40, no Brasil, era predominante utilizada a geração termelétrica – que visava diversificar a tecnologia e o emprego da geração de energia na época – e a utilização de algumas hidroelétricas no Estado de Minas Gerais.

No período da “Era Vargas” (1930 a 1945), o setor de energia elétrica brasileiro foi regulamentado e apresentou aspectos de evolução institucional consideráveis. Isso porque, foi formado o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), em 1939, que seria um órgão da Presidência durante a ocupação de Getúlio Vargas como chefe do poder executivo do país.

Segundo Corrêa (2005), CNAEE foi o primeiro órgão a regulamentar e normatizar o setor de energia do Brasil. O objetivo da criação do Conselho passava diretamente por cumprir e agir de acordo com o Código de Águas de 1934 e, nesse mesmo ano, deu-se a regulamentação da indústria hidrelétrica.

Com a saída de Getúlio Vargas do poder, em 1945, os investimentos públicos no setor elétrico passaram a ocorrer de forma mais contundente, principalmente quando tratava-se de concessionárias de energia estaduais. Nesse contexto e impulsionada pelos investimentos, criou-se a Eletrobras no ano de 1962. Ao longo dos anos, a mesma consolidou-se como a grande responsável por estabilizar o setor elétrico com grandes investimentos e atingiu seu ápice em 1979.

Após 1945 e da Companhia Hidro-Elétrica do São Francisco, empresa estatal, ser criada e com a participação direta do Governo Federal no parque gerador, o instituto jurídico da concessão assumiria amplo sentido, articulando os conflitos setoriais no meio e superando a delegação das funções (Lima, 1984, p.24).

A partir dos anos 80 ocorreram eventos significativos na formação do setor elétrico brasileiro. O Governo Federal criou em 1985 o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) – visando reduzir desperdícios e custos mas não foi tão eficaz quanto o que era esperado de tal investimento. Sendo assim, no final da década de 80 o Governo observou nas privatizações um horizonte para resolução dos problemas encontrados. Outrossim, em 1992, passados alguns anos de crise econômica e desestabilização do setor elétrico, os níveis de inadimplência foram extremamente altos e o modelo Estatal para a produção de energia foi duramente criticado.

Entre a década de 90 e o inícios dos anos 2000 o Governo foi transitando de Estado executor para fiscalizador do setor de energia. Foram criados órgãos como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por exemplo, e a Eletróbras já não possui a mesma autonomia de antes. Em 2001 existiram novas crises de racionamento e em 2004, em virtude das crises, criou-se a Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico. Ainda assim, hoje existem problemas de energia elétrica no País que precisam ser tratados e sanados com planejamento para evitar problemas futuros a fim de otimizar e garantir a distribuição para toda a população com eficiência.

A produção de energia também foi tema de debate quanto aos seus efeitos sobre a vida na Terra. No início da década de 1990, constatou-se que a camada de ozônio, responsável por absorver os raios ultravioletas vindos do Sol, estava em processo de diminuição em detrimento do envio de gases de efeito estufa no ar. Observou-se a existência de, pelo menos, dois lugares em que havia afinamento desse escudo do planeta cuja consequência se deu pelas alterações climáticas provenientes da ação dos seres humanos sobre o meio ambiente. Tratava-se, portanto, de ações antrópicas como o crescimento da densidade demográfica, a industrialização e o aumento do consumo de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural para fins de produção energética (FREITAS; FREDO, 2005).

## **2.2 A Eletrobras como instrumento de estatização da energia no Brasil**

A partir de sua criação, a Eletrobras configurou-se como um marco para o futuro do País. A CHESF foi a subsidiária da Eletrobras que alimentou a energia do Nordeste. Além desse contributo, ainda foram construídas e ampliadas dezenas de usinas hidrelétricas para aumentar a produção de energia do país.

Chegando ao século XXI, a Eletrobras tem agora como uma de suas missões

fomentar o uso e participar com mais efetividade nas ações renováveis utilizando mais energias limpas fazendo uso de fontes com baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) que, em 2018, representavam aproximadamente 92,5% do total das fontes, fazendo com que a matriz energética brasileira fosse considerada uma das fontes mais limpas do Mundo (ELETROBRAS, 2018).

Desde a privatização da empresa, ocorrida no ano de 2022, o foco concentra-se no investimento em energias renováveis, principalmente solar e eólica, na modernização das linhas de transmissão e na fomentação cada vez maior de projetos que visem melhorar a utilização e distribuição de energia no Brasil

Por exemplo, a empresa assinou um contrato com a Shell para investir no desenvolvimento de projetos de energia eólica offshore, no Brasil. As duas, em parceria, procurarão áreas possíveis para formalizar e executar seus projetos (CNN Brasil, 2022). Dessa forma, fica cada vez mais evidente o “movimento” da empresa em consolidar-se cada vez mais no ramo das energias renováveis e de contar com apoio de políticas energéticas devido às graves preocupações ambientais que só crescem ao longo dos últimos anos no Brasil e no Mundo.

A respeito do trabalho sobre a energia solar, a Eletrobras também é peça chave quando pensa-se na sua maior adoção e no desenvolvimento no Brasil. Isso porque, com a industrialização crescendo exacerbadamente e a ascensão de empresas especialistas no setor, vários órgãos (entre eles a própria Eletrobras) criaram em 1997 o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e a mesma também passou a conceder, nos anos 2000, o selo Procel de economia e energia para as empresas que possuíam as placas de acordo com o que ditava as normas pré-estabelecidas pelas entidades (Sales, 2017).

Com o crescimento e avanço da utilização da energia solar e a facilidade em obtê-la em um país como o Brasil fizeram com que a Eletrobras, juntamente com seus parceiros, passasse a pensar em projetos mais ambiciosos e que pudessem favorecer ainda mais o povo brasileiro. Dessa maneira, passaram a ser pensados projetos de cunho sustentável que pudessem atender habitações de interesse social, descentralizar recursos, financiar linhas e também se adequar às demandas específicas de cada região do país. Inicialmente, observaram-se mais ações nesse sentido nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

No ano de 2007 a Eletrobras apresentou, por meio de um relatório que avaliava a matriz energética brasileira, dados relevantes para a implantação de futuros projetos: em 80,9% dos domicílios no Brasil a água era aquecida para banho e 73,5% faziam uso de energia elétrica, 5,9% utilizavam gás e apenas 0,9% tinham o aquecimento solar (PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2007).

Sendo assim, pensando principalmente em chuveiro elétrico das residências, a energia solar poderia ser uma forte aliada na busca pela economia de energia e na mudança de panorama do país em termos de fontes renováveis.

Como uma novidade no Mundo, a Eletrobras trouxe ao Brasil um projeto extremamente inovador: na usina hidrelétrica de Balbina, no Amazonas. Trata-se como trabalho pioneiro no mundo de exploração de energia solar nos lagos das hidrelétricas com flutuadores. Esse projeto vislumbra utilizar e dar destino a subestações e linhas de transmissão de energia que antes vinham sendo subutilizadas. O potencial de geração no começo do projeto era de 50 Megawatts (MW) (ELETROBRAS, 2016).

### **2.3 Principais desafios da produção energética no Brasil**

Atualmente, não só no Brasil como também em todo o Mundo, fazer a transição entre o que se via antes com um cenário contendo uma enorme quantidade de fontes energéticas poluentes para uma sociedade com energia sustentável vem sendo um desafio árduo. Isso porque, além da falta de investimentos, ainda existe a questão das consequências das inúmeras mudanças climáticas que ocorreram ao longo dos séculos passados. Outrossim, ainda existem regiões em que o serviço de energia não está disponível como em inúmeras áreas rurais e desertos, por exemplo.

Sobre o Brasil, faz-se necessário ressaltar os empecilhos existentes no país no que diz respeito ao aumento de produção da geração de energia renovável. Em contrapartida ao fato de ser uma forma limpa, o País acaba não investindo devido às altas taxas para que a implementação, de fato, possa vir a ocorrer em todo o território nacional. Hoje, as contas de energia estão ainda mais caras e isso também contribui para que os responsáveis por executarem os projetos não vislumbrem algo grandioso no país (IPEA, 2015).

Em segundo lugar, a falta de conhecimento de boa parte da população sobre o uso de energias renováveis no Brasil configura-se como um obstáculo para que ocorra um avanço visível e ideal no contexto de transição para um futuro mais sustentável. Muitas vezes falta uma praticidade e clareza ao passar informações para comunidades no interior, visto que, para que possam pensar a longo prazo, faz-se necessário que sejam entendidos os benefícios futuros que irão ocorrer ao optar-se pela instalação de placas solares fotovoltaicas, por exemplo. Sendo assim, é importante que as autoridades competentes passem as informações de maneira mais clara para a população, visando conscientizar o desenvolvimento de uma mentalidade social e sustentável de uma parcela cada vez maior de brasileiros, pensando não apenas no aspecto financeiro mas no quão importante pode

ser benéfica esta mudança para o meio ambiente.

O Brasil não acompanhou o resto do Mundo em relação ao avanço na matriz energética. Para isso, seria imprescindível realizar um planejamento a longo prazo bem estruturado. Isso se deve ao fato de que, as políticas até então criadas, podem ser caracterizadas apenas como reativas, visto que surgiram em resposta à crise energética na época e não evoluíram. Efetivamente, nunca existiu uma política que incentivasse a contínua e necessária adesão a fontes energéticas favoráveis ao meio ambiente. É importante que as políticas ambientais sejam mais efetivas, tenham mais metas, governança, participação das instituições envolvidas e que os programas sejam capazes de transformar a realidade energética atual (VILLALVA, 2022).

É preciso uma maior sinergia entre as instituições e iniciativas mais abrangentes de modo a simplificar a coordenação das ações. Ademais, o setor industrial também possui excelente potencial para investir em projeto de energias renováveis por ser um dos maiores consumidores no Brasil. Logo, cabe o incentivo à exploração do potencial das indústrias visando a disseminação cada vez maior de planos inovadores para modernizar e reformular o cenário negativo que pode ser observado atualmente.

Somado a isso, é importante fazer com que as políticas industriais e energéticas estejam alinhadas. Isso é, a indústria pode ter uma redução de custo, aumentar sua competitividade e promover uma eficiência energética maior em seu ambiente interno e, feito isso, poder compartilhar e incentivar a cultura prática dentro de suas próprias dependências para as regiões adjacentes. É importante que as diferentes políticas não andem em direções opostas e promovam uma mudança considerável e o avanço na eficiência energética no Brasil.

#### **2.4 A importância das fontes renováveis: perspectivas e conceituações**

O meio ambiente é aquele que envolve todas as coisas vivas e não vivas do planeta Terra compondo todo o ecossistema terrestre que ajuda os seres a viver em mares, árvores, areia, flores, rios. Esse conjunto de coisas e seres formam o ambiente natural. As casas e edificações formam o ambiente construído.

A preservação ambiental, ou seja, os cuidados que devem ser necessários e esperados da sociedade como um todo, é de extrema importância. Isso porque ela trata do conjunto de práticas que visam proteger a natureza de ações que provocam danos ao meio ambiente, como a poluição, a degradação de florestas, a extinção de animais e o aquecimento global que estão cada vez mais em evidência devido à falta de zelo e a

ausência de condutas corretas para com o planeta de modo geral.

Nessa ótica, deve-se adentrar ao conceito de sustentabilidade que está ligado à busca de ações que visam o equilíbrio entre a disponibilidade dos recursos naturais e a exploração deles por parte da sociedade - seres humanos - que vivem no meio. Logo, deve-se preservar o meio ambiente e utilizar de seus recursos racionalmente, de modo que exista uma participação ativa da população no que tange ao desenvolvimento sustentável, para que se possa consumir apenas o necessário à subsistência. Também é imperativo refletir sobre o viés econômico, buscando dar fim à pobreza em suas formas e lugares, alcançar a segurança alimentar para todos e melhoria da nutrição. Além disso, deve-se promover a agricultura saudável a fim de que seja assegurado o bem-estar para todas as pessoas das mais variadas faixas etárias.

As fontes de energia renovável são aquelas que não poluem ou que, em certos casos, possuem potencial de poluição muito baixo. Devido a isso, elas liberam menos gases que causam o efeito estufa. No entanto, vale ressaltar que podem gerar resíduos e até mesmo transformarem áreas antes habitadas por populações ribeirinhas em inabitáveis.

Energia renovável é uma expressão usada para descrever uma ampla gama de fontes de energia que são disponibilizadas na natureza de forma cíclica. As fontes renováveis podem ser utilizadas para gerar eletricidade, calor ou produzir combustíveis líquidos para o setor de transportes. Atualmente, é imprescindível que elas estejam inseridas nas políticas energéticas dos países, já que exercem um papel importante para a sustentabilidade do sistema energético (COSTA; PRATES, 2005).

Inúmeras são as razões para o fomento às fontes renováveis alternativas. Atualmente, os recursos naturais e renováveis tem sido o foco de inúmeras pesquisas, impulsionadas pelo aumento da preocupação com o meio ambiente, devido aos problemas ecológicos e do aquecimento global, gerados pela utilização de combustíveis fósseis. O aproveitamento correto das fontes renováveis é um excelente modo de substituir as “ energias sujas “ e evitar danos ao planeta (AZEVEDO, 2013).

Entende-se como finitos os recursos naturais e, mediante o crescimento regional cada vez mais acelerado no Brasil e no Mundo, o consumo deve aumentar ainda mais. Tendo isso em vista, a busca por novas fontes de energias renováveis justifica o investimento nessa área. Em 2020, constatou-se que as regiões Sul e Sudeste são as que mais demandam energia no Brasil. As regiões Norte e Nordeste, inicialmente,

desenvolveram-se de forma isolada devido aos grandes investimentos realizados nas hidrelétricas do Sul e Suldeste nas décadas de 70 e 80. Norte e Nordeste foram contemplados a partir dos anos 90 com a maior ascensão das energias solar e eólica no Brasil (PARIZOTTO, 2022).

Partindo-se do ponto de vista de Parizotto (2022), o presente trabalho objetiva-se em estudar as vantagens de energia solar quando instaladas em um Campus de Universidade Federal em vários prédios. Isso porque, atualmente vê-se uma tendência e oportunidade para que sejam usados sistemas fotovoltaicos das mais diversas maneiras em todo o território nacional (*on grid*, *off grid* e híbrido). Ademais, faz-se cada vez mais necessário que a matriz energética brasileira possa ser mais diversificada e não fique majoritariamente dependente das hidrelétricas que tanto destroem o ambiente para serem instaladas ou até mesmo são responsáveis pela retirada de comunidades ribeirinhas de seus locais de origem. Logo, é importante que existam políticas públicas eficazes, incentivo aos consumidores para aderirem a sistemas solares que agridam menos ao meio ambiente e até para evolução econômica de um dos países que mais tem potencial para produção da energia proveniente do Sol.

Cada vez mais é importante que empresas de quaisquer ramo de atuação adotem fontes de energia renováveis e possam manter o lucro sem agredir a natureza de forma ainda mais agressiva. Outro ponto importante a ser ressaltado diz respeito à possibilidade de cada vez mais se fazer pesquisas e projetos científicos inovadores nas Universidades do Brasil a respeito do potencial de geração das energias renováveis e propor ainda mais otimizações nos sistemas já vigentes em muitas instituições do País.

No caso brasileiro, há muito são conhecidas as amplas disponibilidades de fontes primárias para a conversão em energia elétrica, com destaque para as renováveis. Os esforços recentes para desenvolver empreendimentos que as aproveitem, sinalizam para uma matriz energética diversificada que almeja, com isso, avançar na resiliência quanto à garantia da oferta, bem como na busca pela redução dos custos da energia (CUNHA;TELLES, 2020).

Na sociedade moderna, além de apenas utilizar-se de uma fonte de energia renovável, busca-se aplicar e fazer projetos cada vez mais eficazes e duradouros combinando-as. Esse é o caso do que chama-se de sistema híbrido e geração combinada de energia.

Os sistemas híbridos de energia são aqueles que combinam mais de uma fonte

de energia para produzir eletricidade e possibilitam a combinação de geração de duas fontes de energia, caso exista complementaridade energética numa mesma localidade entre duas ou mais dessas fontes (BARBOSA *et al*, 2016).

Normalmente, os sistemas híbridos são utilizados para a geração de energia distribuída. Outrossim, eles passaram, nos últimos tempos, a serem utilizados na geração centralizada via usinas de grande porte, denominadas de “usinas híbridas”. No Brasil as usinas de geração distribuída vão até 5MW e as de geração centralizada ultrapassam esse valor. (SANTOS, TORRES, 2021). Desse modo, a hibridização das usinas existentes são oportunidades para otimizar a produção de eletricidade através da redução periódica dos impactos das energias renováveis.

Existem muitos sistemas híbridos de geração de energia difundidos no Mundo. Dentre eles, pode-se citar: eólico-diesel, fotovoltaico-diesel, fotovoltaico-eólico-diesel, fotovoltaico-rede básica, fotovoltaico-biomassa, fotovoltaico-célula combustível.

A junção da tecnologia renovável e a expansão dos sistemas com tecnologia solar e eólica favorece a diminuição dos preços dos componentes e novos controles poderão permitir a eliminação ou redução do tamanho do banco de baterias (BHATTI, 1997).

O sistema híbrido precisa ser dimensionado de maneira adequada, visto que, cálculos precisam ser feitos para que os custos não sejam demasiadamente onerosos (superdimensionamento) ou até mesmo pouco confiável (subdimensionamento). Logo, com a configuração correta, obtém-se um sistema capaz de gerar a maior quantidade de energia e ter menos custos adicionais.

Atualmente, muitas ações contrárias à preservação do meio ambiente vêm acontecendo. Pode-se citar, como exemplo, o desmatamento exacerbado, a contaminação das águas dos rios e dos oceanos, os entulhos jogados em rodovias, etc. Sendo assim, deve-se pensar formas de preservar e, até mesmo, de reutilizar recursos de maneira consciente e inteligente, e isso passa pela educação ambiental dos futuros adultos do Brasil e do Mundo, para que a realidade próxima seja diferente e com maior senso de cuidado e de preservação possíveis.

Conforme o art. 225 do texto da Constituição Federal de 1988, “todos têm direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

Tendo em vista o Artigo 225 da Constituição Federal de 1988, salienta-se o dever

da sociedade como um todo e, também, do Governo Federal, em promover e contribuir para que tenhamos uma realidade cada vez mais sustentável, direcionando o respeito cabido para que a vida se dê em harmonia com a natureza, de modo que os recursos naturais possam estar disponíveis para as gerações futuras, tornando possível, cada vez mais, o desenvolvimento inteligente do manejo e reuso daquilo que ela nos fornece.

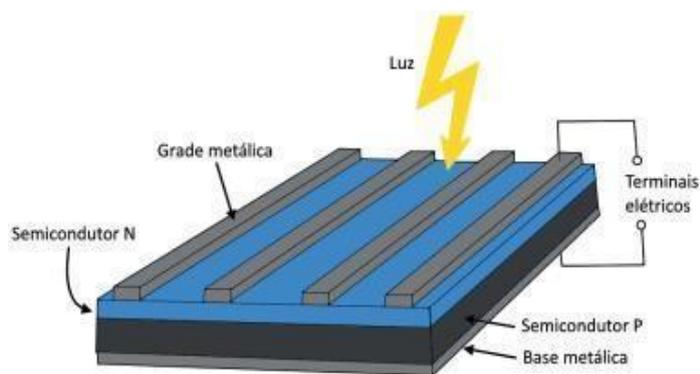
## **2.5 A Energia Solar como forma de produção de energia limpa: uma visão de futuro no contexto institucional**

As células fotovoltaicas, em sua grande maioria, são feitas do silício, que é um material semicondutor muito abundante no planeta e barato para a produção das placas fotovoltaicas. Esse material faz com que a célula, com um conjunto de propriedades específicas, possa fazer a conversão da luz em eletricidade. As células são compostas por duas camadas de semicondutores: P e N, uma grade de coletores metálicos localizada na parte superior e outra na parte inferior. As partes superior e inferior possuem terminais elétricos moldados na forma de uma fina camada metálica na própria célula.

O material N é aquele que possui uma quantidade superior de elétrons (negativo) e o P é o que observa a falta dos mesmos (positivo). Tendo em vista essa diferenciação, os elétrons da camada mais abastada (N) migram para a camada mais desprovida (P) e criam um campo elétrico para que seja possível converter a luz solar em energia elétrica, cumprindo com o objetivo primordial das células fotovoltaicas. Sendo assim, forma-se a chamada junção semicondutora em que os elétrons da camada N preenchem as lacunas da camada P, visando produzir corrente elétrica. Essa corrente elétrica produzida pode ser utilizada para diversos fins, tais como: alimentação de aparelhos elétricos nos prédios residenciais e comerciais, carregar baterias ou fornecer eletricidade para ruas, bairros e cidades inteiras (VILLALVA, 2022).

A figura 1, a seguir, apresenta a estrutura de uma célula fotovoltaica e demonstra a ideia do processo de conversão da luz solar em energia elétrica

Figura 1- Estrutura de uma célula fotovoltaica



Fonte: Villalva, 2022, p. 63.

As células sozinhas não produzem uma quantidade de energia considerada grande. Entretanto, quando unidas, em conjunto, capacitam-se a produzir energia elétrica mais elevada e também com tensão. Além disso, as células são produzidas, em sua maioria, por três tipos de silícios: monocristalino, policristalino ou filme fino.

O primeiro deles produz um lingote monocristalino de estrutura única e possui aspecto brilhante e uniforme. Dele, são produzidas as chamadas bolachas do silício puro (zir wafers) que ainda não possuem as propriedades das células fotovoltaicas. Os mesmos são submetidos a uma série de processos químicos para que sejam formadas as camadas N e P que são a base do funcionamento das células. Após isso, a célula recebe o restante dos seus componentes para que esteja pronta para ser comercializada: grade metálica, camada de material anti-reflexo que receberá a luz. O aspecto final da placa caracteriza-se como azul escuro ou preto. Ademais, são as mais produzidas e apresentam maior eficiência (15% a 18%). O ponto negativo fica por conta do custo mais oneroso de produção pelo fato de serem mais rígidas.

As placas de silício policristalino, mostradas na figura 2 são mais baratas devido ao custo de fabricação. O lingote, nesse caso, apresenta certa rugosidade, pois trata-se de um conglomerado de cristais com dimensões e propriedades diferentes. Assim como o anterior, este também produz os wafers que depois se transformarão nas células fotovoltaicas. A aparência das células é mais heterogênea e na cor predominantemente azul. Além disso, possuem eficiência variando de 13% a 15% , o que é compensado tendo em vista que o custo é inferior quando comparado à Monocristalina. Tanto essa quanto a primeira são montadas em módulos com a finalidade de adquirir maior resistência mecânica.

Figura 2 - Placa de silício policristalino



Fonte: Academia do Sol, 2021.

Por fim, os filmes finos constituem uma tecnologia mais moderna e, diferentemente das anteriores, possuem um processo de fabricação que se dá por meio de deposição de finas camadas de alguns materiais (silício e outros mais) para que possa contar com uma base rígida ou até mesmo flexível. Desse modo, por meio de vaporização ou de outros métodos, é possível agrupar pequenas quantidades da matéria-prima requerida, evitando o seu desperdício para a produção dos wafers. Isso porque quanto menor o desperdício nessa etapa, menor o custo da tecnologia. Além destas vantagens, um fator que contribui para a redução do custo, é que a fabricação é menos complexa, em analogia com as já citadas, e os processos de automação são facilitados, o que leva à ampla possibilidade da produção em larga escala. A desvantagem fica relacionada à menor eficiência que o material oferece, sendo mais viável utilizá-las se forem para pequenas radiações e em uma área maior para produzir energia a menor preço de custo.

A utilização de fotocélulas teve papel decisivo para os programas espaciais. Com este impulso, houve um avanço significativo na tecnologia fotovoltaica, de modo que se aprimorou o processo de fabricação, melhorando a eficiência das células e seu peso. Com a crise mundial de energia de 1973/74, a preocupação em estudar novas formas de produção de energia fez com que a utilização de células fotovoltaicas não se restringisse somente para programas espaciais, mas que fosse intensamente estudado e utilizado no meio terrestre para suprir o fornecimento de energia (GUIMARÃES, 2016, p. 36).

Dentro dos filmes finos, ainda pode-se citar 4 classes: silício amorfo, microcristalino, células híbridas e CdTe e CIGS. A primeira delas foi a mais antiga desenvolvida e é considerada bem inferior em relação à eficiência e demora para que o

sistema possa estabilizar. A segunda apresenta-se como uma alternativa promissora para o futuro, pois podem ser fabricadas tanto em alta quanto em baixa temperatura e possuem processos de deposição similares ao silício amorfo, mas agora com maior progressão de automatização da produção e vantagens. A terceira é a junção de uma célula de filme fino como uma de silício sem impurezas (intrínseca) e produz maior energia em elevadas temperaturas, consumindo pouca energia e matéria-prima em sua fabricação, sendo assim, a mais atraente dentre as já mencionadas. A última tecnologia é a mais eficiente dentro da família dos filmes finos, porém não são produzidas em larga escala por possuírem material tóxico (Cd) e raro (Te), não encontrados com facilidade. Outra desvantagem diz respeito ao custo de se produzir placas com tais materiais e, comercialmente falando, não são vantajosas.

Em resumo, quando comparadas todas as tecnologias e materiais empregados existentes para produzir e formar as células e painéis fotovoltaicos, temos as seguintes conclusões: o silício monocristalino ainda é muito atrativo quando comparado aos demais, porque apresenta eficiência da célula em laboratório, comercial e dos módulos maiores em relação a todos os outros. No entanto, algumas opções que possuem preços mais competitivos podem vir a vigorar, em um futuro próximo, no mercado nacional e, principalmente, internacional em que é notório o maior investimento em energia solar fotovoltaica, a exemplo do Silício Policristalino e do Cristalino de filme fino.

Dentro das de filme fino (tecnologia mais atual), a Célula Solar Híbrida apresenta ótima eficiência, seguida pelas tecnologias de seleneto de cobre índio (CIS) e telureto de cádmio. Logo, para que se possa formar os painéis fotovoltaicos tem-se uma infinidade de boas possibilidades e é necessário que a residência, empresa e/ou instituição possam escolher, de acordo com a demanda e necessidade presentes, de modo a ter um melhor custo-benefício. Desse modo, são necessárias minuciosas análises e criteriosos estudos acerca das condições atuais dos prédios, ruas, bairros e empresas para que a escolha da tecnologia possa ser a mais assertiva possível e a tecnologia possa desempenhar papel ativo na geração de eletricidade no estabelecimento que investiu nos painéis fotovoltaicos.

A figura 3 apresenta uma fazenda que utiliza de módulos fotovoltaicos monocristalinos para produzir energia solar.

Figura 3 - Fazenda Solar



Fonte: Portal Solar, 2022.

## 2.6 Sistema ligado à rede e sistema isolado

Existem três tipos de sistemas fotovoltaicos: os autônomos (*off grid*), os conectados à rede (*on grid*) e o híbridos (mistura características dos dois anteriores). Os dois possuem vantagens e desvantagens quando comparados um ao outro. O primeiro pode ser utilizado em localidades mais distantes, como em áreas rurais ou em ilhas, independente da rede de distribuição de energia. Além disso, não gera tarifa e possui sistema de armazenagem de energia. O segundo, por sua vez, dispensa uso das baterias e dos controladores de carga. Ademais, a energia gerada a mais pode vir a resultar em créditos e podem ser utilizados em outras unidades consumidoras de energia do mesmo cliente ou prédio, sendo considerado mais eficiente em relação ao primeiro.

Com relação às desvantagens do sistema *off grid*, existem no sistema a bateria e o controlador de carga, que possuem um custo mais elevado do que o conectado à rede e menos eficiente. Em detrimento do autônomo, o sistema *on grid*, como desvantagens, apresenta o fato de, necessariamente, estar conectado à rede de eletricidade, não possuir sistema de armazenamento de energia e poder ocorrer o caso de pagar conta de luz, quando a demanda for maior do que a energia gerada e em condição de não haver créditos disponíveis.

Os sistemas autônomos também podem ser aplicados na iluminação pública, na sinalização de estradas, na alimentação dos sistemas de telecomunicações e no carregamento das baterias de veículos elétricos. Além disso, também podem ser utilizados para fornecer eletricidade para veículos terrestres e náuticos, podendo utilizá-lo desde pequenos aparelhos eletrônicos portáteis até sistemas aeroespaciais (VILLALVA, 2022).

Algumas aplicações dos sistemas autônomos dispensam a utilização de baterias, utilizando-se diretamente da energia produzida pelo módulo fotovoltaico. Um exemplo é o caso dos sistemas de bombeamento de água que empregam motores de corrente contínua e podem conectar-se diretamente ao módulo. Nesse caso, toda energia elétrica é

diretamente fornecida à bomba e armazenada na forma de água, no reservatório localizado em nível superior. As vantagens compreendem baixo custo, aumento da confiabilidade do funcionamento e menor necessidade de manutenção devido à não utilização das baterias, conforme observado na figura abaixo:

Figura 4 - Sistema de bombeamento solar



Fonte: Ecosis, 2019.

O sistema apresentando na figura 4, pelas inúmeras vantagens já listadas, acaba sendo empregado em cenários dos mais diversos: agricultura, reservatórios e armazenamento, pecuária, residencial e comunidade, dessalinização e purificação. Além disso, as bombas solares do sistema podem ficar submersas (instaladas dentro da água), próximo à superfície da água e também existem os geradores para bombas de corrente alternada e também o motor de alimentação que será utilizado de acordo com a corrente empregada em cada uma das bombas.

## 2.7 Sistemas Conectado à Rede Elétrica (*on-grid*)

Em se tratando dos sistemas conectados à rede elétrica, eles são aplicados em locais já atendidos pela empresa responsável por ser a concessionária da região. O principal objetivo deles é o de transferir o consumo da rede pública para o consumo local ou, em certas ocasiões, gerar créditos para que os usuários possam ter economia em suas contas.

Os sistemas podem constituir-se de usinas de geração elétricas, geralmente instaladas em telhados, e podem ser classificados em três categorias, de acordo com suas dimensões:

- Microgeração: potência instalada até 100 kW;
- Minigeração: potência instalada entre 100 kW e 1 MW;

- Usinas de eletricidade: potência acima de 1 MW;

No dia 17 de abril de 2012, a ANEEL publicou a Resolução número 482 que tornou-se muito significativa, pois abria espaço para o livre acesso às redes públicas de distribuição aos microgeradores e minigeradores de eletricidade baseados em fontes renováveis. Além da energia fotovoltaica, pequenas hidrelétricas, fontes de energia eólica e de biomassa também foram contempladas na resolução (VILLALVA, 2015).

Para que as usinas de geração fotovoltaica, conforme apresenta a figura 5, possam ser produzidas, baseando-se no sistema *on grid*, faz-se imprescindível que os conjuntos de módulos fotovoltaicos sejam conectados a inversores centrais (esses que podem ter a potência variando entre 100 Kw até um valor superior a 1MW). Posto isso, os inversores conectam-se a cabines de transformação que serão responsáveis por fazer a elevação das tensões dos sistemas fotovoltaicos a níveis compatíveis com as linhas de transmissão do sistema elétrico. Com o avanço das usinas solares, as mesmas terão condições e poderão, no futuro, substituir outras baseadas em diferentes fontes de energia.

Figura 5 - Usina de geração fotovoltaica



Fonte: CNN Brasil, 2023.

Os sistemas de minigeração fotovoltaica são, em sua maioria, instalados para atender consumidores comerciais e industriais. Isso porque o sistema pode suprir parcial ou totalmente o que é consumido pelos prédios. Essa tendência está em crescimento pois muitas empresas buscam soluções ambientalmente corretas e isso acaba refletindo com a ética de seus clientes que prezam por escolherem estabelecimentos que tenham uma conduta preocupada com o meio ambiente.

Já os sistemas de microgeração possuem potência instalada de até 100kW e são utilizados em locais que consomem menos energia como telhados de shoppings, residências e algumas empresas menores, por exemplo. Essas instalações podem suprir toda ou quase totalmente a demanda consumida. A energia gerada pelos módulos é produzida especificamente no próprio local e, caso passe do limite, esse é exportado para

a concessionária de energia, o que acaba gerando créditos para os consumidores com essa exacerbação. São sistemas que são mais fáceis de instalar e utilizam menos componentes quando se comparados a outros. Os requisitos de proteção também são mais fáceis de serem absorvidos com a instalação de um conversor CC-CA. A disseminação desses sistemas em áreas vazias do país pode contribuir de forma efetiva para que a matriz energética tenha um viés cada vez mais sustentável e assim reduza também as emissões de carbono e outros prejuízos ocorridos devido aos combustíveis fósseis e outras fontes de energia que agredem o meio ambiente.

Os sistemas conectados a rede precisam de inversores para que a corrente contínua seja conectada à rede elétrica. Após passar pelo inversor, a energia que é gerada pelas placas solares (alternada) estará pronta para ser utilizada nas residências e estabelecimentos comerciais que fizerem uso do sistema *on grid*. Vale ressaltar que, o inversor, nesse tipo de instalação, fornece apenas corrente elétrica para a rede e não possui capacidade de fornecer tensão para os consumidores.

Em caso de falha no fornecimento da eletricidade por parte da concessionária de energia, o inversor deixa de atuar por dois motivos: o seu projeto não contemplava a possibilidade de desligamento da rede elétrica e também deve ser desligado para prezar pela segurança dos outros equipamentos que compõe os kits fotovoltaicos instalados e as pessoas que irão operar ou estar próximas do sistema para eventuais manutenções.

A figura 6, abaixo, apresenta alguns modelos de inversores solares para uso em sistemas fotovoltaicos.

Figura 6 - Inversores solares



Fonte: Canal Solar, 2022.

Para que o sistema possa entrar em funcionamento, faz-se necessário que ele esteja em conformidade com algumas normas e procedimentos estabelecidos no Brasil, fazendo referência à Instituição dos Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEE) e

Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC). São elas: IEEE 1547: padrão para a conexão de recursos distribuídos com a rede elétrica; IEEE 929-2000: prática recomendada para a conexão com a rede de sistemas fotovoltaico; IEC 61727: características de rede elétrica no ponto de conexão; IEC 62116: procedimento de teste de métodos de detecção de ilhamento para inversores fotovoltaicos conectados à rede elétrica; e VDE 0126-1-1: desconexão automática de geradores de rede elétrica pública de baixa tensão.

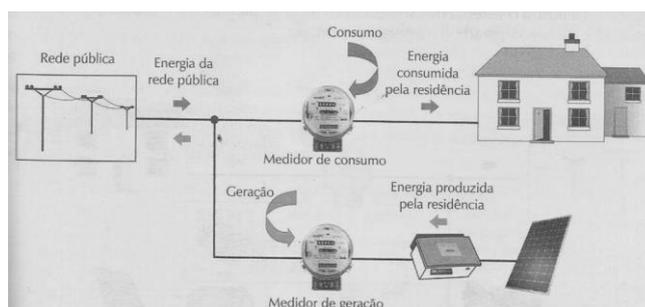
## 2.8 Tarifação de sistemas conectados à rede

No caso das tarifas, podem ocorrer três casos: O primeiro seria o da venda de energia no mercado livre, em que são aplicadas regras já testadas e firmadas em outras usinas como as hidrelétricas e as termelétricas. A conexão desses sistemas à rede é feita por inversores conectados a transformadores, chegando às linhas de transmissão de alta tensão para a posterior distribuição.

A tarifação *net metering* - medida da energia líquida - usa de um medidor eletrônico para ver o quanto é efetivamente produzido e exportar a quantidade para a rede elétrica. Por esse sistema de tarifação, ao fim do mês, o consumidor só paga a diferença entre o que consumiu e o que gerou. Sendo assim, créditos podem ser gerados e abatidos na conta de eletricidade. Ademais, no Brasil, o consumidor tem um prazo de 36 meses para utilizar os créditos gerados (ANEEL, 2022). Nos sistemas de micro e minigeração, a rede funciona como uma bateria que armazena a energia excedente e depois é recuperada pela mesma.

Já na tarifação *feed in* utilizam-se dois medidores e os consumidores recebem como prêmio a instalação de mais um sistema como forma de crédito, o que é vantajoso e rentável. Esse meio é utilizado por muitos países europeus e obrigatoriamente aumenta os créditos dos consumidores à medida que a energia é gerada por fontes alternativas renováveis e não só pelo sistema utilizado em si.

Figura 7- Tarifação *feed in*



Fonte: Villalva, 2022, p. 156

No sistema apresentado na figura 7, o consumidor é premiado com a instalação de um sistema de energia fotovoltaica em sua residência, recebendo um pagamento pela energia que o seu sistema fotovoltaico exporta para a rede elétrica. Os governos de alguns países vem fazendo esse incentivo para tornar mais barata a eletricidade paga pelo consumidor. Esse que recebe dinheiro pela eletricidade que ele próprio consome desde que seja advinda de uma fonte renovável (VILLALVA, 2022).

## 2.9 Sistemas *Off-Grid*

Esse sistema, também chamado de isolado, normalmente, atende locais onde não existe uma rede elétrica estabelecida. Alguns exemplos são: zonas rurais, praias, ilhas, campings ou qualquer outro local que não se tenha a rede. Outras aplicações podem ser observadas na iluminação pública de ruas e empresas, telecomunicações, veículos elétricos, aparelhos eletrônicos pequenos e aparelhos aeroespaciais. Normalmente, para que os ruídos diminuam, esses são adotados em detrimento de geradores movidos a diesel e outros mais. A figura 8 apresenta um sistema *off-grid* aplicado em um barco.

Figura 8 - Barco MS Turanor PlanetSolar movido a Energia Solar



Fonte: UNIGE, 2012.

Os sistemas *off-grid* não são conectados à rede elétrica da concessionária da energia e podem ser divididos em três tipos: O primeiro dá-se com armazenamento de energia, utilizando-se de baterias para armazenar a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos. Além dele, existe o sem armazenamento de energia em que a quantidade produzida de energia deve ser utilizada no momento que foi gerada e o híbrido que trabalha paralelamente com outros geradores de energia elétrica como, por exemplo, os a

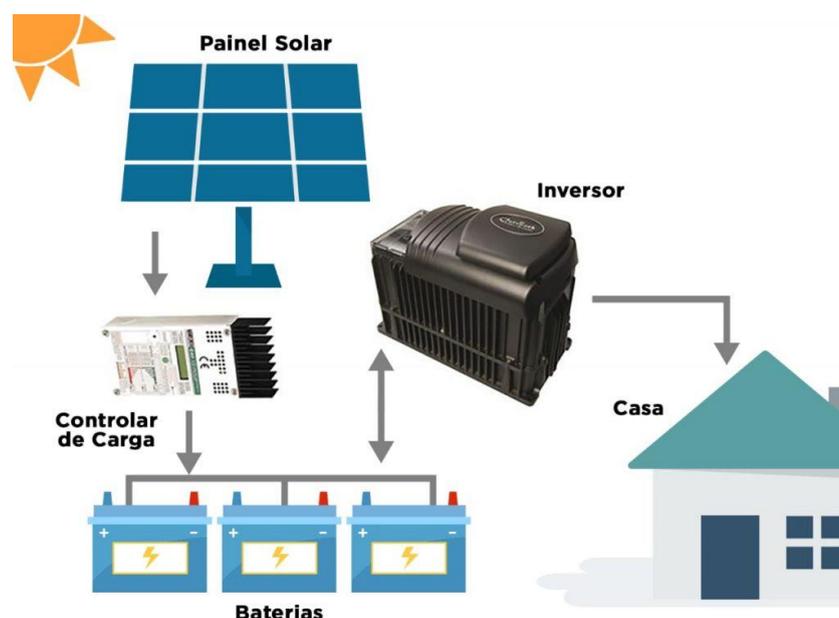
diesel ou até mesmo as turbinas elétricas.

Como diferencial, as baterias alimentam a casa sem dependência. No entanto, são menos utilizadas por serem mais caras e podem inviabilizar o projeto. Juntamente com o banco de baterias, atua um controlador de carga que energiza as mesmas especificamente para aplicações de energia fotovoltaica, prolongando sua vida útil e sendo um dispositivo de proteção contra excesso de descargas elétricas. O sistema ainda conta com um inversor que é o responsável por alimentar os equipamentos dentro das instalações em que as placas foram instalados. Porém, esses últimos são dispensáveis nos casos de aparelhos que utilizam tensão e corrente contínua

No sistema *off-grid*, o sistema que armazena energia atua em ciclos de carga e descarga, com intensidade e durações variáveis em função da intermitência da geração de energia e dos muitos tipos de consumo (COPETTI; MACAGNAN, 2007, p.3).

As baterias no sistema autônomo podem ser agrupadas em série ou em paralelo. A vantagem da primeira forma de agrupamento é a obtenção de tensões maiores e a segunda permite o maior acúmulo de energia ou até mesmo eleva o fornecimento de corrente elétrica preservando o mesmo valor de tensão. As baterias precisam possuir boa qualidade e garantir uma vida útil suficiente para que a quantidade de energia produzida promova a eficiência anual da mesma. Normalmente, utiliza-se mais as baterias de chumbo e de níquel. As primeiras podem ser seladas ou abertas e a segunda é mais cara, porém mais duráveis e normalmente são empregadas em sistemas onde existe dificuldade de manutenção e acesso (VILLALVA, 2015).

Figura 9 - Representação de sistema off grid



Fonte: Sharenergy, 2020.

Em suma, o sistema representado na figura 9, apesar de contar com vantagens como não ser mais dependente da rede de energia da concessionária que atende a região, possuir algumas isenções de taxas e ser indicado para locais remotos, faz-se necessário prévio estudo de viabilidade econômica objetivando-se realmente definir ou não a execução de um projeto com essas características visto que é mais oneroso que o conectado à rede e, em situações climáticas desfavoráveis, apresenta uma brusca queda de rendimento do sistema e na geração de energia elétrica.

## **2.10 Sobre a Universidade Federal de Ouro Preto**

A Universidade Federal de Ouro Preto é uma instituição pública, gratuita e que oferece ensino de qualidade. A UFOP oferta 47 cursos presenciais e 4 à distância, possui 12 (doze) unidades acadêmicas em 3 cidades: Ouro Preto, Mariana e João Monlevade, conta com mais de 100 laboratórios nas mais diversas áreas de conhecimento e também oferece dezenas de programas de pós-graduação (24 cursos de mestrado, 8 profissionais, 15 opções de doutorado e 10 especializações).

A UFOP foi criada no dia 21 de Agosto de 1969, quando ocorreu a junção das clássicas Escola de Farmácia e Escola de Minas. Sendo a primeira criada no ano 1839 e a segunda no ano de 1876 pelo cientista francês Henri Gorceix, sediada no Palácio dos Governadores e transferida para o Morro do Cruzeiro (Bairro Bauxita, Ouro Preto) em 1995.

Com o passar dos anos foram criados outros prédios como o da Escola de Nutrição, da Medicina, Direito e outros nas cidades de Mariana e João Monlevade. No total, a instituição possui mais de 11 mil alunos, cerca de 681 técnicos-administrativos e aproximadamente 900 professores - contabilizando os efetivos e substitutos.

Ademais, muitos alunos já formados na universidade contribuíram com projetos de engenharia para a instituição no sentido de promover a tecnologia e a adoção maior de energias renováveis nos campi da Universidade (UFOP, 2022).

### 3. METODOLOGIA

A proposta desta pesquisa possuiu abordagem quantitativa, pois pretendia compreender, a partir do cálculo de *payback*, dados indicadores de energia economizada após a instalação de painéis fotovoltaicos na Universidade Federal de Ouro Preto, no campus Morro do Cruzeiro. Tratou-se de uma pesquisa aplicada de objetivos explicativos.

Assim, o trabalho foi dividido em duas partes: a primeira referiu-se à pesquisa e leitura de contratos da empresa que realizou a instalação dos painéis fotovoltaicos e especificou seus componentes e placas. Além disso, foram definidos os componentes utilizados no sistema fotovoltaico instalado no Campus Morro do Cruzeiro – conectado à rede elétrica da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG (*on-grid*) – e apresentado com maior riqueza de detalhes os dados a respeito do consumo da instituição, potencial de energia gerado pelos módulos fotovoltaicos e dados pertinentes a respeito da cidade de Ouro Preto (local de instalação do projeto), incluindo eventuais gastos com manutenção e informações a respeito do contato entre a UFOP e a empresa contratada para a realização do serviço; e a segunda parte foi referente aos cálculos de *payback* visando realizar a análise final e conclusiva do quão eficaz e viável foi a presença das placas fotovoltaicas, nos moldes que foram firmados em contrato, entre a Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP e a empresa MTEC Energia Eireli.

Para a análise financeira e viabilidade do projeto, utilizou-se uma planilha automatizada no *software* Excel, da Microsoft, que realizou cálculos que indicaram o valor presente líquido (VPL), o *payback*, a taxa interna de retorno (TIR), a relação custo-benefício e o índice de lucratividade considerando a taxa mínima de atratividade (TMA) e o valor percentual anual de aumento da tarifa de energia elétrica no Brasil.

Para a análise de viabilidade econômica, foi utilizado o tempo de vida útil do projeto como sendo 25 anos (informação que consta no manual do fabricante dos módulos fotovoltaicos do projeto) e, tendo em vista informações coletadas com o engenheiro Paulo Viana, da UFOP, o custo zero para despesas com manutenção já que foi difícil prever uma atipicidade em relação ao estrago de módulos ou inversores e o valor de limpezas realizadas semestralmente foi considerado irrisório quando comparado ao valor despendido para implantação do projeto.

Após a leitura dos contratos, checagem das etapas de instalação e efetuação dos cálculos, chegou-se à conclusão que a decisão mais assertiva da Universidade seria investir na inserção de painéis fotovoltaicos no Campus Morro do Cruzeiro e nos demais campi das cidades de Mariana e de João Monlevade.

O trabalho também utilizou de revisão bibliográfica e documental visando chegar às conclusões acerca da viabilidade econômica da escolha pelos sistemas fotovoltaicos e suas possibilidades de expansão para o futuro, caso comprovado o sucesso do projeto piloto.

Para realização da pesquisa, o local escolhido foi a Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, especificamente, o campus Morro do Cruzeiro. Sendo uma Universidade que busca a sustentabilidade e a inovação e somado ao fato das crises recentes de geração de energia no país e a necessidade de poluir menos, a UFOP optou por adotar a energia solar fotovoltaica e contratou, por meio da modalidade de licitação de pregão, empresa especializada em instalação das placas fotovoltaicas para que a universidade esteja em coerência com os anseios do mundo que necessita cada vez mais cuidar do meio ambiente.

As placas foram instaladas no Campus Morro do Cruzeiro (Ouro Preto) e no Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (ICEA) e são parte do Plano de Desenvolvimento Institucional da UFOP que compreenderá o período entre os anos de 2021 e 2026. Foram adquiridos 27 kits de geração fotovoltaica, cada um com 72 placas, totalizando 1944 delas.

O sistema adotado é mais vantajoso para a Universidade é o sistema *on-grid* – conectado à rede – que é aquele que possibilita a injeção de energia na rede em troca de créditos na conta de luz, caso o potencial gerado seja maior do que a energia consumida. Além disso, com o maior investimento em kits, em um futuro, pode-se pensar em uma independência cada vez maior da UFOP em relação à concessionária estadual de energia.

Figura 10 - Placas fotovoltaicas nos laboratórios da Escola de Minas



Fonte: Minha UFOP, 2021<sup>1</sup>.

---

Figura 10 disponível em: <https://ufop.br/noticias/institucional/ufop-implanta-paineis-fotovoltaicos-na-busca-por-economia-e-reducao-de>

Conforme o termo de contrato nº 009/2020 que previa a construção de usina solar fotovoltaica, o investimento total foi de R\$ 1.722.960,74 ( um milhão, setecentos e vinte e dois mil, novecentos e sessenta reais e setenta e quatro centavos ) para os quatro campi. Somente no campus Morro do Cruzeiro, o valor investido foi de R\$ 1.212.453,00 ( um milhão, duzentos e doze mil, quatrocentos e cinquenta e três reais) referente a um total de 16 kits de usinas fotovoltaicas. Com isso, estima-se obter economia gerada de R\$ 19.830,52 (dezenove mil reais, oitocentos e trinta reais e cinquenta e dois centavos), estimando-se obter o *payback* em cinco anos. As placas foram instaladas, no Campus Morro do Cruzeiro, nos laboratórios da Escola de Minas (figura 10) e no prédio do Centro de Educação a Distância (figura 11).

Os pontos de implantação passaram pela aprovação do Instituto do Patrimônio Histórico Nacional (IPHAN) e se concretizou devido à análise criteriosa dos responsáveis pela implantação do projeto por meio de laudos técnicos e pelo estudo dos melhores pontos e locais para maior geração e aproveitamento de energia. Já na cidade de Mariana, aprovou-se apenas o projeto no Instituto de Ciências Sociais e Aplicadas (ICSA).

Figura 11- Módulos fotovoltaicos no CEAD



Fonte: Minha Ufop, 2021<sup>1</sup>.

A tarifa de energia adotada pela UFOP até o momento é a verde. Sendo assim, a universidade escolhe uma faixa de horário durante os dias para que o valor do kWh seja cobrado com valor maior durante o tempo. Isto posto, o horário escolhido foi o compreendido entre 17 e 20 horas.

Assim, objetiva-se reduzir em um valor considerável a conta de luz. Mesmo que ainda não seja o suficiente para ficar totalmente independente em termos de produção de energia, existe um horizonte positivo quando se pensa em independência e economia de conta de luz.

### 3.1 Materiais e Métodos

#### 3.1.1 Payback

Para o presente trabalho de conclusão de curso, será utilizada uma das metodologias mais aplicadas de retorno de investimento: *Payback*, termo em inglês que significa prazo de retorno, isto é, em quanto tempo se dará o retorno de um valor investido. No caso atual, busca-se entender em quantos anos a Universidade Federal de Ouro Preto irá reaver o dinheiro gasto na compra dos painéis solares fotovoltaicos para a instalação deles em suas dependências.

O cálculo do *payback* é importante tanto para quem visa investir rapidamente, quanto para quem dispõe de pouco capital de investimento, sendo dividido em dois tipos: o simples e o descontado. No primeiro, os valores, depois de calculados e somados a cada período de tempo, são iguais aos valores investidos. No descontado, deve-se levar em consideração que, juros ou outras variáveis, como a inflação, são atribuídas aos valores antes investidos.

Sendo assim, para o cálculo do *payback* descontado deve-se considerar as variáveis do chamado VPL acumulado e observar a reversão do sinal do mesmo para se definir o *payback*. Quando esse se dá entre dois anos, segundo deve-se usar a seguinte fórmula (VILELA, 2022)

$$Payback = \frac{(FCn -)}{\{(FCn -) + FCn+\}} \times (Ano + - Ano -) + Ano -$$

Onde:

- FCn- = valor absoluto do VPL acumulado no ano anterior mais próximo ao que indica o tempo de retorno na tabela;
- FCn+ = valor absoluto do VPL acumulado no ano posterior mais próximo ao que indica o tempo de retorno na tabela;
- Ano + = Ano posterior ao indicado;
- Ano- = Ano anterior ao indicado;

Segundo Lemes Junior (2002), o *payback* descontado é um método capaz de determinar o tempo necessário para que o investimento inicial em determinado projeto seja recuperado. O método consiste em considerar o valor do dinheiro no tempo, utilizando-se de uma taxa de desconto para mensurar o número de períodos em que o investimento será reavido. Normalmente, faz-se uso da taxa mínima de atratividade, essa que é definida de acordo com impostos para remuneração do dinheiro despendido.

### 3.1.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo Gitman (2001), o Valor Presente Líquido (VPL) é uma técnica de orçamento mais refinada para projetos. O seu valor é obtido por meio da diferença entre o valor inicial investido em um projeto e o valor das entradas líquidas de caixa do mesmo, descontadas de uma taxa ( LEMES JÚNIOR, RIGO E CHEROBIM, 2002). Sendo assim, o mesmo é caracterizado como o valor criado ou adicionado no momento da análise devido ao investimento. Para isso, é importante que sejam considerados todos os valores líquidos esperados, utilizar os fluxos de caixa e reduzir do investimento inicial.

Se o VPL for maior que zero, indica que o investimento deve fornecer um valor adicional àquele que investiu e é favorável. Caso contrário, não vale a pena continuar com o projeto e o mesmo deverá ser recusado. O VPL obedece o princípio da aditividade, ou seja, soma valores levados a uma mesma data (no caso, a chamada data zero - ano inicial do investimento). Em resumo, o VPL é o valor presente de entradas ou saídas de caixa somado ao valor negativo do investimento inicial, conforme a equação:

$$VPL = \frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC2}{(1+i)^2} + \frac{FCn}{(1+i)^n} - PV_0$$

Onde:

- $i$  = taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA);
- $n$  = variável do tempo e vai até o final da vida útil (garantia) estipulada do projeto em anos;
- $PV_0$  = investimento inicial;

É importante ressaltar que o valor presente líquido de um projeto é bastante sensível com as variações na taxa de desconto ( $i$ ). Isto posto, conclui-se que quanto maior a taxa, menor será o VPL resultante.

### 3.1.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR representa o valor de custo de capital que torna o VPL nulo. Dessa maneira, é uma taxa que remunera o valor investido no projeto. Se a TIR for maior que a TMA, o projeto deve ser aceito. Caso contrário, o projeto deve ser prontamente recusado pois o investimento estará causando prejuízo àquele que investiu.

O cálculo da TIR é feito por métodos de interpolação ou tentativa e erro. No entanto, pode-se chegar a uma equação aproximada:

$$VPL = 0 = FC0 + \frac{FC1}{(1 + TIR)} + \frac{FC2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FCn}{(1 + TIR)^n}$$

Onde:

- *FC* = Fluxo de caixa que irá mudar de acordo com o ano analisado;

- *TIR* = taxa interna de retorno;

- *n* = número do ano correspondente de acordo com o tempo de garantia do projeto;

### 3.1.4 Demais variáveis e dados quantitativos do projeto do Campus Morro do Cruzeiro

Voltando o foco para o contexto do sistema solar fotovoltaico, são analisados os dados de radiação, quantidade de módulos e economia anual que o sistema proporciona para quem o adquire. Normalmente, com o passar dos anos, observa-se uma economia cada vez maior em termos de reais, levando-se em consideração a região (principalmente o Estado) do país onde se está localizado o sistema fotovoltaico. Outras variáveis importantes para o alcance do resultado correto, são o reajuste anual de energia que é imprevisível, tendo um intervalo de tempo maior; e a perda de eficiência que é um efeito natural particular dos módulos, tendo em vista que ele cai com o passar dos anos.

Existem algumas variáveis que fazem com que a energia solar fotovoltaica se torne viável para quem investe nela, a exemplo da tarifa de energia, medida em reais por quilowatt-hora, dependendo dos grupos, suas variações e suas bandeiras tarifárias. Os consumidores do grupo B são formados por B1 (residencial), B3 (comércios de pequeno porte) e outras classes que fazem parte dos que recebem baixa tensão. Aliado a isso, quanto maior é a tarifa de energia, menor será o *payback* e o investimento irá ser compensado em um tempo menor.

Outra variável é a inflação energética, que é simplesmente a variação da tarifa de energia. Ao instalar o sistema solar fotovoltaico, gerando a própria energia, independente do preço subir ou não, inexistirão cobranças de modo indiscriminado, como se observa ao longo dos anos. O tamanho das reservas hidrelétricas não deve aumentar, visto que as chuvas em algumas regiões andam cada vez mais escassas, em um contexto global onde o desmatamento do meio ambiente e as queimadas interferem diretamente no clima e no ecossistema.

No que tange à parte técnica, é relevante mencionar o tamanho do sistema (potência) tendo em vista que, quanto maior o sistema, menor será o seu custo em quilowatt (kW). Além disso, existe a questão da solarimetria, variável que define a faixa de disponibilidade solar em cada região. Ademais, a área do telhado também se faz

importante, visto que é necessário um espaço físico mínimo para que se possa instalar os painéis nas residências e nas empresas. É importante também ressaltar que a orientação geográfica das placas é de suma importância, visando atingir o máximo da sua potencialidade de geração de energia solar. Por fim, os imóveis que aderem ao sistema fotovoltaico observam uma valorização imobiliária.

Para que pudesse ser, de fato, realizado o processo de instalação das usinas fotovoltaicas nos Campi da Universidade Federal de Ouro Preto, firmou-se um contrato entre a UFOP e a empresa MTEC ENERGIA EIRELI (Processo UFOP número 23109.004064/2019-95), decorrente do RDC IFSULDEMINAS número 003/2018. Logo, o Instituto Federal do Sul de Minas assume a condição de Órgão Gerenciador, bem como os demais órgãos participantes com a intenção de realizar compras nacionais.

Os itens da licitação, assim como quantitativos e valores, estão relacionados na tabela 3, a seguir:

Tabela 3 - Itens da licitação, quantitativos e valores

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
11	Kit Usina Fotovoltaica	16	R\$ 64.994,95	R\$ 1.039.908,00
12	Kit Usina Fotovoltaica	01	R\$ 63.767,94	R\$ 63.767,94
22	Kit Usina Fotovoltaica	10	R\$ 61.928,48	R\$ 619.284,80

Fonte: Contrato UFOP e MTEC ENERGIA EIRELI, 2018.

O valor global da contratação é de R\$1.722.960,74 ( um milhão, setecentos e vinte e dois mil, novecentos e sessenta reais e setenta e quatro centavos) para todos os 4 campi da UFOP. Nesse valor, estão incluídas despesas diretas e indiretas, tributos e/ou impostos, encargos sociais, trabalhistas, previdenciários, fiscais e comerciais incidentes, assim como as taxas de licenciamento, administração, frete, seguro e outros necessários ao cumprimento integral do objeto da contratação.

Vale ressaltar que, para o presente estudo, que considera unicamente o Campus Morro do Cruzeiro (esse que possui um valor de conta de luz muito maior em relação aos outros 3 campi somados), o valor global do investimento a ser considerado para efeitos de *software* e visando chegar ao valor do *payback* será de R\$ 1.212.453,00 (um milhão, duzentos e doze mil, quatrocentos e cinquenta e três reais) que inclui os 16 kits com algumas outras variáveis consideradas pelo Engenheiro Eletricista da UFOP, Paulo Viana.

O prazo da vigência corresponde a um período de 12 (doze) meses, que teve início em 29/06/2020 e encerramento em 28/06/2021. No entanto, o prazo máximo é de 10 (dez) meses contados a partir do recebimento da Ordem de Serviço, expedido pela Prefeitura Universitária.

Os locais de execução dos serviços são: Campus Morro do Cruzeiro (Ouro Preto), Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas (João Monlevade); Instituto de Ciências Humanas e Sociais (Mariana) e Instituto de Ciências Sociais e Aplicadas (Mariana).

Ademais, existe hoje uma plataforma de monitoramento das usinas solares (figura 12) no Campus Ouro Preto e que é capaz de retornar ao usuário dados como: quantidade de energia gerada pelo sistema, capacidade atual instalada, erro na leitura de algum inversor e dados meteorológicos na região de Ouro Preto. (GOODWE SEEMS PORTAL, 2023).

Segundo consta na plataforma, a data de criação da estação de monitoramento deu-se em 16 de Dezembro de 2021. Outrossim, a capacidade instalada é de 351 kW e, até o dia 8 de Março de 2023, a geração de energia total na usina até o momento tinha sido de 182.779,80 kWh e a receita total era de R\$ 151.151,27 (cento e cinquenta e um mil, cinquenta e cinquenta e um reais e vinte e sete centavos). O portal, fornecido pela empresa Goodwe (fabricante dos inversores presentes nas usinas), define os equipamentos nos prédios dos laboratórios do Departamento de Engenharia de Controle e Automação (DECAT), Departamento de Engenharia Civil (DECIV), Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas (NUGEO) e no Centro de Educação Aberta e a Distância (CEAD).

Figura 12 - Sistema de monitoramento das usinas solares fotovoltaicas da UFOP



Fonte: Goodwe Seems Portal, 2023.

Em relação a garantias e seguros, o documento prevê que a contratada faça em seguradora idônea, apresente a assinatura do contrato, ofereça seguro contra riscos de

engenharia, válido para todo o período de execução da obra e, além disso, também demonstre que os profissionais encarregados por fazerem a instalação estão acobertados pelo seguro obrigatório contra riscos de acidente de trabalho.

Ademais, também deve-se ocorrer a medição dos serviços, para fins de atestação e pagamento, sendo realizada mensalmente, baseado em cronograma previamente aprovado pela fiscalização, tomando por base as especificações e o projeto.

Além disso, também estão previstas multas, divididas em seis níveis de gravidade e correspondência relativa ao valor que deverá ser pago e registrado no SICAF (Sistema de Cadastramento Unificado de Fornecedores). As infrações vão de permitir a presença do empregado desuniformizado (grau 1) até permitir situação que crie a possibilidade de causar dano físico, lesão corporal ou consequências letais aos envolvidos no processo.

### 3.1.5 Coordenadas a respeito da Cidade de Ouro Preto e Dados de Irradiação Solar

Antes de definir a irradiância solar na cidade de Ouro Preto, deve-se ter posse dos dados a respeito das coordenadas (latitude e longitude) do município onde estão instaladas o sistema objeto de estudo da presente monografia. Assim sendo, tais informações foram obtidas por meio da ferramenta Google Maps conforme a figura 13:

Figura 13 - Latitude e Longitude da cidade de Ouro Preto - Minas Gerais



Fonte: Google Maps, 2023.

Tendo em vista a imagem anterior e a posição do município em relação à Linha do Equador, os dados obtidos indicam que as coordenadas geográficas do município são: latitude 20,40 graus Sul e longitude 43,50 graus Oeste.

Para que seja identificada a quantidade de radiação solar incidente nos painéis solares do Campus Morro do Cruzeiro, primeiramente, é necessária que tenha-se a irradiação solar anual média por mês para a cidade de Ouro Preto – MG. Esses dados podem ser consultados no site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica de Salvo Brito (CRESESB) que é uma ferramenta que possui informações de mais de 72.000

pontos em todo o território nacional. Logo, ao inserir a longitude e latitude do local nos campos correspondentes, obtém-se a tabela 4:

Tabela 4- Irradiância solar diária média em Ouro Preto

Mês	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]
Janeiro	5,59
Fevereiro	5,83
Março	4,91
Abril	4,43
Mai	3,94
Junho	3,83
Julho	4,02
Agosto	4,95
Setembro	5,11
Outubro	5,16
Novembro	4,79
Dezembro	5,35

Fonte: CRESESB, 2023

### 3.1.6 Informações Contratuais e Instalações no Campus Morro do Cruzeiro

Segundo o Termo de contrato número 009/2020 (PROCESSO UFOP número 23109.004064/2019-95), cujo objeto foi a elaboração do Projeto Base e Projeto Executivo, com fornecimento de materiais e equipamentos, construção, montagem e colocação em operação de Usina Solar Fotovoltaica, todos os executantes do projeto, ou seja, os trabalhadores da contratada, foram treinados segundo as normas NR10 (segurança em instalações e serviços em eletricidade) e na NR35 (trabalho em altura) e todos os cuidados necessários para energizar a usina e demais avisos sobre como não proceder foram repassados.

Os painéis devem ser mantidos uma vez a cada três a seis meses e é importante que a limpeza se dê com água, sabão, líquido neutro e vassoura abrasiva (os dois últimos caso seja necessário). Outrossim, deve-se observar o estado do inversor de tempos em tempos para garantir a eficácia do sistema e também as conexões como um todo (cabearamento ligando placas ao inversor e esse a central de energia).

Dos 27 kits de usina solar fotovoltaica adquiridos pela Universidade Federal de Ouro Preto, 16 deles foram destinados para o Campus Morro do Cruzeiro (conforme

apresenta a figura 14). Como consta em contrato e em matérias do site oficial da Instituição Pública referida, cada kit possui 72 placas. Sendo assim, das 1994 placas compradas, 1152 se encontram distribuídas sobre o telhado dos laboratórios da Escola de Minas e do Centro Acadêmico de Educação a Distância (CEAD) (UFOP, 2021).

Figura 14 - Painéis fotovoltaicos instalados sobre os laboratórios da Escola de Minas

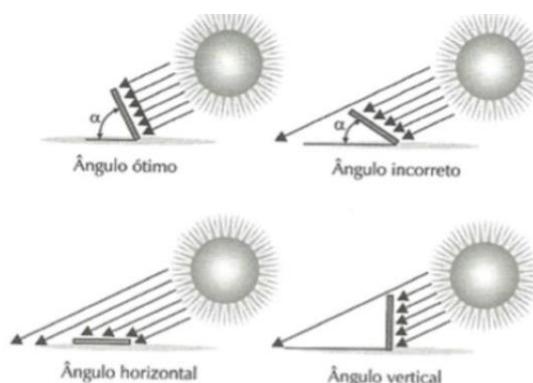


Fonte: Relatório de Manutenção MTEC Energia, 2022.

### 3.1.7 Informações a respeito da orientação dos módulos solares e de seus ângulos

Para a instalação dos painéis, deve-se escolher um critério para adotar o ângulo que mais irá potencializar a geração de energia pelas placas solares. Esses ângulos são divididos em 4 grupos: ótimo, incorreto, horizontal e vertical, conforme apresenta a figura 15 a seguir:

Figura 15- Diferentes angulações de módulos fotovoltaicos



Fonte: VILLALVA, GAZOLI, 2015.

Segundo Villalva (2022), não se recomenda a instalação dos painéis com ângulos de inclinação inferiores a 10 graus. Isso porque, ocorre o acúmulo de poeira e a eficiência

do módulo é comprometida devido à essa questão aliada a maior dificuldade de manutenção e limpeza dos mesmos.

De maneira clara, existe uma tabela que indica qual o ângulo de inclinação ( em relação ao plano horizontal) é recomendado para diversas faixas de latitudes geográficas de forma a maximizar a produção de energia elétrica.

Tabela 5- Ângulos para a instalação de painéis

Latitude	Ângulo recomendado ( $\alpha$ )
0° a 10°	10°
11° a 20°	Latitude
21° a 30°	Latitude + 5°
31° a 40°	Latitude + 10°
41° ou mais	Latitude + 15°

Fonte: Adaptado de Villalva, 2022.

Tomando como base a tabela 5 acima e de posse da informação de que a cidade de Ouro Preto, no Estado de Minas Gerais, possui uma latitude de 20,40 graus Sul, conclui-se que o ângulo ideal para a instalação de todas as placas solares deverá ser exatamente igual ao valor, em graus, de sua latitude.

Em adição a isso, uma regra considerada de ouro para instalação dos módulos (além da escolha ideal do ângulo de inclinação), é, sempre que possível, orientar o mesmo com sua face voltada para o norte geográfico, tendo em vista que essa pequena ação maximiza a produção média diária de energia.

No caso do Campus Morro do Cruzeiro, levando em consideração imagens via Google Maps, observações in loco e diferentes tipos de telhado (uns mais inclinados), não foi possível que a grande maioria ou quase todos os módulos fossem colocados com a face direcionada para o Norte. Nesse caso, apesar de, por exemplo, os laboratórios da Escola de Minas estarem voltados para essa coordenada na bússola, o que observou-se foi que os módulos estão na vertical sobre esses prédios. Sendo assim, suas faces estariam voltadas para o lado Leste ou Oeste e, nesse caso, pode ser que o potencial gerador diminua.

Figura 16 - Estação metereológica do Campus Morro do Cruzeiro



Fonte: Relatório de Manutenção MTEC Energia, 2022.

### 3.1.8 Descrição dos itens da licitação e valor global do investimento

No valor global já mencionado, incluem-se todas as despesas e demais custos decorrentes da execução do objeto, inclusive tributos e/ou impostos, encargos sociais, trabalhistas, previdenciários, fiscais e comerciais incidentes, bem como taxas de licenciamento, administração, frete, seguro e outros necessários ao cumprimento integral do objeto da contratação. (UFOP,2022)

Vale ressaltar também que, em 2021, módulos fotovoltaicos da marca Risen, modelo RSM156-6-445M com eficiência de 20,5% foram instalados juntamente com dois inversores da fabricante GOODWE: os modelos GW35KLV-MT e GW50KLV-MT. (MTEC ENERGIA, 2022). Além disso, a UFOP conta com uma estação metereológica (figura 16), que fornece as informações necessárias do sistema instalado.

Uma observação e dificuldade encontrada foi que, o módulo fotovoltaico apresentado no termo de adesão da UFOP para compra das usinas solares fotovoltaicas (assinado em 2019), apresenta uma placa diferente no que se refere ao modelo, fabricante e até mesmo o tipo de silício em que a placa foi fabricada: modelo 330W Canadian Solar – CS6U – 330p, feita de silício policristalino e que conta com eficiência de 19,5%.

No entanto, para os cálculos e conclusões do presente trabalho de conclusão de curso, optou-se por seguir com as especificações da placa que foi adquirida (figura 17) e instalada comprovadamente por documentos assinados por representantes da Universidade Federal de Ouro Preto (contratante) e MTEC Energia Eirelli (contratada). Isso posto, tem-se um melhor rendimento do sistema, visto que, com uma placa de

material monocristalino, tem-se o aumento da eficiência e eleva-se, um pouco, a geração de energia no sistema.

Figura 17 - Módulo Fotovoltaico RSM 156-6-445M



Fonte: Portal Solar, 2023

O módulo da figura 17 possui garantia de 25 anos, é da fabricante Risen, é fabricado com silício monocristalino, possui 156 células fotovoltaicas, tem potência máxima de 445Wp e pesa 25.5kg (PORTAL SOLAR, 2023).

### **3.1.9 Dados do Inversor**

O inversor de corrente utilizado na usina trata-se do modelo GW50KLV-MT, da fabricante GOODWE conforme a figura 18:

Figura 18 - Inversor de Corrente GW50KLV-MT



Fonte: Goodwe, 2023

O mesmo possui até 98.8% de eficiência máxima, tem comunicação PLC, monitoramento a nível de string, opera de -30 a 60 graus Celsius, possui grau de proteção IP65 (contra poeira e água), possui potência máxima de entrada de 90000W (watts) e tensão máxima de entrada de 800V (GOODWE, 2023).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Dados e Valores Obtidos – Campus Morro do Cruzeiro

Tendo em vista o êxito da pesquisa, fez-se necessária a busca por informações a respeito da tarifa paga pela UFOP, histórico de consumo do Campus Morro do Cruzeiro no ano de 2022 em termos de kWh e a geração de energia obtida pelo sistema fotovoltaico que teve a instalação e criação de um sistema de monitoramento na data de 16 de Dezembro de 2022.

Em relação às contas de luz do Campus, foi considerado o período entre Janeiro e Dezembro de 2022 para se traçar uma média de consumo da Universidade Federal de Ouro Preto. É importante ressaltar que ainda não está sendo descontado o valor referente à geração mensal de energia elétrica pelas usinas instaladas. Dessa forma, os seguintes dados, mediante análise gráfica e utilização do *software* Excel, foram obtidos por meio da tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Histórico de consumo de energia elétrica da UFOP em 2022

Histórico de Consumo - UFOP - 2022					
Mês/Ano	Demanda (kW)		Energia (kWh)		Total de energia consumida (kWh)
	HP	HFP	HP	HFP	
jan/22	392	448	22.400	226.800	249.200
fev/22	420	518	22.400	219.800	242.200
mar/22	616	742	32.200	285.600	317.800
abr/22	616	756	30.800	281.400	312.200
mai/22	714	812	42.000	309.400	351.400
jun/22	672	742	35.000	280.000	315.000
jul/22	616	686	30.800	271.600	302.400
ago/22	700	770	43.400	316.400	359.800
set/22	756	826	40.600	306.600	347.200
out/22	742	826	37.800	296.800	334.600
nov/22	658	686	30.800	233.800	264.600
dez/22	672	756	29.400	236.600	266.000
Média	631,17	714	33.133	272.067	305.200

Fonte: Produzida pelo autor, 2023.

Em média, o Campus Morro do Cruzeiro consome 305.200 kWh por mês. Vale ressaltar que existem algumas atipicidades, como por exemplo: meses com mais feriados, férias e outros períodos em que ocorrem aulas todos os dias da semana e inexistem pontos facultativos.

A energia consumida pelo Campus nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2023 foi inferior àquela gasta pela Instituição nos mesmos meses do ano de 2022 (47.600 kWh). Isso porque, a cada mês, aplica-se uma bandeira diferente e, aliado a isso, existia uma

questão no Brasil no início do ano anterior que tratava-se da escassez hídrica em vários reservatórios. Sendo assim, o Governo Federal optou por realizar o contingenciamento de verbas para as Universidades Federais e dentro do Campus foi preciso economizar energia evitando deixar aparelhos ligados e luzes acesas desnecessariamente nos ambientes.

A respeito dos dados de geração da Usina, foram obtidos, por meio de *software* de gestão de monitoramento, os valores precisos dos meses de Dezembro de 2022, Janeiro de 2023 e Fevereiro de 2023. Em Dezembro de 2022, a usina produziu 31.576,80 kWh, em Janeiro de 2023 produziu 38.148,80 kWh e em Fevereiro 31.477,00 kWh.

No entanto, por meio dos dados de irradiação solar diária média na cidade de Ouro Preto por meio do CRESESB (Tabela 2), faz-se possível ter uma projeção de quanto em cada mês será gerado pela usina no ano de 2023. Isso posto, chega-se a um cálculo coerente com o que se espera tendo em vista as estações do ano e a irradiância anual no local das instalações, conforme apresenta a tabela 7:

Tabela 7- Energia gerada pelas usinas fotovoltaicas em 2023

Mês [2023]	Energia Gerada [kWh]
Janeiro	38.148,80
Fevereiro	31.477,00
Março	26.509,79
Abril	23.918,20
Mai	21.272,62
Junho	20.678,72
Julho	21.704,55
Agosto	26.725,75
Setembro	27.589,62
Outubro	27.859,57
Novembro	25.861,89
Dezembro	28.885,41
Total	320.631,93

Fonte: Produzida pelo autor, 2023.

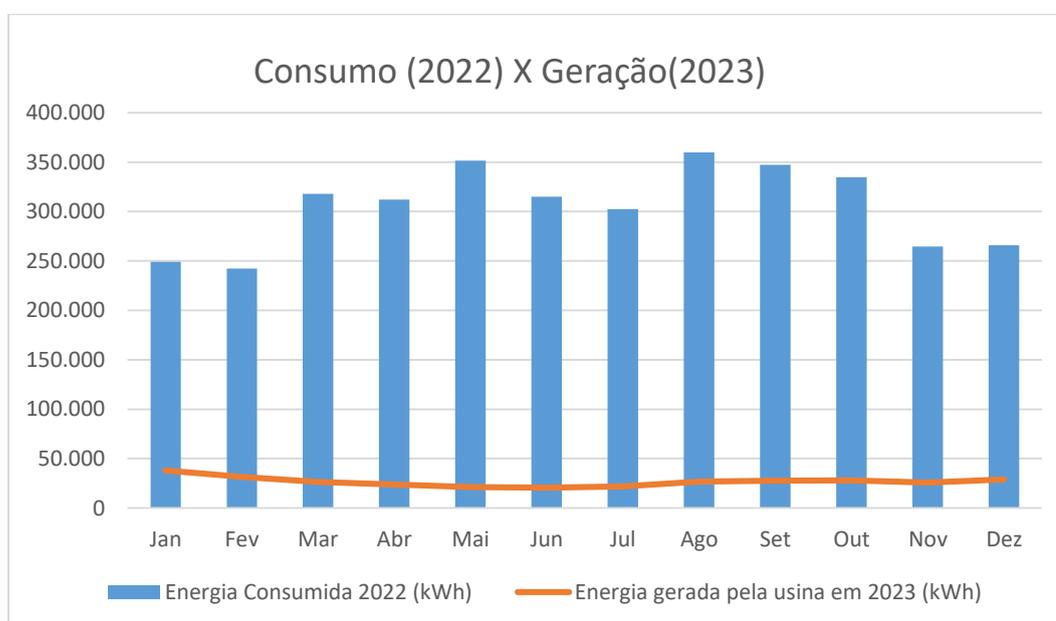
Sendo assim, observa-se um potencial total de geração de eletricidade de 320.631,93 kWh para o ano de 2023 visando reduzir o valor da conta de luz da UFOP. Somado a isso, existe um projeto pensado para o começo do ano de 2024 que deve substituir toda a iluminação externa do Campus Morro do Cruzeiro: as lâmpadas deixariam de ser de vapor de sódio (400W) e passariam a ser de LED (200W). Outro

ponto importante a citar diz respeito à intenção de aumentar a capacidade das usinas solares fotovoltaicas. Isso posto, as mesmas, que hoje contam com uma capacidade instalada de 351kW, passariam a contar com mais 450kW e representaria um passo de extrema importância para a Universidade que busca economizar nas contas de energia, preza pela utilização de recursos que preservem e ajudem o meio ambiente e, conseqüentemente, economizando recursos públicos que podem ser destinados a projetos diversos, melhorias e reformas das edificações existentes em cada um dos seus quatro campi.

Em contrapartida, constatou-se que a UFOP possui uma demanda contratada de 1200 kWh para os horários de ponta e fora de ponta. No entanto, o máximo que é demandado chega na casa dos 860 kWh. Sendo assim, a Instituição acaba gastando mais do que o necessário e isso impacta negativamente na conta, pois paga-se também pela demanda contratada que não foi utilizada.

Visando uma comparação entre a energia consumida pela instituição e aquela gerada pelo sistema dentro da sua capacidade instalada, foi possível traçar, por meio do *software* Excel, um gráfico combinado entre as tabelas 6 e 7, conforme o gráfico apresentado na figura 19:

Figura 19 - Gráfico energia consumida (2022) X Energia Gerada (2023)



Fonte: Produzido pelo autor, 2023

Observou-se que a média de consumo durante todo o ano de 2022 foi de 305.200 kWh e a projeção de média de energia gerada pelas usinas solares fotovoltaicas no ano de 2023 foi de 26.719,32 kWh. Considerando a tarifa como R\$ 0,599 para a tarifa na parte

de consumo (considerando horário de pico e fora de pico) e a tarifa R\$ 0,541 para a geração (considera-se apenas o horário de fora de pico e geração de usina que vai das 06:00 às 18:00) existira uma economia de 7,9% no valor da conta de luz mensalmente, o que equivale a R\$14.455,15 (quatorze mil, quatrocentos e cinquenta e cinco reais e quinze centavos).

#### 4.2 Planilha Automatizada de Viabilidade Econômica

A planilha empregada para a análise econômica do investimento feito pela Universidade Federal de Ouro Preto possibilita calcular o valor presente líquido (VPL), o valor presente líquido acumulado, a taxa interna de retorno (TIR), o prazo de retorno do investimento (*payback*), a relação custo benefício (RCB) e o índice de lucratividade total do projeto (IL).

Por meio da aplicação de fórmulas já existentes e tendo em vista os conhecimentos financeiros e de análise econômica de investimentos cujos cálculos já foram citados no capítulo 3 da presente monografia, foi possível chegar a valores reais e assertivos para os índices mencionados.

Ademais, para que os cálculos pudessem ser satisfatórios, foi-se necessário inserir alguns dados como: custo total do projeto (contando com todos os equipamentos e instalação) – CAPEX; a vida útil (horizonte) do projeto para que se possa definir em quantos anos será feito o fluxo de caixa; despesas anuais do projeto (tendo em vista manutenção e limpeza), valor econômico de energia economizada, energia economizada em termos de kWh e o valor da tarifa considerada para um prognóstico futuro, conforme indica a tabela 8:

Tabela 8 - Parâmetros de entrada da planilha de viabilidade econômica

CUSTO TOTAL DO PROJETO (EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÃO (CAPEX))	VIDA ÚTIL DO PROJETO	DESPESAS ANUAIS (MANUTENÇÃO E LIMPEZA)
R\$ 1.212.453,86	25 ANOS	R\$ 0 POR ANO
VALOR DA TARIFA CONSIDERADO (THS Verde A4, Bandeira Amarela)	ENERGIA ECONOMIZADA POR ANO	VALOR ECONÔMICO DA ENERGIA ECONOMIZADA
R\$ 0,45	320.631,93 kWh	R\$ 144.605,00

Fonte: Produzida pelo autor, 2023.

### 4.3 Dados de Conta de Luz da UFOP

Analisando-se a conta do Campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto (figura 20), instituição do Poder Público Federal e que possui modalidade tarifária para consumidores de média e alta tensão THS Verde A4, percebeu-se que o valor de Dezembro foi de R\$ 159.585,40 (UFOP, 2022).

A UFOP optou pela tarifa verde, pois nessa o valor do kWh cobrado varia de acordo com o horário dos dias. Isso porque, a Instituição julgou ser mais interessante permitir que a concessionária cobre um valor pelo kWh consumido nos horários em que existem um número menor de aulas (17 às 20 horas) de modo a ter um impacto positivo na conta de luz. Além disso, para os consumidores pertencentes ao grupo A4, a tensão de fornecimento varia de 2,3 kV a 25 kV (Cubi Energia, 2020).

Figura 20 - Histórico de Consumo do Campus Morro do Cruzeiro - 2022

Histórico de Consumo					
Mês/Ano	Demanda(kW)		Energia(kWh)		
	HP	HPF	HP	HPF	HR
DEZ22	672	756	29.400	236.600	0
NOV22	658	686	30.800	233.800	0
OUT22	742	826	37.800	296.800	0
SET22	756	826	40.600	306.600	0
AGO22	700	770	43.400	316.400	0
JUL22	616	686	30.800	271.600	0
JUN22	672	742	35.000	280.000	0
MAI22	714	812	42.000	309.400	0
ABR22	616	756	30.800	281.400	0
MAR22	616	742	32.200	285.600	0
FEV22	420	518	22.400	219.800	0
JAN22	392	448	22.400	226.800	0
DEZ21	448	518	23.800	221.200	0

Reservado ao Fisco			
00B4.6129.97AF.861A.5E55.9C4A.3A92.CCC3			
	<b>Base de cálculo (R\$)</b>	<b>Alíquota (%)</b>	<b>Valor (R\$)</b>
PASEP	165.932,75	0,80	1.327,44
COFINS	165.932,75	3,69	6.122,89

<b>Código de Débito Automático</b> 008048920618	<b>Instalação</b> 3009016508	<b>Vencimento</b> 11/02/2023	<b>Total a pagar</b> R\$ 159.585,40
83640001595-1 85400138001-3 13481519911-9 08048920618-7			Dezembro/2022



Fonte: Pró-Reitoria de Planejamento e Administração, 2022.

### 4.4 Cálculo da tarifa para definir o quanto é economizado por mês e ano

As usinas fotovoltaicas irão gerar energia nos períodos de incidência do Sol, ou seja, de 6 h da manhã às 18:00 todos os dias. No entanto, o horário de ponta, em que o valor da tarifa é mais alto, compreende apenas 1 hora dentro desse intervalo de 12 horas. Isto posto, aliado ao fato de que a incidência solar também é mais fraca nesse horário, chega-se a apenas 1,5% de incidência solar nos painéis no horário de ponta e 98,5% em fora de ponta.

Dessa forma, decidiu-se por utilizar apenas o valor da tarifa fora de ponta cobrada pela CEMIG para 100% da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos no Campus Morro do Cruzeiro, considerando todos os meses e a somatória total em todo o ano de 2023 e os posteriores.

Ademais, considera-se, para o efeito de cálculo, a modalidade tarifária THS Verde

A4, bandeira amarela e um acréscimo de 29% no valor que consta no site da CEMIG devido a impostos. Sendo assim, o valor de kW gerado será de:

$$\text{R\$ } 0,3495 \text{ (valor da tarifa – A4 – HFP) X } 1.29 \text{ (impostos) = R\$0,451}$$

O valor resultante será aquele utilizado para definir o total economizado, em reais, no ano de 2023, segundo a tabela 9 e servirá de base para realizar-se um prognóstico dos anos posteriores que será gerado pelo *software* empregado no presente trabalho de conclusão de curso. Outrossim, para esse estudo, desenvolvimento do fluxo de caixa, cálculo do VPL, TIR e *payback*, estima-se que, a produção de energia pelas usinas terá valores iguais até que, caso sejam instalados mais kits, o mesmo mude em detrimento de maior capacidade de potência do sistema.

Tendo em vista a tabela 7 com o valor de energia gerada em cada mês de 2023 e a tarifa a ser cobrada, tem-se a tabela 9 a seguir:

Tabela 9- Economia da UFOP (reais) = consumo mensal X R\$ 0,451

Mês [2023]	Total Economizado [R\$]
Janeiro	17.205,11
Fevereiro	14.196,13
Março	11.955,91
Abril	10.787,11
Mai	9.593,95
Junho	9.326,10
Julho	9.788,75
Agosto	12.053,31
Setembro	12.442,92
Outubro	12.564,67
Novembro	11.663,71
Dezembro	13.027,32
Total	144.604,99

Fonte: Produzida pelo autor, 2023.

Levando-se em consideração a tabela anterior, os anos posteriores (2024, 2025, 2026, etc.) para efeitos de cálculo de VPL, contarão com um acréscimo de tarifa anual de 16%. Isso porque, segundo dados da Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (Abraceel), a energia elétrica aumentou mais do que o dobro da inflação no Brasil

nos últimos sete anos: 114% de alta, enquanto a inflação apresentou acréscimo de 48%. Dessa forma, será utilizado, na planilha, o percentual de 8% (considerando inflação) e tendo em vista que, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), utiliza-se esse percentual para investimentos no campo da energia elétrica (EPE, 2022). para aumento anual dos custos com manutenção da usina da UFOP e, esse mesmo valor, é o da taxa de desconto (ou taxa mínima de atratividade) para calcular o VPL, estimar a TIR e definir o *payback*. Ademais, também será definida a relação custo benefício (RCB).

$$RCB = \text{Benefício durante a vida útil do projeto} / \text{custo (investimento inicial)}$$

#### 4.5 Fluxo de Caixa

Segundo a CNN Brasil (2022), o aumento do valor cobrado de energia elétrica no Brasil foi de aproximadamente, 16,3% ao ano. Logo, define-se os valores de Receitas dos 25 anos de vida útil do projeto baseados na energia gerada (tabela 10 abaixo). Tendo em vista que os valores de eventuais despesas foram considerados irrisórios por se tratarem apenas de limpezas simples nos painéis, o Fluxo de caixa corresponde à mesma coluna das Receitas.

Tabela 10- Fluxo de caixa do sistema fotovoltaico

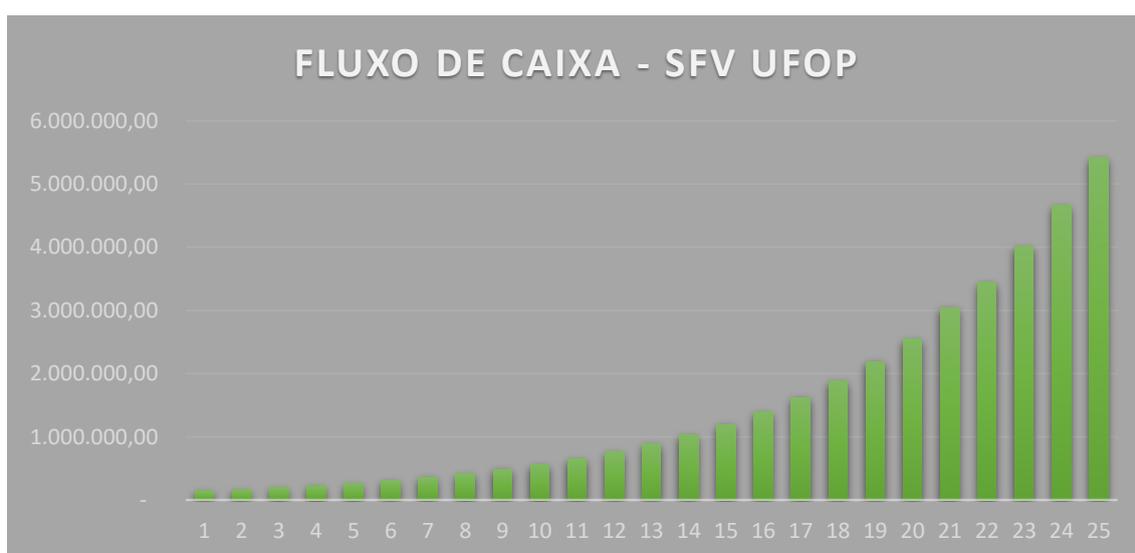
Ano (Começando em 2023)	Fluxo de Caixa = Receitas (R\$)
0	- 1.212.453,86
1	144.605,00
2	168.175,62
3	195.588,24
4	227.469,12
5	264.546,59
6	307.667,69
7	357.817,52
8	416.141,77
9	483.972,88
10	562.860,46
11	654.606,72
12	761.307,61
13	885.400,75
14	1.029.721,08

15	1.197.565,61
16	1.392.768,81
17	1.619.790,12
18	1.883.815,91
19	2.190.877,91
20	2.547.991,01
21	3.046.675,49
22	3.446.333,65
23	4.008.086,03
24	4.661.404,06
25	5.421.212,92

Fonte: Produzida pelo autor, 2023

De maneira mais visual, realizou-se o traçado do gráfico, apresentado na figura 21 abaixo, do fluxo de caixa do sistema fotovoltaico da UFOP

Figura 21 - Fluxo de Caixa Sistema Fotovoltaico UFOP



Fonte: Produzido pelo autor, 2023

#### 4.6 VPL e VPL Acumulado

Para que se tenha o resultado do *Payback*, relação custo benefício, TIR, e outros parâmetros relevantes, faz-se necessário analisar os valores presentes e o VPL acumulado. A taxa de desconto (TMA) foi considerada como sendo a inflação: 8%. Para isso, elaborou-se a tabela 11 a seguir:

Tabela 11- VPL e VPL Acumulado do Projeto

Ano	VPL	VPL Acumulado
0	- 1.212.453,86	- 1.212.453,86
1	R\$ 133.893,52	- 1.078.560,34
2	R\$ 144.183,48	- 934.376,86
3	R\$ 155.264,25	- 779.112,61
4	R\$ 167.196,60	- 611.916,01
5	R\$ 180.045,96	- 431.870,04
6	R\$ 193.882,83	- 237.987,21
7	R\$ 208.783,09	- 29.204,13
8	R\$ 224.828,45	195.624,32
9	R\$ 242.106,93	437.731,26
10	R\$ 260.713,30	698.444,56
11	R\$ 280.749,60	979.194,16
12	R\$ 302.325,73	1.281.519,89
13	R\$ 325.560,02	1.607.079,91
14	R\$ 350.579,91	1.957.659,82
15	R\$ 377.522,63	2.335.182,45
16	R\$ 406.535,94	2.741.718,38
17	R\$ 437.778,98	3.179.497,36
18	R\$ 471.423,10	3.650.920,47
19	R\$ 507.652,84	4.158.573,31
20	R\$ 546.666,90	4.705.240,21
21	R\$ 605.239,60	5.310.479,81
22	R\$ 633.920,36	5.944.400,17
23	R\$ 682.638,31	6.627.038,48
24	R\$ 735.100,33	7.362.138,81
25	R\$ 791.594,15	8.153.732,96

Fonte: Produzida pelo autor, 2023

#### 4.7 Definição do *Payback* descontado do Sistema Fotovoltaico do Campus Morro do Cruzeiro

Analisando-se a tabela 11, nota-se que o primeiro valor positivo da coluna “ VPL Acumulado “ deu-se no ano 8. Como nenhuma das linhas consta com o valor 0, é necessário que o tempo de retorno seja definido considerando-se o ano 7 e o 8 por meio da seguinte conta:

$$\textit{Payback} = \frac{29.204,13}{29.204,13 + 195.624,32} \times (8 - 7) + 7 = 7,13 \text{ anos}$$

Assim sendo, o *Payback* se dará em, aproximadamente, 7 anos, 1 mês e 15 dias. Esse é um valor aceitável e esperado, tendo em vista a coluna de VPL acumulado e o valor global alto de investimento.

#### 4.8 VPL do Projeto

**VPL** = Soma dos valores presentes (ano 1 ao 25) – investimento

$$\textit{VPL} = \text{R\$ } 9.366.186,82 - \text{R\$ } 1.212.453,86 = \text{R\$ } 8.153.732,96$$

#### 4.9 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) foi obtida pela função específica para o retorno do mesmo no *software* Excel e resultou em

$$\textit{TIR} = 26,88\%$$

#### 4.10 Índice de Lucratividade do Projeto (ILP)

Para se chegar a uma taxa de lucratividade, faz-se necessário realizar a seguinte operação:

$$\textit{Índice de lucratividade} = \frac{\textit{soma dos valores presentes (ano 1 ao 25)}}{\textit{investimento inicial}}$$
$$\textit{Índice de lucratividade} = \frac{\text{R\$ } 9.366.187,82}{\text{R\$ } 1.212.453,86} = 7,72$$

O resultado anterior indica que, a cada 1 real investido, a Universidade Federal de Ouro Preto receberá, em valores presentes, R\$ 7,72.

#### 4.11 Relação Custo-Benefício (RCB)

Para se ter uma dimensão do quão benéfico foi o investimento em usinas solares fotovoltaicas para a UFOP, faz-se a seguinte conta:

$$\text{Relação Custo – Benefício} = \frac{\text{Valor do VPL acumulado no ano 25}}{\text{Investimento Inicial}}$$

$$\text{Relação Custo – Benefício} = \frac{\text{R\$ 8.153.733,96}}{\text{R\$ 1.212.453,86}} = 6,72$$

O valor de 6,72 implica em dizer que, em 25 anos de projeto, a UFOP terá um retorno econômico de 672% em relação ao investimento realizado.

#### 4.12 Resumo das informações obtidas pela análise econômica

Resumindo os resultados, a tabela 12 a seguir mostra os valores encontrados para o cenário base analisado:

Tabela 12- Resultados encontrados após realizada a análise econômica do sistema

<i>Payback</i>	VPL	TIR	ILP	RCB
7 anos, 1 mês e 15 dias	R\$8.153.732,96	26,88%	7,72	6,72

Fonte: Produzida pelo autor, 2023

## 5. CONCLUSÃO

Considerando o cenário estudado, conclui-se que a opção da Universidade Federal de Ouro Preto em ter realizado a instalação das usinas solares fotovoltaicas, por meio de um sistema conectado à rede da CEMIG (*on grid*) no Campus Morro do Cruzeiro foi extremamente assertiva. Isso porque, a Taxa Interna de Retorno do investimento é de 26,88% (muito superior às taxas de referência existentes), o Valor Presente Líquido é igual a R\$ 8.153.732,96 (oito milhões, cento e cinquenta e três mil, setecentos e trinta e dois reais e noventa e seis centavos) e o *Payback* estimado dar-se-á em 7,13 anos (7 anos, 1 mês e 15 dias), o que é comum para investimentos na casa de milhões de reais.

A UFOP, poderá, com as usinas, economizar um percentual significativo em sua conta de luz com os 26.719,33 kWh gerados, em média mensal, pelos módulos fotovoltaicos e que correspondem a R\$12.050,42 (doze mil, cinquenta reais e quarenta e dois centavos) a menos na conta. Aliado a isso, com a aprovação do projeto para ampliar a capacidade da usina de 351 kW para 801 kW, espera-se que seja ainda mais otimizada a economia e a produção de energia elétrica no Campus Morro do Cruzeiro.

É importante ressaltar que as placas, em um eventual futuro projeto, podem ser redirecionadas para o Norte, caso seja aprovada essa alteração, e instaladas em outros prédios. Isso porque, nos locais em que estão inseridas: Laboratórios da Escola de Minas e Centro Acadêmico de Educação a Distância, as mesmas se orientam nas direções leste-oeste e não se tem uma informação concisa nos documentos no que diz respeito ao ângulo em que foram instaladas. Desta forma, aumentando a capacidade instalada, as mesmas podem ter uma maximização sendo direcionadas para o sentido que mais potencializa a produção de energia e isso geraria ainda mais benefícios econômicos e sustentáveis para a UFOP.

Por outro lado, vale citar que hoje, a UFOP contrata uma demanda de 1200 kW todo o mês e chega, no máximo, a utilizar 850 kW. Sendo assim, a Universidade acaba pagando por essa diferença de 350 kW ou mais de acordo com o valor da tarifa e os impostos estabelecidos pela concessionária CEMIG do Estado de Minas Gerais. Logo, existe um prejuízo que também poderia ser reduzido caso fossem contratados de 950 a 1000kW. Isso porque, é necessário ter uma certa margem de segurança visto que, quando a instituição ultrapassa o potencial contratado (como já aconteceu em outras épocas), a multa acaba sendo maior e a Instituição fica ainda mais prejudicada.

Outros dados importantes a serem citados sobre o projeto tratam-se da relação

custo-benefício do projeto: 6,72. Isto é, em 25 anos (tempo de vida útil), o investimento de R\$1.212.453,86 (um milhão, duzentos e doze mil, quatrocentos e cinquenta e três mil reais e oitenta e seis centavos) se transformaria em R\$8.153.732,96 (oito milhões, cento e cinquenta e três mil, setecentos e trinta e dois reais e noventa e seis centavos) e o retorno seria de 672% em 25 anos. Além disso, o índice de lucratividade do projeto é de 7,72. Logo, conclui-se que o projeto é extremamente lucrativo e interessante para a Universidade. Isso porque, com o IL maior que 1 o projeto já deveria ser aceito.

Outra questão importante a ser ressaltada diz respeito ao plano da Universidade em trocar toda a iluminação externa de lâmpadas de vapor de sódio por LED. A partir de tal mudança, seria interessante analisar o comportamento dos gastos da UFOP com iluminação visto que, nos finais de semana, por exemplo, o gasto é majoritariamente com a forte iluminação ao redor dos prédios e nos caminhos seguros para pedestres.

Ficou evidente o quão importante é considerar a questão da variação dos impostos para a viabilidade do projeto. Isso se deve ao fato de que, à medida em que a energia elétrica aumenta ano após ano no Brasil, mais interessante se dará a possibilidade de investimento em energia solar fotovoltaica e menor será o tempo de retorno do mesmo. Ademais, para o prognóstico de realidade futura, considerou-se a bandeira Amarela pois a mesma apresenta maior estabilidade e se consolida como intermediária quando comparada com as outras que apresentam maiores variações.

Vale ressaltar que, por motivos de algumas dificuldades em obter alguns dados com mais precisão, optou-se por utilizar uma planilha automatizada e que atenderia o propósito de maneira mais assertiva, visto que, em alguns *softwares*, parâmetros diferentes e desconhecidos ou até mesmo não relatados em documentos eram pedidos. Dessa maneira, caso fosse utilizada outra ferramenta, a análise e os valores finais poderiam ficar comprometidos.

Por fim, fica notória a importância de se investir em fontes de energias renováveis quando se trata de Instituições de Ensino. Além da questão econômica que é tão relevante e que possibilita a utilização dos recursos públicos para outros fins e melhorias, existe também a consciência cada vez maior em relação ao meio ambiente e a propagação da ideia para todos aqueles que veem o projeto de maneira sustentável e notam que existe uma evolução de pensamento e de responsabilidade socioambiental da Universidade.

## **5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros:**

Faz –se necessário analisar o efeito econômico e a diminuição na conta de luz da Universidade Federal de Ouro Preto depois de realizada a ampliação da capacidade das usinas solares fotovoltaicas;

Além disso, seria importante realizar um estudo mais aprofundado a respeito do sequestro de carbono e do quão benéfico para o meio ambiente seria a instalação de mais módulos no Campus Morro do Cruzeiro;

Por fim, seria interessante fazer uma pesquisa comparativa relacionando o sistema da UFOP com projetos residenciais ou de empresas da região.

## 6. REFERÊNCIAS

ACADEMIA DO SOL. Módulo fotovoltaico: monocristalino ou policristalino. 2021. Disponível em <<https://academiadosol.com.br/blog/modulo-fotovoltaico/>>. Acessado em 3 de Fevereiro de 2023

ANEEL. Resolução Normativa No 482, de 17 de abril de 2012. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acessado em: 07 de Fevereiro de 2023.

AQUINO, A. F. GALVÃO, M. O etanol da Cana de Açúcar: Possibilidades Energéticas da Região de Ceará-Mirim-RN. Natal. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. HOLOS, vol. 1, 2014, pp. 105-125.

AZEVEDO, P.J.S. Uma análise dos efeitos da crise econômica-financeira sobre as políticas de incentivo às energias renováveis. [Dissertação] Universidade do Porto, 2013.

BARBOSA, C. F. O.; PINHO, J. T.; GALHARDO, M. A. B.; PEREIRA, E. J. S. Sistemas Híbridos de Energia: Aplicações e Estudos no Brasil. Congresso Brasileiro de Energia Solar, VI, Belo Horizonte, 2016.

BHATTI, T.S., AL-ADEMI, A.A.F., BANSAL, N.K., Load frequency control of isolated wind diesel hybrid power systems. Energy Conversion and Management. v.9, n.38, p.829-837, 1997.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 2016. Disponível em: <[https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88\\_Livro\\_EC91\\_2016.pdf](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf)>. Acessado em: 8 de Janeiro de 2023.

BRASIL (2020). Decreto nº 10.387 de 05 de junho de 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/d10387.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10387.htm). Acesso em 14 de Março de 2023.

CABRAL, Lígia Maria Martins et al. Panorama do setor de energia elétrica no Brasil. Rio de Janeiro: Memória da Eletricidade, 1988.

CANAL SOLAR. Inversor Solar, o que é e para que serve? 2022. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/inversor-solar-o-que-e-e-pra-que-serve/>>. Acessado em 19 de Dezembro de 2022.

CNN BRASIL. Energia elétrica aumentou mais que o dobro da inflação nos últimos anos. 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/energia-eletrica-aumentou-mais-do-que-o-dobro-da-inflacao-nos-ultimos-anos/>>. Acessado em 5 de Dezembro de 2023.

COPETTI, Jacqueline. MACAGNAN, Maria. Baterias em Sistemas Solares Fotovoltaicos. Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS. Nov. 2007. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1726>>. Acessado em 20 de

Novembro de 2022

CORRÊA, Maria Letícia. Contribuição para uma história da regulamentação do setor de energia elétrica no Brasil: o Código de Águas de 1934 e o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Política e Sociedade**, n. 6, p. 19, abr. 2005. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br>>. Acessado em 10 de Janeiro de 2023.

COSTA, Ricardo Cunha da; PRATES, Cláudia Pimentel Trindade. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 21, p. 5-30, mar. 2005

CUBI ENERGIA. Enquadramento tarifário Azul vs. Verde: qual o melhor?. 2020. Disponível em: < <https://www.cubienergia.com/enquadramento-tarifario-azul-verde/> > Acessado em: 10 de Março de 2023.

CRESESB. Potencial Solar SunData v 3.0. 2023. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata> >. Acessado em 7 de Dezembro de 2022.

ECOSIS. Sistema de energia solar é utilizado para bombear água. 2019. Disponível em: < <https://ecosis.com/noticias/responsabilidade-socioambiental/sistema-de-energia-solar-e-utilizado-para-bombear-agua/> > Acessado em 20 de Dezembro de 2022.

ELETROBRAS. Energia Limpa. 2018. Disponível em: < <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Energia-Limpa.aspx> >. Acessado em 18 de Dezembro de 2022.

ELETROBRAS. Projeto inédito de geração solar em hidrelétricas inicia em Balbina. 2016. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Lists/noticias/ExibeNoticias.aspx?ID=163>>. Acessado em 10 de Dezembro de 2022

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Matriz energética e elétrica. 2022. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> >. Acessado em 8 de Dezembro de 2022.

FARIAS, L. M; SELITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011. Disponível em: [https://revista.liberato.com.br/ojs\\_lib/index.php/revista/article/view/164](https://revista.liberato.com.br/ojs_lib/index.php/revista/article/view/164). Acessado em: 24 de Fevereiro de 2023..

FREITAS, S. M. de; FREDO, C. E. Fontes energéticas e o Protocolo de Kyoto: a posição do Brasil. **Informações Econômicas**, SP, v.35, n.5, maio 2005. Disponível em: [:www.iea.sp.gov.br/OUT/publicacoes/pdf/seto3-0505.pdf&cd=1&hl=pt-](http://www.iea.sp.gov.br/OUT/publicacoes/pdf/seto3-0505.pdf&cd=1&hl=pt-)

[BR&ct=clnk&gl=br](#). Acessado em: 24 de fevereiro de 2023.

GITMAN, Lawrence J. Princípios de Administração Financeira – Essencial. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001

GOLDEMBERG, José. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. São Paulo: Edusp, 1998. 234 p.

GOODWE. Inversores Goodwe. 2023. Disponível em: < [https://br.goodwe.com/ht-series-three-phase-commercial-and-industrial-solar-inverter?gclid=CjwKCAjwiOCgBhAgEiwAjv5whHgqDTIH6zWv\\_RAiNWYoakt-0aSv-Gz2Bar9aiJeRORyRCflyE7syhoCtwQQAuD\\_BwE](https://br.goodwe.com/ht-series-three-phase-commercial-and-industrial-solar-inverter?gclid=CjwKCAjwiOCgBhAgEiwAjv5whHgqDTIH6zWv_RAiNWYoakt-0aSv-Gz2Bar9aiJeRORyRCflyE7syhoCtwQQAuD_BwE) > Acessado em 15 de fevereiro de 2023.

GOOGLE INC. Google Maps. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps> > Acessado em 11 de janeiro de 2023.

GUIMARÃES, Daiane Costa. O impacto da aplicabilidade de tecnologia de placa fotovoltaica voltada para residência familiar usando prospecção tecnológica. 2016. 79 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência da Propriedade Intelectual) - Pós-Graduação em Ciência da Propriedade Intelectual. Universidade Federal de Sergipe – UFS. Disponível em: < [https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/3431/1/DAIANE\\_COSTA\\_GUIMARAES.pdf](https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/3431/1/DAIANE_COSTA_GUIMARAES.pdf) >. Acessado em 04 de dezembro de 2023.

HOMERO. A Odisseia. (Sec. VIII A. C.) Disponível em: <http://www.ebooksbrasil.org/eLibris/odisseiap.html>. Acesso em 24 de fevereiro 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Brasil investe pouco em energias alternativas Pesquisador do Ipea lança estudo inédito com panorama sobre os investimentos em energias renováveis na última década. 2015. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&id=3154](https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=3154) > . Acessado em 20 de janeiro de 2023.

LEMES JÚNIOR, A. B. et al. . Administração financeira – princípios, fundamentos e práticas brasileiras . Rio de Janeiro: Campus, 2002 . 698 p

LIMA, José Luiz; PENNA, João Camilo; CAMAZZATO, Izaltino. A trajetória do setor de energia elétrica na década de 1980. In: CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE NOBRASIL. Rio de Janeiro: CMEB, 1995. p. 87-122.

LIMA, José Luiz. Políticas de governo e desenvolvimento do setor de energia elétrica: do Código de Águas à crise dos anos 80 (1934-1984). Rio de Janeiro: Memória da Eletricidade, 1995

Parâmetros de Custo: Geração e Transmissão - Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia. 2031. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao607/topico591/Caderno%20de%20>

[Par% C3% A2metros% 20de% 20Custos% 20-% 20PDE2031.pdf](#) >. Acessado em 20 de Janeiro de 2023.

PARIZOTTO, Vinicius Z. De Consumidor a Agente Ativo no Mercado de Energia Elétrica no Território Brasileiro: uma revisão da literatura. Universidade Federal de Santa Catarina. Blumenau, 2022.

PORTAL SOLAR. Governo vai lançar programa de incentivo à energia solar. 2020. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/noticias/materias/bolsonaro-vai-lancar-programa-de-incentivo-a-energia-solar> >. Acessado em 10 de Janeiro de 2023

QUANTUM ENGENHARIA. História da energia solar fotovoltaica: Como a evolução tecnológica vem ampliando o acesso à essa fonte sustentável de energia. 2020. Disponível em: < <https://www.quantumengenharia.net.br/historia-da-energia-solar-fotovoltaica/> >. Acessado em 30 de Janeiro de 2023.

Relatório de Manutenção emitido pela UFOP para a empresa contratada MTEC Energia Eireli. Disponibilizado pelo Engenheiro Eletricista Paulo Eduardo Viana, 2022.

RUTHER, Ricardo. Edifícios Solares Fotovoltaicos. 1. Ed. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR, 2004.

SALES, Talison. O Uso da Energia Solar nas Obras Civas: Um estudo sobre o aquecimento de água por sistema de coletores solares em edifícios residenciais. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Sul de Santa Catarina.

SANTOS, J; TORRES, E. Panorama das Usinas Híbridas Eólico-Solares no Brasil. Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia, 2021.

SHAREENERGY. Como Funcionam os Sistemas Fotovoltaicos *Off-Grid*? 2020. Disponível em: < <https://www.shareenergy.com.br/como-funcionam-os-sistemas-fotovoltaicos-off-grid/> >. Acessado em 30 de Novembro de 2022.

SZMRECSÁNYI, Tamás. **Growth and crisis of the brazilian sugar industry , 1914-39**. . São Paulo: Ipe-Usp. . Acesso em: 20 mar. 2023. , 1986

TESSMER, Hélio. Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem. **Revista Liberato** v.3 n.3 (2002). Disponível em: <http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/01310107160904.pdf>. Acesso em 24 de fevereiro de 2023.

TOLMASQUIM, Mauricio T. Energia Renovável – Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. 1. Ed. Rio de Janeiro: EPE, 2016

Termo de Contrato Número 009/2020. UFOP. Processo número 23109.004064/2019-95. Disponível em < [www.ufop.br](http://www.ufop.br) >. Acessado em 10 de Janeiro de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. UFOP implanta painéis fotovoltaicos na busca por economia e redução de impactos. 2021. Disponível em: < <https://ufop.br/noticias/institucional/ufop-implanta-paineis-fotovoltaicos-na-busca-por-economia-e-reducao-de> >. Acessado em 15 de Novembro de 2022.

VALOR ECONÔMICO. Consumo de energia elétrica em Abril foi o maior para o mês da série histórica. 2022. Disponível em: <<https://valor.globo.com/brasil/noticia/2022/05/31/consumo-de-energia-eletrica-em-abril-foi-o-maior-para-o-mes-da-serie-historica.ghml>> . Acessado em 6 de Fevereiro de 2023.

VILELA, Claver. Noções de Administração Financeira de Longo Prazo. Universidade Federal de Ouro Preto. 2022.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações - Sistemas Isolados e Conectados à Rede. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015

VILLALVA, Marcelo Gradella. Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações – Sistemas Isolados e Conectados à Rede 2. Ed. São Paulo: Érica, 2022