



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ERMESON RODRIGUES DA SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM PROJETO DE MICROGERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA E UM PROJETO MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

**FORTALEZA**

**2022**

ERMESON RODRIGUES DA SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM PROJETO DE MICROGERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA E UM PROJETO MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral Câmara

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S579a Silva, Ermeson Rodrigues da.

Análise comparativa entre um projeto de microgeração fotovoltaica e um projeto microgeração fotovoltaica com eficiência energética / Ermeson Rodrigues da Silva. – 2022.  
51 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Raphael Amaral Câmara.

1. Eficiência Energética. 2. Microgeração. 3. Fotovoltaico. I. Título.

CDD 621.3

---

ERMESON RODRIGUES DA SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM PROJETO DE  
MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA E UM PROJETO MICROGERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA COM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Aprovado em 15/12/2022

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Raphael Amaral Câmara (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fernando Luiz Marcelo Antunes (UFC)

---

Eng. Davi Freire Silvino

A Deus.

À minha esposa, Ana luisa.

Aos meus filhos, Luís Eduardo e Mariana.

Aos meus pais, Cleene e Erivaldo (*in memoriam*).

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me dar sabedoria, perseverança e ajuda para superar todos os desafios que eu encontrei ao longo do curso.

A minha esposa, que sempre me apoiou e incentivou. A meus filhos, que foram meu maior incentivo para concluir o curso.

A minha mãe que me criou e sempre me deu conselhos para alcançar uma formação.

Aos professores e orientadores que me instruíram, ensinaram e corrigiram durante todo o curso para que eu pudesse finalizá-lo da melhor maneira possível.

“Um dia, quando olhares para trás, verás que os dias  
mais belos foram aqueles em que lutaste”

**Sigmund Freud**

## RESUMO

A Universidade Federal do Ceará teve um orçamento de 169 milhões de reais para as obrigações da universidade no ano de 2022, desse valor aproximadamente 11% foram gastos com pagamento da energia elétrica. É preciso um estudo sobre o uso eficiente da energia, para reduzir essa parcela do orçamento e o desperdício de energia elétrica. Uma boa alternativa é a implantação de um sistema de geração solar fotovoltaica, pois o estado do Ceará mostra-se bastante atrativo para a instalação de sistemas fotovoltaicos por apresentar índices de irradiação solar altos durante todo o ano. Diante disso, este trabalho tem por objetivo trazer uma análise de viabilidade econômica para procedimentos de eficiência energética adotados junto com a instalação de uma microgeração de energia elétrica através de módulos fotovoltaicos. Para o estudo dessa viabilidade econômica fez-se necessário a obtenção dos dados de consumo e das cargas do objeto de estudo que será a Faculdade de Direito da Universidade Federal do Ceará, que foram obtidas por visitas técnicas e entrevistas com funcionários. Utilizou-se de indicadores econômicos como o valor presente líquido e o retorno sobre investimento para confirmar as previsões do estudo.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Microgeração. Fotovoltaico.



## **ABSTRACT**

The Federal University of Ceará had a budget of 169 million reais for the university's obligations in 2022, of which approximately 11% was spent on paying for electricity. A study on the efficient use of energy is needed to reduce this portion of the budget and the waste of electrical energy. A good alternative is the implementation of a photovoltaic solar generation system, as the state of Ceará is very attractive for the installation of photovoltaic systems due to its high levels of solar radiation throughout the year. Therefore, this work aims to bring an economic feasibility analysis for energy efficiency procedures adopted along with the installation of a microgeneration of electricity through photovoltaic modules. For the study of this economic viability, it was necessary to obtain data on consumption and loads of the object of study that will be , which were obtained through technical visits and interviews with employees. Economic indicators such as net present value and return on investment were used to confirm the study's predictions.

**Key words:** Energy Efficiency. Microgeneration. Photovoltaic.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira 2021 .....	18
Figura 2 – Geração de energia elétrica: fontes não renováveis. ....	19
Figura 3 – Variação % do consumo setorial de Eletricidade .....	19
Figura 4 – Sistema on-grid com compensação de energia elétrica.....	23
Figura 5 – Células de silício cristalizado. ....	24
Figura 6 – Aproveitamento da radiação solar por células fotovoltaicas.....	25
Figura 7 – Faculdade de Direito UFC.....	28
Figura 8 – Bloco 01 da Faculdade de Direito da UFC. ....	29
Figura 9 – Bloco 02 da Faculdade de Direito da UFC. ....	30
Figura 10 – Sala de aula da Faculdade de Direito da UFC. ....	32
Figura 11 – Fatura da energia elétrica do mês de novembro de 2022 .....	36
Figura 12 – Histórico do faturamento .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados Gerais do projeto.....	29
Tabela 2 – Dados de ar-condicionado.....	35
Tabela 3 – Dados de ar-condicionado para retrofit. ....	37
Tabela 4 – Custos de substituição dos ares-condicionados.....	37
Tabela 5 – Custos do sistema fotovoltaico sem EE. ....	40
Tabela 6 – Custos do sistema fotovoltaico com EE. ....	42
Tabela 7 – Indicadores de viabilidade sistema fotovoltaico sem EE. ....	43
Tabela 8 – Análise de viabilidade financeira sem EE.....	45
Tabela 9 – Custos sistema fotovoltaico com EE. ....	46
Tabela 10 – Indicadores de viabilidade sistema fotovoltaico com EE. ....	47

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Quantidade de luminárias de LED e Fluorescente.....	31
Gráfico 2 – Quantidade de ares-condicionados .....	33
Gráfico 3 – Estimativa de Consumo x Geração.....	41
Gráfico 4 – Fluxo de Caixa.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
UFC	Universidade Federal do Ceará
BEN2022	Balanço Energético Nacional 2022
tep	Tonelada equivalente de petróleo
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PNE2030	Plano Nacional de Energia 2030
MME	Ministério de Minas e Energia
EE	Eficiência Energética
PEE	Programa de Eficiência Energética
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
CONPET	Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados de Petróleo e Gás
Natural	
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
VPL	Valor presente líquido
ROI	Retorno Sobre Investimentos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos .....	16
2.3	Justificativa e Relevância .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
3.1	Matriz Energética Do Brasil .....	18
3.2	Eficiência Energética .....	20
3.2.1	Programas De Eficiência Energética No Brasil .....	20
3.3	Energia Solar Fotovoltaica.....	21
3.3.1	Efeito Fotoelétrico.....	22
3.3.2	Geração De Energia Fotovoltaica .....	22
3.3.2.1	Geração On-Grid .....	23
3.3.2.2	Geração Off-Grid.....	23
3.3.3	Células Fotovoltaicas .....	24
3.3.4	Regulamentação Do Sistema Gerador Fotovoltaico .....	25
3.4	Análise de Investimento .....	25
3.4.1	Fluxo de Caixa .....	26
3.4.2	Valor Presente Líquido .....	26
3.4.3	Retorno Sobre Investimento .....	26
3.4.4	Payback.....	27
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
4.1	Abordagem .....	27
4.2	Método De Abordagem .....	27
<b>5</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO .....</b>	<b>28</b>
5.1	Análise Dos Usos E Consumos De Energia.....	30
5.1.1	Cargas De Iluminação .....	31
5.1.2	Cargas De Ar-Condicionado.....	32
5.2	Análise De Conservação De Energia.....	33
<b>6</b>	<b>VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRO .....</b>	<b>36</b>
6.1	Retrofit Ar-Condicionado.....	36
6.2	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	37

<b>6.3</b>	<b>Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico com Retrofit dos ares- condicionados.....</b>	<b>41</b>
<b>6.4</b>	<b>Análise de viabilidade.....</b>	<b>42</b>
<b>6.4.1</b>	<b>Viabilidade da microgeração fotovoltaica .....</b>	<b>42</b>
<b>6.4.2</b>	<b>Viabilidade da microgeração fotovoltaica com EE.....</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
	<b>ANEXO A –Módulo Solar Osda – 550W .....</b>	<b>50</b>
	<b>ANEXO B – Inversor Solar Trifásico 60kW Kehua Tech.....</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXO C – Inversor Solar Trifásico 50kW Kehua Tech.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O conceito de energia é bem amplo, engloba diversas formas como: energia mecânica, térmica, elétrica etc. Contudo, todas possuem algo em comum, a sua necessidade. A energia é de suma importância para a existência, toda natureza carece de energia. As fontes de energia se dividem em renováveis e não renováveis.

As fontes de energia não renováveis são finitas, ou seja, esgotáveis, um dia irão acabar, pois o consumo é bem mais rápido que a produção, algumas dessas fontes levam milhões de anos em seu processo de produção. Podemos incluir nesse grupo o petróleo, carvão mineral, gás natural etc. Esse grupo é responsável pela produção de 86% da energia consumida no mundo, segundo dados da Matriz Energética 2022 feito pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), por esse dado conclui-se a importância de se falar em eficiência de energia e principalmente em energias renováveis.

No entanto, as fontes de energia renováveis são inesgotáveis, pode-se citar a fonte hídrica, solar, eólica, biomassa, geotérmica e oceânica. Mesmo sendo fontes inesgotáveis, representam aproximadamente 14% da energia consumida no mundo segundo a EPE. Uma desvantagem dessas fontes são a inconstância durante o ano na geração de energia, por exemplo a hídrica, em períodos de estiagens (seca), com os reservatórios com baixo nível, não é possível produzir a quantidade de energia necessária, o mesmo ocorre com a eólica, quando tem pouco vento e a solar durante a noite.

O Brasil tem sido exemplo de energia limpa, sendo 46% da matriz energética brasileira composta por fontes renováveis. Na matriz elétrica brasileira de 2021, ano referência na pesquisa da EPE, 56,8% provem da hídrica e apenas 2,5% provem da solar.

O uso da energia elétrica vem aumentando consideravelmente com o avanço da tecnologia, com isso as preocupações ambientais aumentam, pois, as energias não renováveis são responsáveis pela maior liberação de gases do efeito estufa. O estudo de eficiência energética é muito importante não apenas para o viés financeiro, visando reduzir o gasto com energia, mas também na correta utilização dessas fontes tão preciosas, para que se evite o desperdício e se tenha um sistema sustentável.



## **2 OBJETIVOS**

Nos dois tópicos subsequentes, são apresentados os objetivos gerais e específicos para o presente estudo.

### **2.1 *Objetivo Geral***

Realizar um estudo de viabilidade, financeira e econômica, para implantação de uma geração de energia solar, microgeração, sendo realizado um estudo de eficiência energética comparado com um sem aplicação de eficiência energética, que terão por objetivo suprir a demanda da Faculdade de Direito da Universidade Federal do Ceará (UFC).

### **2.2 *Objetivos Específicos***

- Conhecer os conceitos e metodologias de cálculo sobre eficiência energética;
- Conhecer os conceitos, metodologias de cálculo e equipamentos sobre microgeração fotovoltaica;
- Analisar o consumo de energia da Faculdade de Direito da Universidade Federal do Ceará;
- Propor recomendações técnicas para a eficiência do consumo de energia;
- Analisar o custo de implantação das propostas de eficiência;
- Fazer um estudo comparativo dos custos de implementação do sistema fotovoltaico obtidos com e sem a proposta técnica de eficiência recomendada.

### **2.3 *Justificativa e Relevância***

Para o ano de 2022, em uma consulta no site da Pró-reitoria de Planejamento e Administração, é encontrado o orçamento de 169 milhões de reais para as obrigações da universidade. O gasto com o consumo de energia elétrica da UFC no mês de novembro foi de R\$ 636.072,67 na tarifa horária azul, que corresponde a linha de 69kV e de R\$ 908.420,88 na tarifa horária verde que corresponde a alimentação de 13.8 kV, em resumo, o custo total de energia no mês de novembro foi de aproximadamente 1,5 milhões de reais. Analisando o custo anual percebe-se que quase 11% do orçamento das despesas é com pagamento das faturas de

energia elétrica.

É necessário que seja feito um estudo de eficiência energética para reduzir não só essa parcela tão grande do orçamento, como também o desperdício de nossas reservas de energia.

Com isso, o presente trabalho, consistiu na viabilidade econômica de uma auditoria de eficiência energética antes da implantação de um sistema de microgeração na Faculdade de Direito da UFC, objetivando reduzir o desperdício e os custos com energia elétrica assim como reduzir o custo do sistema fotovoltaico a ser instalado.

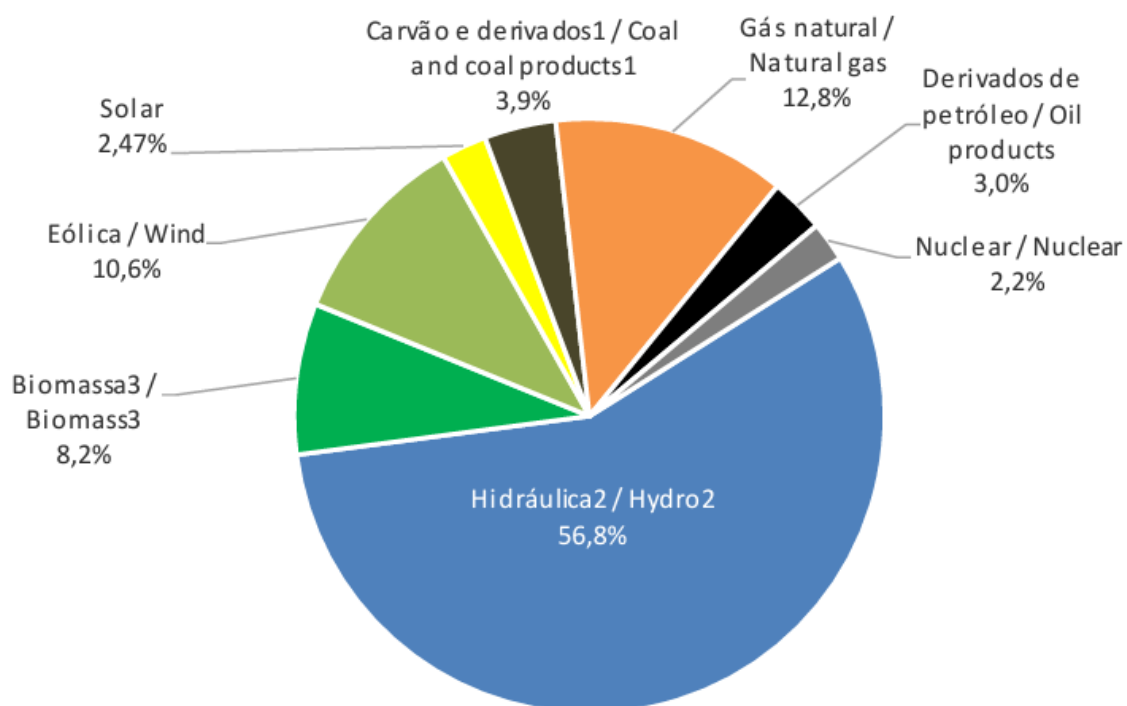
### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Matriz Energética Do Brasil

Conforme o Balanço Energético Nacional 2022 (BEN2022), que tem como ano base 2021, a oferta interna de energia atingiu 301,5 Mtep, um aumento de 4,31% em relação ao ano de 2020, que foi marcado por uma pandemia.

A geração de energia elétrica no Brasil atingiu 656,1 TWh em 2021, resultado 4% acima do que o ano de 2020 (EPE,2022).

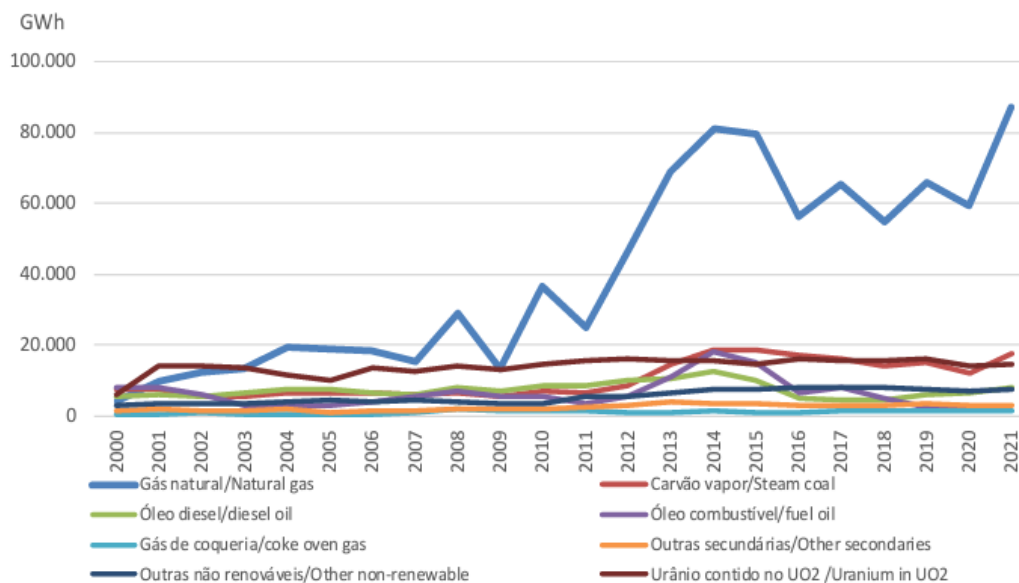
Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira 2021



**Fonte:** EPE, Balanço Energético Nacional 2022

A matriz elétrica brasileira é predominantemente renovável, com 78,1% da oferta interna de eletricidade, esse valor teve uma queda comparado ao ano de 2020, com essa queda as fontes não renováveis representou 22,6% do total nacional, contra 16,8% em 2020.

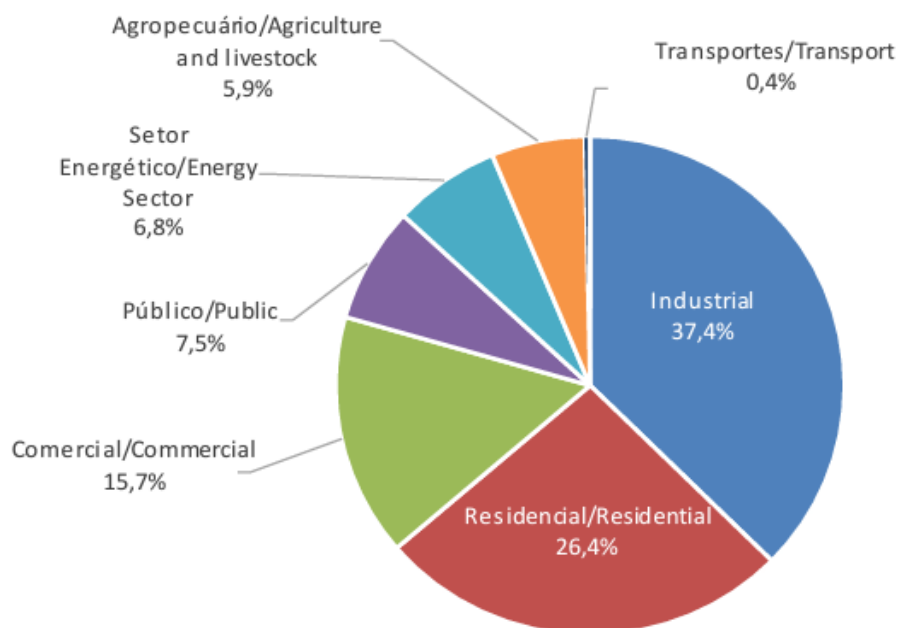
Figura 2 – Geração de energia elétrica: fontes não renováveis.



Fonte: EPE, Balanço Energético Nacional 2022

O consumo final energético também teve um aumento em relação ao ano anterior, de 5,7%, chegando em 570,8 TWh. Os setores que mais contribuíram para esse consumo foram o industrial e o residencial, com uma participação respectiva de 37% e 26%.

Figura 3 – Variação % do consumo setorial de Eletricidade



Fonte: EPE, Balanço Energético Nacional 2022

## 3.2 Eficiência Energética

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), eficiência energética seria um conjunto de ações multidisciplinar que resultam na redução da energia necessária para atender as demandas de uma sociedade. Tem como objetivo atender a essas necessidades com economia e com menos impacto a natureza. Neste documento explica-se que:

A oferta de um serviço de energia exige uma cadeia de transformações, transporte e estocagem com origem nas fontes primárias, ou seja, nas formas disponíveis na natureza tanto de origem renovável (solar direta, eólica, hidráulica, cana de açúcar e madeira) quanto não renovável (petróleo, gás natural, carvão mineral e nuclear). As ações de EE compreendem modificações ou aperfeiçoamentos tecnológicos ao longo da cadeia, mas podem também resultar de uma melhor organização, conservação e gestão energética por parte das entidades que a compõem. Devem ser privilegiadas todas as ações que, na margem, tenham um custo inferior ao necessário para suprir a energia economizada. (PNEf)

Com a elaboração do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE2030), conduzido pela EPE em estreita vinculação com o Ministério de Minas e Energia (MME), que visa uma expansão da oferta de energia de maneira econômica e sustentável, a Eficiência Energética (EE) se tornou a ferramenta para se atingir os objetivos propostos.

A EE combate diretamente a emissão de gases de efeito estufa, visto que as energias não renováveis são as maiores contribuidoras para liberação desses gases, ajudando, assim na mitigação das mudanças climáticas. Essa redução se dá pelo fato da EE proporcionar um menor uso de energia para atingir o mesmo nível de demanda.

### 3.2.1 *Programas De Eficiência Energética No Brasil*

O Brasil ao longo dos anos desenvolveu diversas ações de EE, entre elas se destacam: o Programa de Eficiência Energética (PEE), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), e o Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET).

O PEE é um programa regulado e fiscalizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que tem por objetivo promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia nacional. Com o advento da Lei nº 9991/2000, as concessionárias e

permissionárias ficam obrigadas a investir uma parcela de sua receita líquida anual com pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico.

O Procel é um programa realizado pela Eletrobras, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, instituído em 1985 com o objetivo de combater o desperdício de energia elétrica e promover o seu uso eficiente. As áreas de atuação desse programa são em equipamentos, através do Selo Procel, classificando os equipamentos em uma escala de A a D, de acordo com seu consumo energético; nas edificações por meio de recomendações especializadas e simuladores promovendo o uso eficiente de energia nas construções civis; na iluminação pública substituindo equipamentos e fazendo melhoria nas instalações; no poder público através de capacitação para o planejamento de projetos eficientes nos municípios; na indústria e comércio promovendo capacitação para reduzir o desperdício de energia no setor; e no conhecimento, promovendo ações educacionais no ensino sobre qualidade em eficiência energética.

O PBE é um programa coordenado pelo Inmetro e tem como objetivo fornecer informações sobre o desempenho dos produtos, proporcionando conhecimento para que os clientes possam fazer escolha mais consciente sobre qual produto comprar. Esse programa caminha junto com o Procel, pois o Selo Procel também faz parte dessas informações dada aos clientes.

O CONPET, ou selo CONPET de Eficiência Energética, é destinado aos equipamentos que consomem derivados de petróleo ou de gás natural, objetivando o menor índice de consumo. Também funciona junto com o PBE.

### **3.3 Energia Solar Fotovoltaica**

O sol é o coração do sistema solar, é maior estrela do nosso sistema. Ele libera certa de  $4 \times 10^{26}$  W por segundo, mas apenas uma ínfima parcela dessa energia chega na Terra, porém, é o equivalente a 10 bilhões de Itaipus.

A origem da energia fotovoltaica teve seu marco com o físico francês Alexandre Edmond Becquerel, após pesquisas realizadas em 1839, em que foi descoberto o efeito fotovoltaico. A primeira célula fotovoltaica surgiu alguns anos depois, em 1883, por Charles Fritts. Com o passar do tempo foi descoberto o processo de dopagem do silício e desenvolvido as primeiras placas de silício em 1954, um sistema já parecido com o que existe nos tempos atuais.

Temos uma fonte de energia infinita disponível todos os dias, e está crescendo cada vez mais a sua exploração através dos painéis fotovoltaicos. Como apresentado anteriormente a geração de energia solar foi responsável pela geração de 2,47% da matriz de energia elétrica do Brasil do ano de 2021, a geração fotovoltaica foi responsável por 88,3% da energia gerada por Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), um aumento de 84% em relação ao ano de 2020 (EPE, 2022). Existe também um estudo feito pelo Ministério de Minas e Energia (MME), a estimativa é que 18% das residências, até o ano de 2050, contarão com este sistema de microgeração.

Vale esclarecer que existe dois enquadramentos desse tipo de geração de energia, a micro e a minigeração. Sendo a microgeração para potências instaladas menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto a minigeração é para centrais geradoras superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW.

### ***3.3.1 Efeito Fotoelétrico***

O efeito fotoelétrico é a geração de corrente elétrica através da exposição à luz, não só do sol, mas de qualquer fonte, de um material semicondutor, como por exemplo o Silício. Este material é encontrado de forma abundante na natureza e quando beneficiado de forma correta, pode atingir um altíssimo grau de pureza. A estrutura desses semicondutores é formada por uma banda de valência e uma de condução separados por um “gap”, que seria uma lacuna entre as duas bandas. A banda de valência é carregada por elétrons livres em abundância, enquanto a banda de condução é deficitária de elétrons. Quando expostos à luz, esses elétrons absorvem a energia dos fótons e quando possuem energia suficiente para saltar o “gap” culmina na passagem dos elétrons da camada de valência para a camada de condução, essa movimentação dos elétrons entre as bandas é que faz com que o processo aconteça, dando origem a um campo elétrico interior à junção. Por conseguinte, uma corrente elétrica tende a atravessar a carga externa. A variação desta corrente em relação à carga dependerá da intensidade luminosa disponível (TOLMASQUIN, 2003).

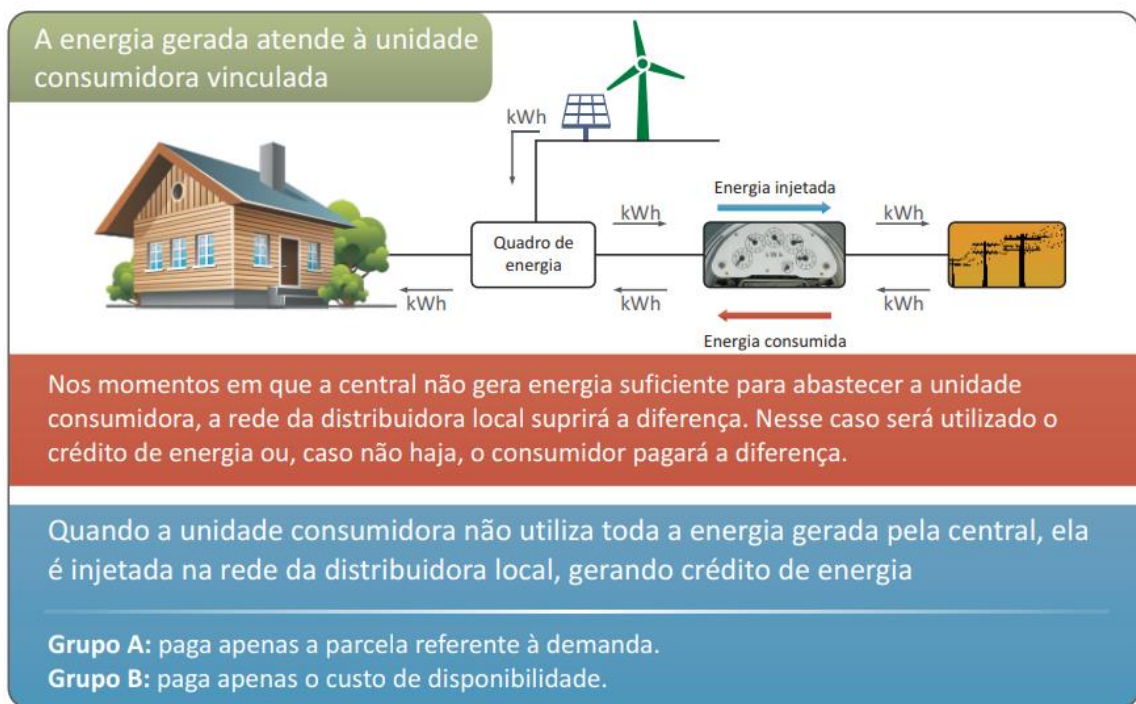
### ***3.3.2 Geração De Energia Fotovoltaica***

A geração de energia fotovoltaica pode ser dividida em duas categorias, a saber: off-grid e on-grid. A escolha de um dos sistemas impactará diretamente no custo geral do sistema.

### 3.3.2.1 Geração On-Grid

Em uma tradução direta, on-grid: na rede. Esse sistema está ligado diretamente à rede pública de energia. Traz, assim, uma maior segurança para o usuário, pois em uma possível falta da geração fotovoltaica ou em momentos de baixa produção, o sistema da rede pública de energia supre a demanda. Este sistema também é mais barato, por não precisar armazenar a energia gerada.

Figura 4 – Sistema on-grid com compensação de energia elétrica.



**Fonte:** Caderno Temático ANEEL - Micro e Minigeração Distribuída, 2016

Nesse sistema é possível fazer a compensação de energia, em que quando a unidade consumidora não consome toda a energia gerada pelos painéis, ela é injetada na rede, gerando créditos de energia que podem ser usados em um momento posterior, abatendo do custo cobrado por uma utilização da energia advinda da concessionária de energia.

### 3.3.2.2 Geração Off-Grid

Já a geração off-grid não é conectada a rede pública de energia, sendo necessário armazenamento da energia gerada em bancos de baterias. Por esse fato, esse sistema se torna mais caro, pois as baterias encarecem o projeto e sua vida útil é de 3 a 5 anos. Esse sistema é



utilizado em áreas remotas, que não possuem uma rede de energia próxima.

### 3.3.3 Células Fotovoltaicas

Existem diversos tipos de materiais usados nas células fotovoltaicas, contudo, os mais utilizados atualmente são: silício cristalino, que pode ser de dois tipos monocristalino (m-Si) ou policristalino (p-Si), e os filmes finos, que podem ser fabricados por diversos tipos de materiais, dentre eles o disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe). Em termos de viabilidade econômica e energética, é importante verificar a eficiência de conversão de energia solar em elétrica para cada tecnologia de células fotovoltaicas. Desses materiais o que é mais utilizado é o silício, por ser uma matéria prima fácil de achar na natureza, e abundante e pode-se conseguir até 99,9999% de pureza em sua dopagem.

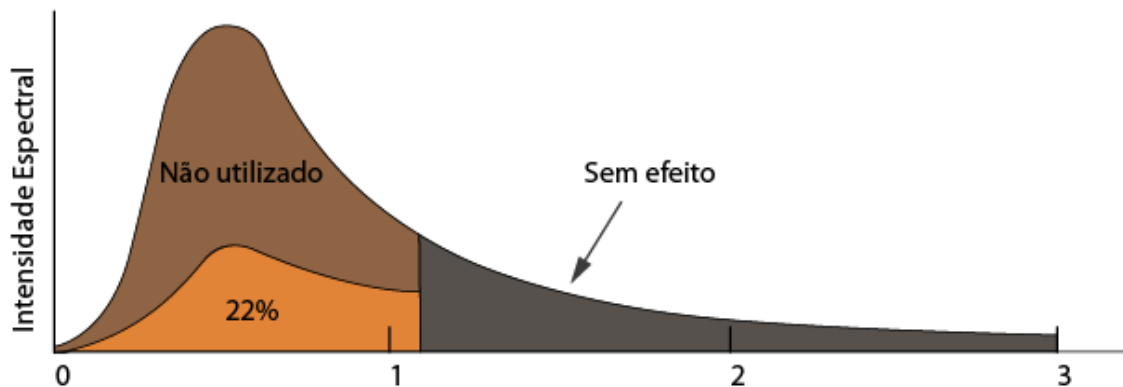
Figura 5 – Células de silício cristalizado.



Fonte: GreenPro/Suniva ([www.suniva.com](http://www.suniva.com))

Estas células de silício cristalizado possuem uma faixa muito estreita de absorção da radiação solar. Os fótons com energia inferior a necessária, que são próximos a luz infravermelha, não fornecem energia suficiente para que os elétrons orbitem as camadas de valência e de condução, essa energia é transformada em calor. Da mesma forma, os fótons com energia superior, próximos da luz ultravioleta, fornecem energia em excesso, que é transformada em calor. E mesmo os fótons dentro da faixa aproveitável, alguns não possuem a energia correta para o efeito, os que possuem mais energia contribuem também para a geração de calor.

Figura 6 – Aproveitamento da radiação solar por células fotovoltaicas



Fonte: CRESESB

### 3.3.4 Regulamentação Do Sistema Gerador Fotovoltaico

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou a Resolução Normativa (REN) n° 482/2012, que regulamenta o acesso a rede de distribuição para conexões de micro e minigeração de energia e quanto ao sistema de compensação de créditos. Em 2015 foi publicada a REN 687/2015 que aprimorou a REN 482/2012, determinando os limites de micro e minigeração, ficando a microgeração para potências de até 75kW e a minigeração para geradores acima de 75kW e menor ou igual a 5MW (ANEEL, 2016).

A REN 482/2012 regulamenta o sistema de compensação, conhecido como tarifação *net metering*, em que o excedente de energia gerada vira um saldo computado pela concessionária em créditos para o consumidor, podendo ser utilizado em até 60 meses, esse excesso pode ser rateado em porcentagens diferentes para outras Unidades Consumidoras (UCs), desde que o titular da conta seja a mesma pessoa física, ou pode ser divididas em porcentagens pré-acordadas em acordo jurídico que comprove a responsabilidade solidária dos participantes (ANEEL, 2012).

### 3.3.5

## 3.4 Análise de Investimento

Um investimento consiste em uma aplicação de recursos, como tempo, dinheiro etc., na esperança de um retorno, seja em serviço, benfeitoria ou um bem material, que visa gerar lucros ou ampliar o lucro inicial.

No sistema capitalista, objetiva-se buscar a maior lucratividade com menores custos. Um investimento geralmente é uma aplicação que envolve diversos riscos, com isso não se pode afirmar com exatidão o lucro que retornará, mas através de indicadores é possível prever esses valores.

### **3.4.1 Fluxo de Caixa**

Refere-se ao fluxo de dinheiro no caixa da organização, ou seja, é o montante de dinheiro que movimentado durante um período, podendo ser utilizado em análise de projetos, como será utilizado em capítulo posterior.

Para sua elaboração são considerados apenas os valores que entram e saem, como exemplo o valor do investimento como saída e os retornos financeiros desse investimento como entradas.

### **3.4.2 Valor Presente Líquido**

Ao muito falado na economia é que dinheiro tem valor no tempo, por isso se fez necessário uma fórmula matemática para poder trazer valores futuros para o tempo atual, essa fórmula é conhecida como valor presente líquido. Essa fórmula é dada por:

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

Onde VPL é o valor presente líquido; FC é o fluxo de caixa; i é taxa de atratividade do investimento e t é o período do investimento.

Se o  $VPL > 0$  o investimento é atrativo; se o  $VPL = 0$  consiste em uma oportunidade de investimento viável, pois o saldo é suficiente para cobrir os custos; e  $VPL < 0$  consiste em uma oportunidade de investimento inviável.

### **3.4.3 Retorno Sobre Investimento**

Também conhecido como ROI, que vem do inglês “Return Over Investment”, é um indicador usado para saber qual foi resultado financeiro do investimento, podendo ser positivo ou negativo, indicando, assim lucro ou prejuízo, respectivamente. Ele é dado pela fórmula:

$$ROI = \left( \frac{\text{Lucro} - \text{Investimento}}{\text{Investimento}} \right) \times 100$$

### 3.4.4 Payback

O payback será o definido pelo período que leva para que o VLP se torne zero, ou seja, o tempo necessário para que o somatório do fluxo de caixa irá saldar o investimento inicial.

## 4 METODOLOGIA

Para construção desta pesquisa foi empregado o procedimento de estudo de caso, que permitiu acompanhar o funcionamento dos dois blocos que formam a Faculdade de Direito da UFC.

Segundo Yin (1994), o estudo de caso é uma de muitas maneiras de fazer investigação nas ciências sociais.

No geral, os estudos de caso são a estratégia preferida quando questões “ como “ e “ porquê “ estão a ser colocadas, quando o investigador tem pouco controlo sobre os acontecimentos, e quando o foco está nos fenómenos contemporâneos dentro do contexto da vida real. Tais estudos de casos “ explanatórios “ também podem ser complementados por outros dois tipos – estudos de caso “ exploratório “ e “ descritivo “. Independentemente do tipo de estudo de caso, os investigadores devem exercer grande cuidado ao planear e fazer estudos de casos para ultrapassar o tradicional criticismo do método. (YIN, Pesquisa Estudo de caso – Desenho e Métodos)

É utilizado quando o pesquisador tem pouco controle sobre o objeto de estudo e quando o foco está em fenômenos contemporâneos dentro do contexto da vida real.

### 4.1 Abordagem

A abordagem utilizada foi a qualitativa, baseada em métodos matemáticos e estatísticos.

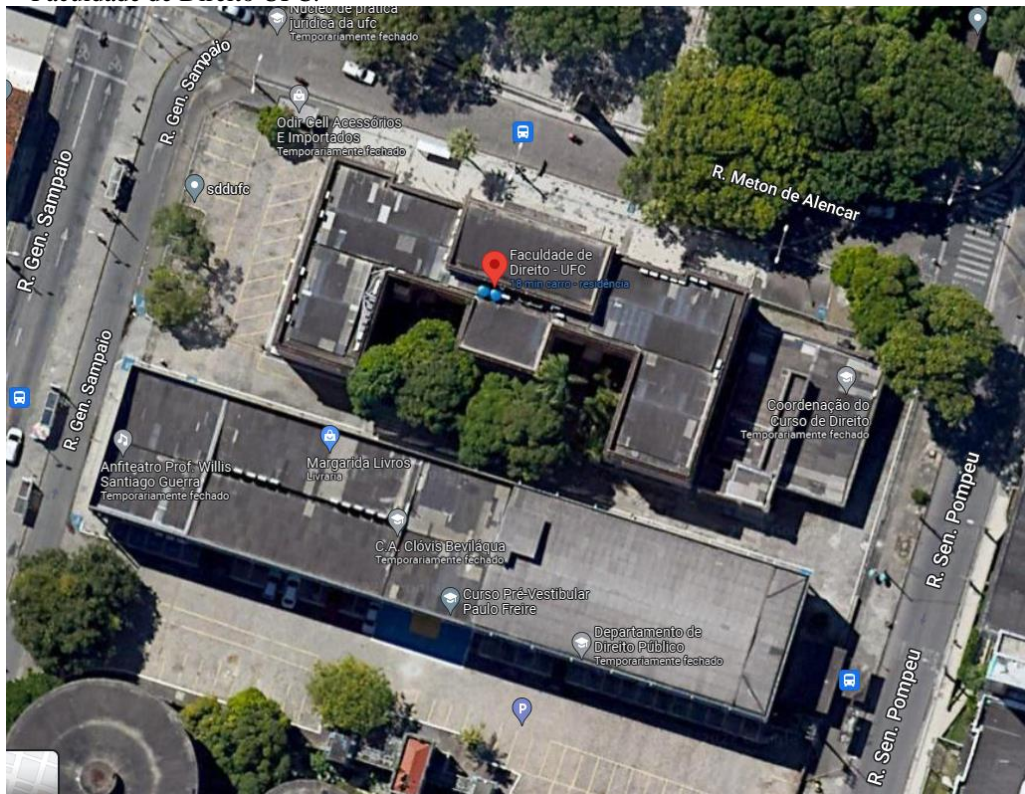
### 4.2 Método De Abordagem

O método de abordagem foi o hipotético-dedutivo, que consiste na escolha de um problema e na elaboração de uma hipótese que possa solucionar esse problema, depois é feito a pesquisa para ver se essa hipótese é aceita ou refutada. Consoante Cruz e Ribeiro (2004): “é o método que se inicia por uma percepção de uma lacuna nos conhecimentos, acerca da qual formula hipóteses e, pelo processo de inferência dedutiva, testa a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese”.

## 5 IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

O objeto de estudo desse trabalho é Faculdade de Direito da UFC, que fica na rua Meton de Alencar, no centro da cidade de Fortaleza. A Figura 7 mostra uma visão aérea do local feita no programa Google Maps.

Figura 7 – Faculdade de Direito UFC.



Fonte: Google Maps

A Faculdade de direito é composta por dois blocos com salas de aulas, por um anfiteatro, uma biblioteca e um auditório. Ela possui uma subestação, sendo sua alimentação em 13.8kV. É um bloco isolado, possuindo assim uma fatura de energia só dele, facilitando o estudo proposto. A tabela 1 apresenta alguns dados coletados.

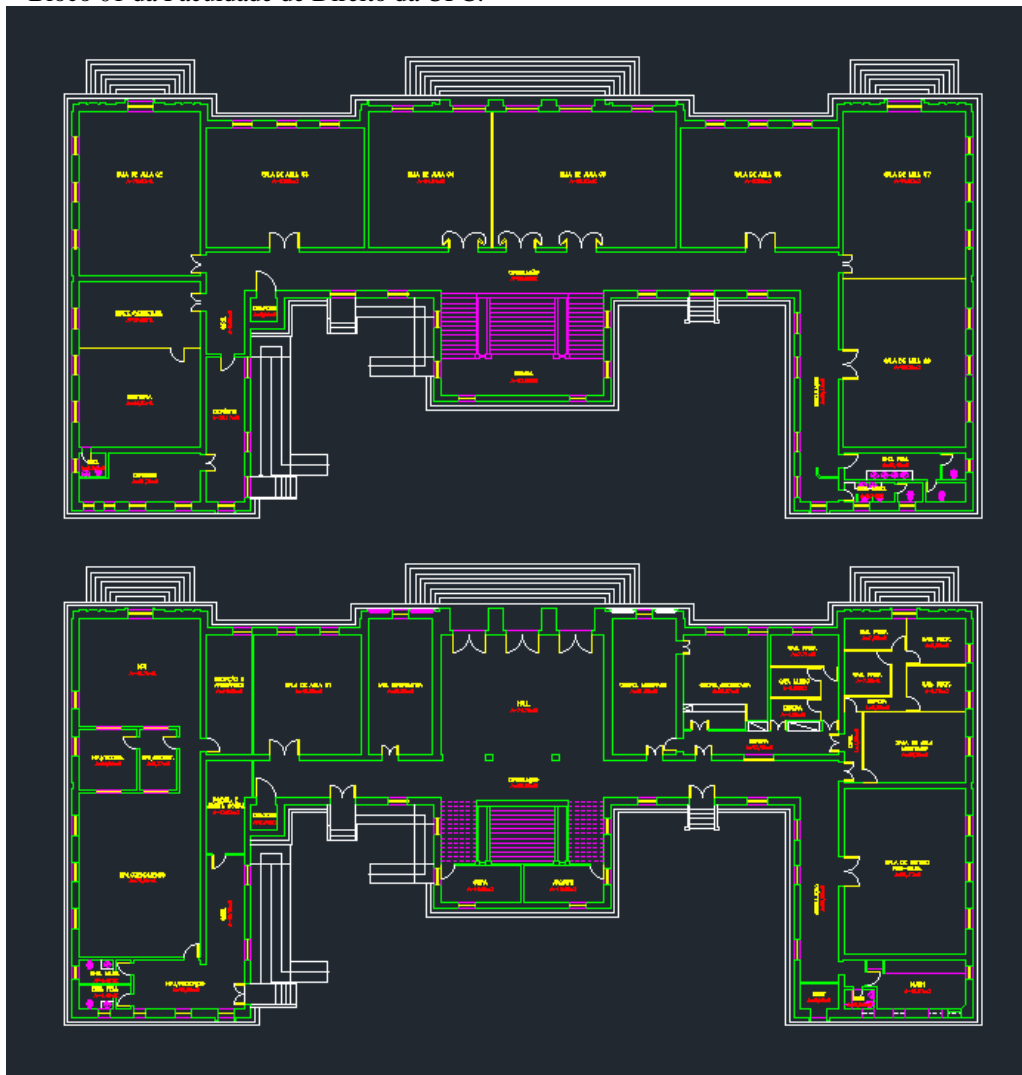
Tabela 1 – Dados Gerais do projeto.

<b>DADOS GERAIS</b>	
Município	Fortaleza
Latitude	3,801° S
Longitude	38,549° O
Temperatura Máxima	31° C
Temperatura Mínima	23° C
Área do Telhado	2040,37 m <sup>2</sup>
Tensão de Alimentação	380 V trifásica

**Fonte:** os próprios autores

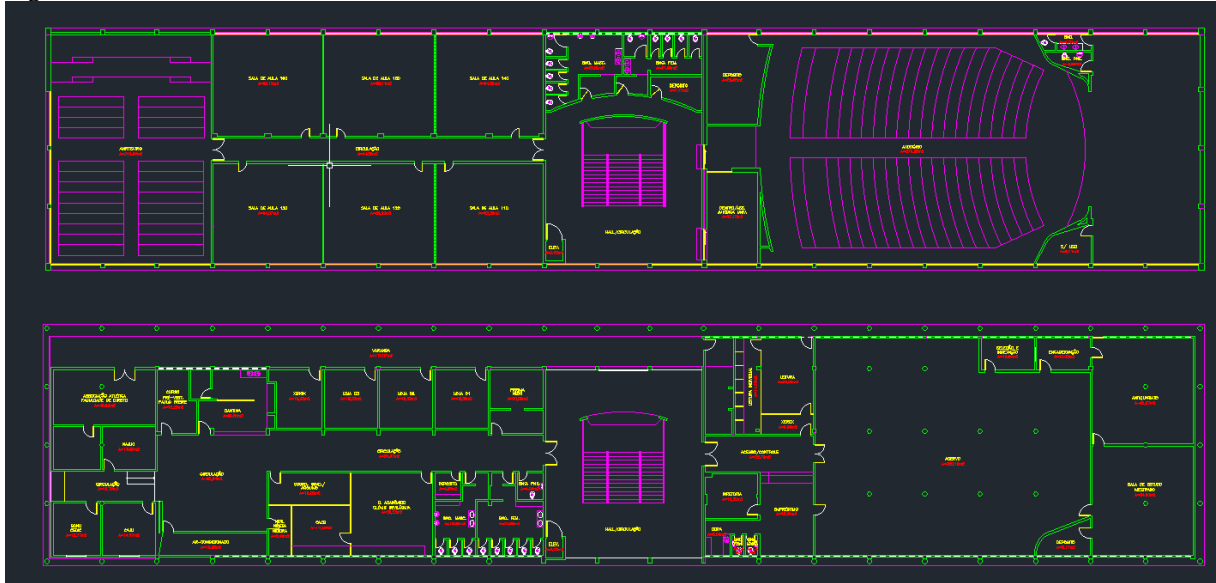
As figuras 8 e 9 apresentam as plantas baixa dos dois blocos da Faculdade de Direito da UFC.

Figura 8 – Bloco 01 da Faculdade de Direito da UFC.



Fonte: os próprios autores

Figura 9 – Bloco 02 da Faculdade de Direito da UFC.



Fonte: os próprios autores

## 5.1 Análise Dos Usos E Consumos De Energia

Fez-se uma análise do uso e consumo de energia nos dois blocos que compõem a Faculdade de Direito, com o objetivo de entender o desempenho energético atual da faculdade. Fez-se visitas técnicas acompanhado de um electricista prestador de serviço da UFC, para se ter acesso a todo o bloco, observações dos funcionários foram levadas em conta, referente ao uso das salas de aula e foi feita uma análise detalhada da planta baixa do local.

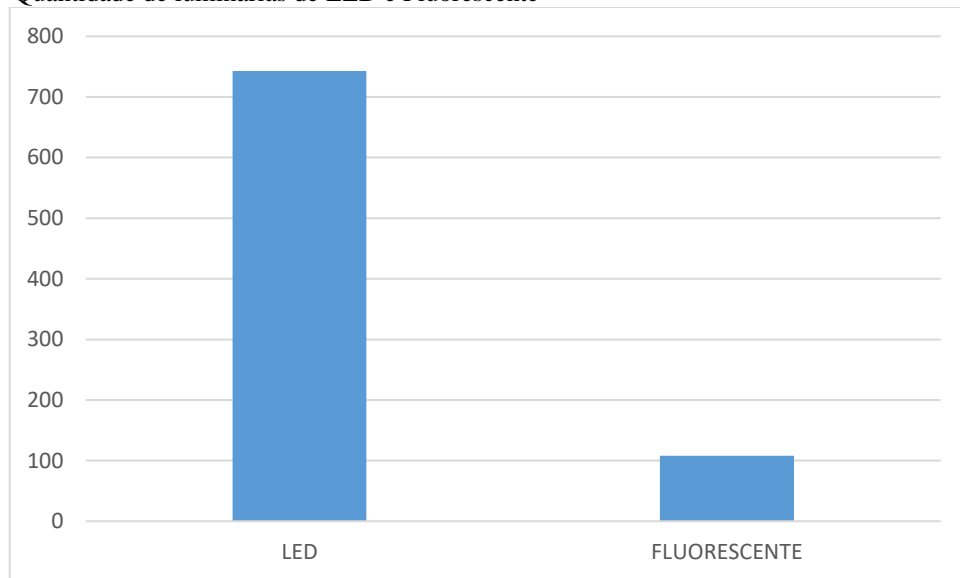
Utilizou-se a Lei de Pareto (Lei 80-20) para determinar as cargas mais significativas da organização. Essa lei diz que 20% das causas são responsáveis por 80% dos resultados. Com isso as duas cargas que correspondem a mais de 80% do consumo de energia dos dois blocos são a iluminação e ar-condicionado.

O levantamento de cargas foi feito no dia 29 de novembro de 2022, através de inspeção visual e de entrevista com funcionários do local. Como se trata de grande parte de salas de aulas com horários de funcionamento estabelecidos, pode-se fazer uma boa previsão do consumo do bloco. Todas as salas são padronizadas com 20 lâmpadas de LED e dois condicionadores de ar, com potência de 30.000 BTU em quase todas as salas. Todo o bloco passou recentemente por um retrofit em sua iluminação, onde quase 90% das luminárias foram substituídas por luminárias de LED. Porém, certos ambientes, como o auditório e o anfiteatro possuem um uso muito irregular, sendo difícil estimar um valor de número de horas utilizadas. As salas de aula funcionam todos os dias de segunda a sexta-feira durante os três turnos.

### 5.1.1 Cargas De Iluminação

Toda a iluminação do bloco passou por um retrofit recentemente onde 87% de suas luminárias foram roçadas por LED. As poucas lâmpadas fluorescentes que ficaram, pode-se observar que sua potência é de 32 W, enquanto as de LED tem potência de 18W. No gráfico 1 pode-se observar a quantidade de lâmpadas instaladas.

Gráfico 1 – Quantidade de luminárias de LED e Fluorescente



**Fonte:** os próprios autores

Através das observações e contagem foram contabilizadas 851 luminárias.

Apesar do recente retrofit realizado, pode-se observar pontos a melhor para poder favorecer a iluminação, que em alguns pontos ainda continuaram com pouca luminosidade. Um ponto a ser observado é em relação a pintura dos ambientes, todas as salas e corredores possuem uma pintura velhas e sujas, e o piso é de madeira escuro, as janelas são pintadas de modo que não entra luz natural nos ambientes. As luminárias estão embutidas no forro, o que acaba também limitando a propagação da luz de LED. A Figura 10 foi tirada de uma das salas, todas as outras salas seguem o mesmo padrão.



Figura 10 – Sala de aula da Faculdade de Direito da UFC.

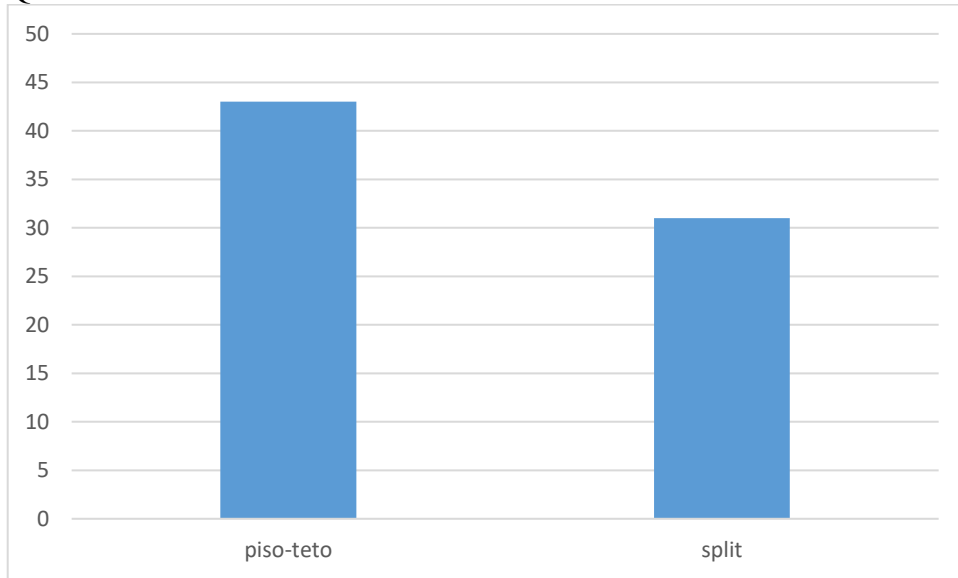


Fonte: os próprios autores

### 5.1.2 Cargas De Ar-Condicionado

A carga de ar-condicionado é muito relevante, pois correspondem ao maior consumo do bloco junto com a iluminação. Pode-se observar um padrão na potência das máquinas, todas as salas possuíam duas máquinas de 30.000 BTUs, algumas máquinas novas no modelo inverter, que é o que consome menos energia, mas muitas antigas com Selo Procel D. Os modelos eram somente de dois tipos, split e piso-teto, totalizando 73 máquinas.

Gráfico 2 – Quantidade de ares-condicionados



**Fonte:** os próprios autores

Em alguns desses ares-condicionados foi possível identificar o Selo Procel, porém, o programa passou por mudanças em seus índices em janeiro de 2020, em que os índices para ar-condicionado foram atualizados, pois o índice antigo não levava em consideração a economia modelo inverter em trabalhar com rotação variável e contínua, trazendo assim mais economia. Logo, concluiu-se que todos os selos observados estavam desatualizados. Para receber o índice A, a máquina precisa ter índice de eficiência de 5,5, antes era apenas 3,23.

Como dito a metodologia do cálculo dos índices mudou, antes os aparelhos convencionais e as máquinas com tecnologia inverter eram submetidos a testes idênticos e classificados com critérios iguais. Com isso alguns aparelhos convencionais recebiam selo A da mesma forma que um aparelho inverter que comprovadamente economiza muito mais energia.

A partir de 31 de dezembro de 2022 todos os aparelhos fabricados no Brasil precisam obedecer às novas regras de da portaria que mudou os índices.

## 5.2 Análise De Conservação De Energia

O maior consumo de energia da Faculdade de Direito é com iluminação e ar-condicionado. Como foi feito um retrofit recente em todo o sistema de iluminação resta um estudo sobre a carga dos ares-condicionados. Embora possamos fazer uma breve análise da substituição das luminárias de fluorescente por LED. Segundo dados colhidos com os eletricitistas que prestam serviço para a UFC, as lâmpadas fluorescentes possuíam 32W e as

novas de LED possuem 18W. Foram substituídas 743 lâmpadas.

$$CONSUMO (kWh) = \frac{\text{potência (W)} \times \text{horas de uso por dia (h)} \times \text{dias de uso no mês}}{1000} \quad (5.1)$$

Considerando 8h a média do número de horas por dia de uso, com base no horário de uso dos blocos e pelo fato de não possuir espaços abertos para o uso de iluminação natural durante o dia nem janelas nas salas que permitem que a luz entre. E considerando 22 dias por mês de uso, retirando os sábados e domingos.

$$CONSUMO (kWh) = \frac{18 \times 8 \times 22}{1000} = 3,168 kWh \quad (5.2)$$

O consumo unitário de cada luminária de LED é de 4,752 kWh como calculado na equação 4.2. O consumo unitário da luminária de fluorescente é de:

$$CONSUMO (kWh) = \frac{32 \times 8 \times 22}{1000} = 5,632 kWh \quad (5.3)$$

Para o total de 743 luminárias substituídas tem-se uma economia de 1.830,75 kWh por mês.

Para a estimativa do sistema de ar-condicionado utilizou-se os mesmos parâmetros mostrados para a iluminação. A tabela 2 mostra a relação de ares-condicionados.

Tabela 2 – Dados de ar-condicionado.


	AR-CONDICIONADO	QUANTIDADE	MARCA	POTÊNCIA W	CONSUMO KWH/MÊS
Sala 150	pisso-teto	2	Elgin	8792	68,9
Sala 110	split	2	hitachi	8792	68,9
Sala 120	split	2	hitachi	8792	68,9
Sala 140	pisso-teto	2	Gree	8792	68,9
Sala 160	pisso-teto	1	Gree	8792	68,9
Sala 160	split	1	AGRATTO Inverter	8792	51,1
Sala 130	pisso-teto	1	Gree	8792	68,9
Biblioteca	pisso-teto	12	hitachi	8792	68,9
Acevo	split	2	hitachi	8792	68,9
Corredor	split	1	LG inverter	8792	51,1
CACB	split	1	Gree	8792	68,9
Sala 30	Split	2	AGRATTO Inverter	8800	51,1
Sala 40	split	1	Hitachi	8792	68,9
Sala 40	pisso-teto	1	Carrier	8792	68,9
Sala 20	split	1	hitachi	8792	68,9
Sala 20	Split	1	AGRATTO Inverter	8792	51,1
Diretoria	split	1	Elgin	8790	56,5
Sala 50	split	1	Elgin	8790	56,5
Sala 50	pisso-teto	1	Gree	8792	68,9
Sala 60	split	2	AGRATTO Inverter	8800	51,1
Sala 70	pisso-teto	2	LG	10541	72,9
Sala 80	split	1	Elgin	8790	56,5
Sala 80	split	1	Gree	8792	68,9
Sala NPJ	split	2	Elgin	8790	56,5
Mestrado 01	split	3	Hitachi	8792	68,9
Mestrado	split	1	Philco	8792	68,9
Grupo Pesquisa	split	1	Samer	8792	68,9
Grupo Pesquisa	split	2	AGRATTO Inverter	8800	51,1
Recepção	pisso-teto	1	RHEEM	8792	68,9
Recepção	pisso-teto	4	RHEEM	8792	68,9
Recepção	split	1	Gree	8792	68,9
Sala dialogar	pisso-teto	1	RHEEM	8792	68,9
Sala dialogar	split	1	Gree	8792	68,9

Fonte: os próprios autores

O consumo médio de energia dos ares-condicionados é estimado em 22.591,95 kWh/mês. Isso equivale a 73% do consumo de toda a Faculdade como mostra a figura 11 que

tem a conta de luz referente ao mês de novembro de 2022.

Figura 11 – Fatura da energia elétrica do mês de novembro de 2022

CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA		TIPO DE FORNECIMENTO	DATAS DE LEITURA	LEITURA ANTERIOR	LEITURA ATUAL	Nº DE DIAS	PRÓXIMA LEITURA										
A4 HOROSAZONAL VERDE - Poder Público Poder público Federal		TRIFÁSICO		01/10/2022	01/11/2022	31	01/12/2022										
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ RU METON DE ALENCAR 0 CENTRO FORTALEZA CE CEP: 80000-000 CPF/CNPJ: 07.272.638/0001-31 INSC. EST: ISENT0		INSTALAÇÃO / UNID. CONSUMIDORA <b>1085917</b>	 NOTA FISCAL Nº 039001879 - SÉRIE ÚNICA / DATA DE EMISSÃO: 10/11/2022 Consulte pela Chave de Acesso em: <a href="http://dfe-portal.sefazvirtual.rs.gov.br/NF3e/consulta">http://dfe-portal.sefazvirtual.rs.gov.br/NF3e/consulta</a> chave de acesso: 2322 1107 0472 5100 0170 0800 0039 0018 7910 8233 8422 Protocolo de autorização: 3232200035730297 - 11/11/2022 às 16:10:46-03:00 CFOP 5258: VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA A NA0 CONTRIBUINTE Data de apresentação: 14/11/2022														
		Nº DO CLIENTE <b>1085917</b>															
MÊS/ANO	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR															
<b>11/2022</b>	<b>05/12/2022</b>	<b>R\$28.014,51</b>															
MENSAGENS IMPORTANTES																	
Períodos: Band. Tarif.: Verde : 02/10 - 01/11 Bandeira verde em novembro/22, sem custos adicionais na fatura. Informações: www.aneel.gov.br																	
DADOS DE MEDIÇÃO				DESCRIÇÃO DO FATURAMENTO													
Medidor	Grandezas	Postos Tarifários	Leitura Anterior	Leitura Atual	Const. Medidor	Consumo kWh	Itens de Fatura	Unid.	Quant.	Preço unit (R\$) com tributos	Valor (R\$)	PIS/COFINS	Base Calc ICMS (R\$)	Alíquota ICMS	ICMS	Tarifa unit (R\$)	
4582259-LDG-652	Energia Ativa-kWh	FORA PONTA	73.129,00	97.897,00	1.0000	24.768,00	Energia Atv Fom F Ponta TE	kWh	24.768,000	0,36427	9.035,91	264,56	9.035,91	20,00%	1.807,18	0,28129	
4582259-LDG-652	Energia Ativa-kWh	FORA PONTA	541.081,00	546.036,00	1.0000	4.955,00	Energia Atv Fom F Ponta TUSD	kWh	4.955,000	0,11109	551,08	73,29	551,08	20,00%	110,21	0,01756	
4582259-LDG-652	Demanda Faturada-kW	FORA PONTA	9.842,90	9.973,10	1.0000	130,20	Energia Atv Fom Ponta TE	kWh	4.955,000	0,28791	1.413,10	68,28	1.413,10	20,00%	282,62	0,45112	
4582259-LDG-652	Demanda Faturada-kW	FORA PONTA	5.134,28	5.248,82	1.0000	114,54	Energia Atv Fom Ponta TUSD	kWh	1.919,13	9,479,55	277,55	9.479,55	20,00%	1.895,91	1,47449		
4582259-LDG-652	Demanda Reativa-kVAr	FORA PONTA	8.072,18	8.193,87	1.0000	121,69	Consumo Reativo Excedente Np	kVA	1.581,000	0,38354	606,37	17,75	606,37	20,00%	121,27	0,29561	
4582259-LDG-652	Demanda Reativa-kVAr	FORA PONTA	4.086,89	4.193,69	1.0000	107,10	Consumo Reativo Excedente Np	kVAr	23,000	0,38681	8,80	0,25	8,80	20,00%	1,76	0,29561	
4582259-LDG-652	Energia Reativa-kVAh	FORA PONTA	354.123,00	355.704,00	1.0000	1.581,00	Demanda Ativa sem ICMS	kW	132,200	23,53072	3.044,90	110,57	3.044,90	20,00%	769,58	22,76000	
4582259-LDG-652	Energia Reativa-kVAh	FORA PONTA	14.361,00	14.364,00	1.0000	23,00	Retenção De Tributos Federais	kW	87,800	23,62474	1.365,51	49,89	0,00	0,00%	0,00	22,76000	
Subtotal Faturamento											29.755,22						
Subtotal Outros											1.740,71-						
<b>TOTAL</b>											<b>28.014,51</b>	<b>881,16</b>	<b>28.389,71</b>	<b>5,677,93</b>			

Fonte: Fatura da ENEL

## 6 VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRO

### 6.1 Retrofit Ar-Condicionado

Visto a recente atualização do INMETRO no Selo Procel recomenda-se um retrofit em todos os ares-condicionados que não são do modelo inverter, pois alguns convencionais instalados mesmo possuindo Selo Procel A, estão enquadrados nos padrões de critério antigos, de nada mais servindo o índice indicado. O equipamento inverter possui uma economia de até 40% em relação ao modelo convencional pelo fato dele trabalhar com uma rotação variável e contínua (não desliga) e de atingir a temperatura desejada em menor tempo de operação devido

o seu fluido refrigerante circular no aparelho com uma maior pressão.

Será necessário a troca de 50 aparelhos convencionais de 30.000 BTUs. A marca escolhida foi Philco, em cotação na internet foi o modelo que apresentou melhor custo-benefício.

Tabela 3 – Dados de ar-condicionado para retrofit.

AR-CONDICIONADO	MARCA	MODELO	VALOR UNITÁRIO
Split	Philco	PAC30000IFM8W	R\$ 4.333,60

Fonte: os próprios autores

Tabela 4 – Custos de substituição dos ares-condicionados.

Item	Quantidade	Preço	Total
Ar-condicionado Philco 30.000 BTUs	50	R\$ 4.333,60	R\$ 216.680,00
Instalação	50	R\$ 800,00	R\$ 40.000,00
Desinstalação	50	R\$ 100,00	R\$ 5.000,00
<b>Total da implantação</b>			<b>R\$ 261.680,00</b>

Fonte: os próprios autores

## 6.2 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Com base no que já foi apresentado nos capítulos anteriores, tem-se os dados necessários para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, que deve suprir a demanda média dos últimos 6 meses, os 6 primeiros meses não correspondem a um valor real, visto que muitas aulas ainda estavam sendo ministradas remotamente por conta da pandemia. A Figura X mostra a média de consumo da fatura.

Figura 12 – Histórico do faturamento

HISTÓRICO DO FATURAMENTO					
MÊS/ANO	Demanda kW		Consumo Faturado kWh		Nº DIAS FAT
	Hora Ponta	Hora Fora Ponta	Hora Ponta	Hora Fora Ponta	
NOV / 2022	114,24	130,20	4955,00	24758,00	31
OUT / 2022	151,20	168,42	4858,00	25899,00	30
SET / 2022	133,56	167,16	3967,00	23159,00	31
AGO / 2022	91,14	100,38	2100,00	14808,00	31
JUL / 2022	107,52	131,88	4562,00	22944,00	30
JUN / 2022	113,82	164,64	4794,00	26294,00	31
MAI / 2022	119,28	167,16	3640,00	22877,00	30
ABR / 2022	107,52	171,78	2639,00	22380,00	31
MAR / 2022	13,02	108,36	499,00	14496,00	28
FEV / 2022	11,76	117,60	491,00	13618,00	31
JAN / 2022	29,82	154,98	681,00	17687,00	31
DEZ / 2021	16,38	154,14	584,00	19688,00	30
NOV / 2021	19,74	147,42	598,00	17153,00	31

Fonte: Fatura da ENEL

A média do consumo no horário fora de ponta é de 22.977 kWh e no horário de ponta é de 4.206 kWh. É necessário multiplicar o consumo de ponta por um fator para poder ser somado com o consumo de fora ponta, pois suas tarifas não são iguais, esse fator é dado por:

$$Fator = \frac{Tarifa TE Fora Ponta}{Tarifa TE Ponta} = \frac{0,36497}{0,58791} = 0,62079 \quad (6.1)$$

$$Consumo Ponta = \frac{4206}{0,62079} = 6.775,22 \text{ kWh} \quad (6.2)$$

O consumo médio total de energia será de 29.752,22 kWh. É necessário achar-se a energia de compensação que é dada pela fórmula XX:

$$E_C = E_M - C_D \quad (6.3)$$

$E_C$  é a energia de compensação que o sistema deve gerar, dada em kWh/mês.

$E_M$  é o consumo médio de energia elétrica da organização, dado em kWh/mês.

$C_D$  é o custo de disponibilidade da rede, dada em kWh/mês

O custo de disponibilidade para sistemas monofásicos é de 30 kWh/mês, para sistemas bifásicos é de 50 kWh/mês e para sistemas trifásicos é de 100 kWh/mês. No caso de estudo o sistema é trifásico. Com os dados apresentados tem-se que  $E_C = 29.752,22$  kWh/mês.

Dividindo esse valor por 30, correspondente a um mês, encontra-se valor da energia de compensação diária que é o que o sistema fotovoltaico precisa gerar por dia.

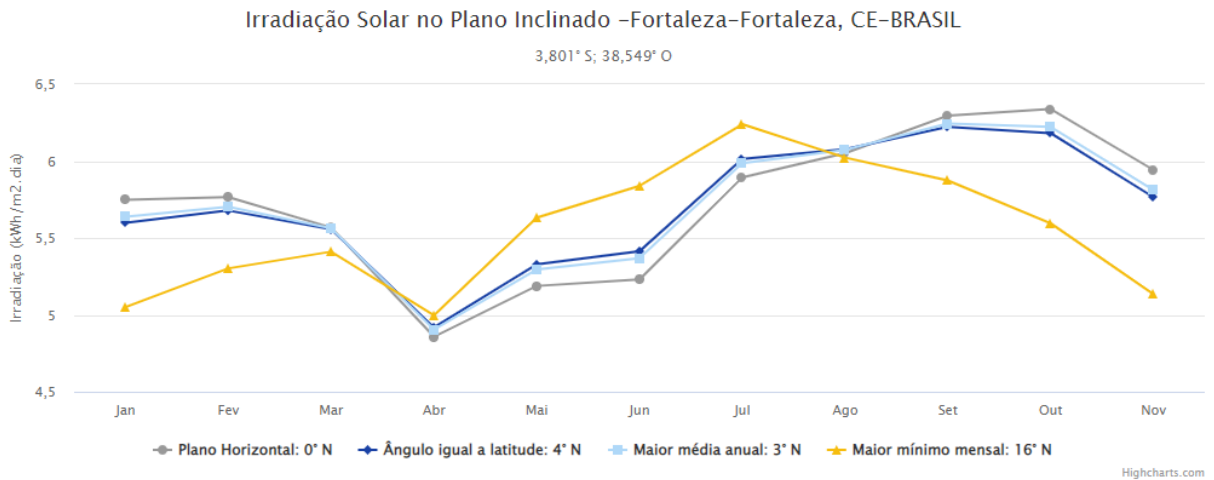
$$E_{C(Diário)} = \frac{E_C}{30} = \frac{29.752,22}{30} = 991,74 \text{ kWh/dia} \quad (6.4)$$

É preciso saber a irradiação solar média de Fortaleza, esse dado pode ser adquirido no site da CRESESB, é necessário ter os dados de latitude e longitude para poder achar o ponto de medição mais próximo.

Figura 12 – Irradiação Solar no plano inclinado de Fortaleza

Estação: Fortaleza  
Município: Fortaleza, CE - BRASIL  
Latitude: 3,801° S  
Longitude: 38,549° O  
Distância do ponto de ref. ( 3,73354° S; 38,53221° O ): 7,7 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	5,75	5,77	5,57	4,86	5,19	5,23	5,45	5,89	6,05	6,30	6,34	5,94	5,69	1,48
✓	Ângulo igual a latitude	4° N	5,60	5,68	5,56	4,92	5,33	5,41	5,62	6,01	6,08	6,22	6,18	5,77	5,70	1,30
✓	Maior média anual	3° N	5,64	5,70	5,56	4,90	5,30	5,37	5,58	5,99	6,07	6,24	6,22	5,81	5,70	1,34
✓	Maior mínimo mensal	16° N	5,05	5,30	5,41	5,00	5,63	5,84	6,02	6,24	6,02	5,87	5,60	5,14	5,59	1,24



Fonte: CRESESB

A energia gerada diariamente precisa ser de 991,74 kWh/dia. Com os dados colhidos no CRESESB sobre a irradiação solar diária média, considerando uma perda de 25% do sistema para a cidade de fortaleza, tem-se que:

$$W_p = \frac{E_{gerada}}{HSP} = \frac{991,74 \text{ kWh/dia}}{5,69 \times (1-0,25)} = 228,93 \text{ kW (pico)} \quad (6.5)$$

$$N_{módulos} = \frac{W_p}{W_{p \text{ módulo}}} = \frac{228,93}{0,55} = 417 \text{ módulos} \quad (6.6)$$



Como visto na equação 6.6, serão necessários 417 módulos de 550 Wp. Com o valor Wp escolheu-se os inversores para o sistema, foram necessários 3 inversores de 60 kW para esse sistema.

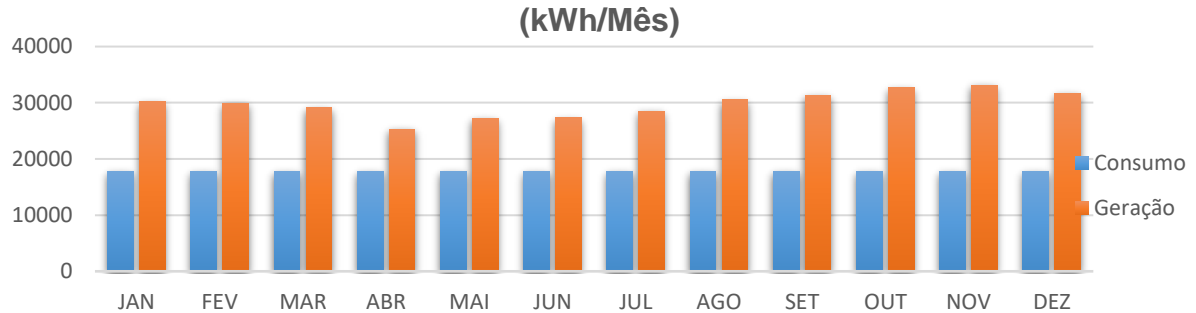
Tabela 5 – Custos do sistema fotovoltaico sem EE.

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço</b>	<b>Total</b>
Módulo Solar Osda	417	R\$ 1.200,00	R\$ 500.400,00
Inversor Solar Trifásico - Kehua Tech	4	R\$ 20.022,91	R\$ 80.091,64
Instalação	1	R\$ 93.194,51	R\$ 93.194,51
<b>Total da implantação</b>			<b>R\$ 673.686,15</b>

**Fonte:** os próprios autores

O gráfico 3 mostra a estimativa de consumo para esse sistema:

Gráfico 3 – Estimativa de Consumo x Geração



Fonte: os próprios autores

### 6.3 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico com Retrofit dos ares-condicionados

Estudos e ensaios de teste mostram que o aparelho inverter é até 40% mais econômico que o aparelho convencional. Essa é uma porcentagem fidedigna a realidade, com base nela calcula-se a economia no consumo.

O consumo médio total de energia calculado na seção anterior é de 29.752,22 kWh, fazendo a conversão do consumo em horário de ponta para horário fora de ponta. Com isso, tem-se uma economia de 11.900,88 kWh. Com esse novo consumo calcula-se o novo custo de instalação de um sistema fotovoltaico.

$$E_C = 17.851,34 - 100 = 17.751,34 \quad (6.7)$$

$$E_{C(Diário)} = \frac{E_C}{30} = \frac{17.751,34}{30} = 595,04 \text{ kWh/dia} \quad (6.8)$$

$$W_p = \frac{E_{gerada}}{HSP} = \frac{595,04 \text{ kWh/dia}}{5,69 \times (1-0,25)} = 137,36 \text{ kW(pico)} \quad (6.9)$$

$$N_{módulos} = \frac{W_p}{W_{p \text{ módulo}}} = \frac{137,36}{0,55} = 250 \text{ módulos} \quad (6.10)$$

Como visto na equação 6.10, serão necessários 250 módulos de 550 Wp. Com o valor Wp escolheu-se os inversores para o sistema, foram necessários 3 inversores de 50 kW para esse sistema.

Tabela 6 – Custos do sistema fotovoltaico com EE.

Item	Quantidade	Preço	Total
Módulo Solar Osda	250	R\$ 1.200,00	R\$ 300.000,00
Inversor Solar Trifásico 50kW- Kehua Tech	3	R\$ 17.963,39	R\$ 53.890,17
Instalação	1	R\$ 73.194,51	R\$ 73.194,51
<b>Total da implantação</b>			<b>R\$ 427.084,68</b>

Fonte: os próprios autores

## 6.4 Análise de viabilidade

A análise da viabilidade é proposta com base no consumo de energia da Faculdade de Direito e nos gastos para sua implementação, como os preços dos equipamentos e serviços de instalação. Este trabalho tem como base as leis de incentivo a MMGD propostas na resolução normativa 482 da ANEEL.

Esclareça-se que o sistema de geração fotovoltaica tem sua eficiência diminuída ao longo dos anos por diversos motivos, como degradação por incidência inicial da luz, a eficiência dos inversores, sujeiras etc. Com isso será estimado uma perda na eficiência ao se calcular a viabilidade ao longo de 25 anos, que é a vida útil dos módulos fotovoltaicos.

### 6.4.1 Viabilidade da microgeração fotovoltaica

Utilizando as fórmulas do Payback e o VPL como mostrados em capítulo anterior para o sistema fotovoltaico sem EE tem-se que:

Tabela 7 – Indicadores de viabilidade sistema fotovoltaico sem EE.

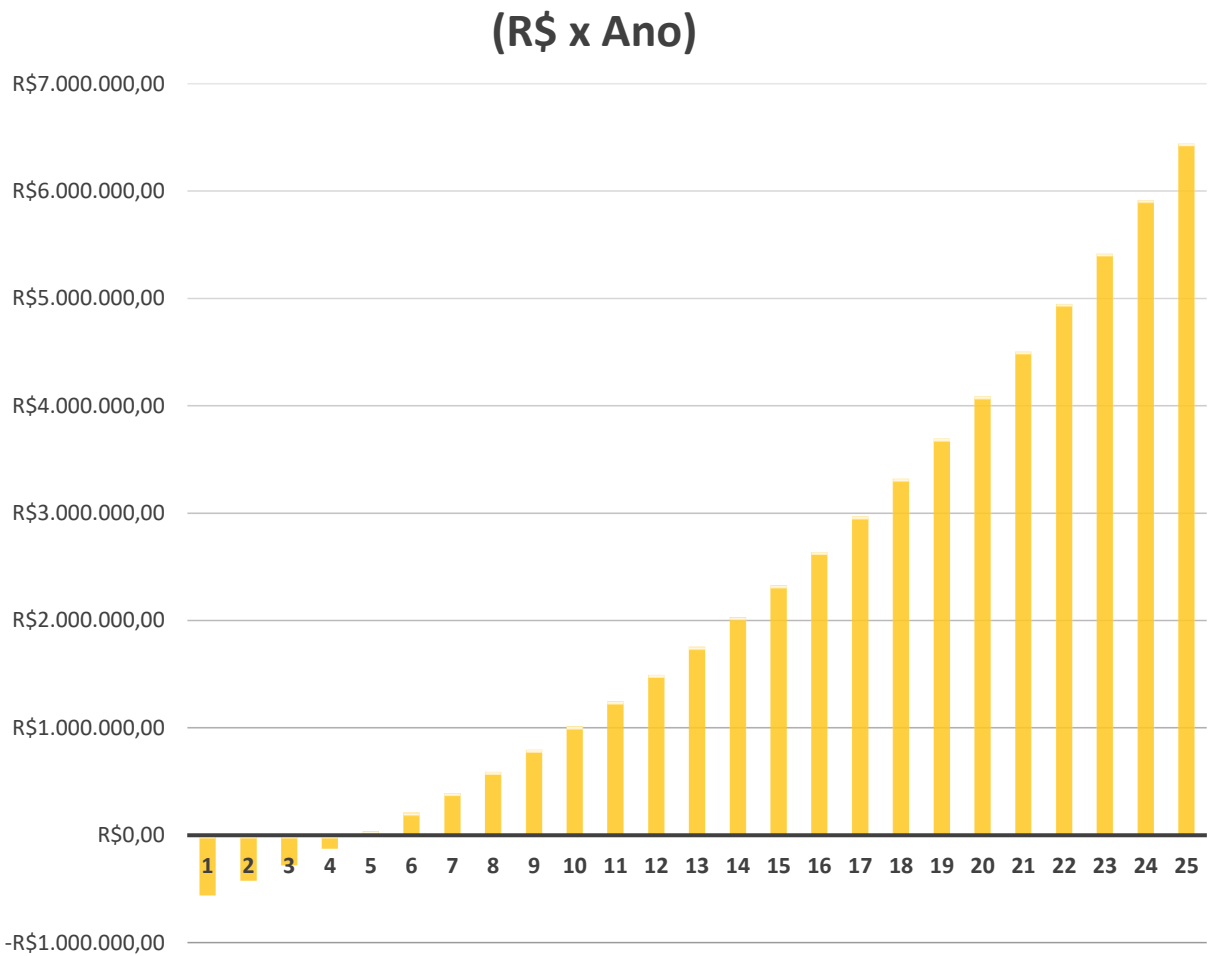
Informações Gerais		
Valor do kWh (R\$)		0,36
Valor da Taxa de Inflação da Energia (%)		7%
Valor Mensal da Taxa de Disponibilidade (R\$)	R\$	36,00
Autonomia do Sistema (%)		100,52%
Indicadores de Viabilidade Financeira		
Taxa Anual de Juros para Cálculo do VPL (% a.a.)		6,5%
Investimento Inicial (R\$)	R\$	674.286,15
Payback Simples (Anos)		4
Retorno de Investimento - ROI		9,6
Taxa Interna de Retorno - TIR (% a.a.)		31%
Valor Presente Líquido - VPL (R\$)	R\$	2.211.450,72

**Fonte:** os próprios autores

Foi-se estimado um valor de 7% para a inflação da energia elétrica, esse valor tomou como base a média dos anos anteriores. O sistema possui uma autonomia de 100,52%, um pouco a mais do que necessita, essa foi uma escolha do projetista ao calcular o número de módulos fotovoltaicos, colocando um módulo para a fração de módulo.

O payback simples desse investimento será de 4 anos, a partir do quinto ano o fluxo de caixa passará do negativo para o positivo, como pode ser visto no gráfico 4.

Gráfico 4 – Fluxo de Caixa



**Fonte:** os próprios autores

A tabela 8 mostra todo o desenvolvimento em valores nos 25 anos, levando em conta a depreciação do sistema, reduzindo sua eficiência de aproximadamente 20% ao longo dos 25 anos. A economia total acumulada nesse sistema ao longo dos 25 anos será de R\$ 7.144.379,42.

Tabela 8 – Análise de viabilidade financeira sem EE.

Ano	Eficiência do Sistema	Valor Anual da Conta sem Sistema	Valor Anual da Taxa de Disponibilidade	Valor Anual da Conta com Sistema	Economia	Economia Somada	Economia Somada Descontada	Balanco de Caixa
1	1,01	R\$ 128.529,59	R\$ 432,00	R\$ 432,00	R\$ 128.097,59	R\$ 128.097,59	-R\$ 546.188,56	NEGATIVO
2	1,00	R\$ 137.526,66	R\$ 462,24	R\$ 852,10	R\$ 136.674,56	R\$ 264.772,15	-R\$ 409.514,00	NEGATIVO
3	0,99	R\$ 147.153,53	R\$ 494,60	R\$ 2.088,98	R\$ 145.064,55	R\$ 409.836,70	-R\$ 264.449,45	NEGATIVO
4	0,98	R\$ 157.454,28	R\$ 529,22	R\$ 3.494,84	R\$ 153.959,44	R\$ 563.796,14	-R\$ 110.490,01	NEGATIVO
5	0,97	R\$ 168.476,07	R\$ 566,26	R\$ 5.087,29	R\$ 163.388,79	R\$ 727.184,92	R\$ 52.898,77	POSITIVO
6	0,97	R\$ 180.269,40	R\$ 605,90	R\$ 6.885,55	R\$ 173.383,85	R\$ 900.568,77	R\$ 226.282,62	POSITIVO
7	0,96	R\$ 192.888,26	R\$ 648,32	R\$ 8.910,65	R\$ 183.977,61	R\$ 1.084.546,38	R\$ 410.260,23	POSITIVO
8	0,95	R\$ 206.390,44	R\$ 693,70	R\$ 11.185,52	R\$ 195.204,92	R\$ 1.279.751,30	R\$ 605.465,15	POSITIVO
9	0,94	R\$ 220.837,77	R\$ 742,26	R\$ 13.735,20	R\$ 207.102,56	R\$ 1.486.853,87	R\$ 812.567,72	POSITIVO
10	0,93	R\$ 236.296,41	R\$ 794,21	R\$ 16.587,04	R\$ 219.709,37	R\$ 1.706.563,24	R\$ 1.032.277,09	POSITIVO
11	0,93	R\$ 252.837,16	R\$ 849,81	R\$ 19.770,83	R\$ 233.066,33	R\$ 1.939.629,56	R\$ 1.265.343,41	POSITIVO
12	0,92	R\$ 270.535,76	R\$ 909,30	R\$ 23.319,07	R\$ 247.216,69	R\$ 2.186.846,25	R\$ 1.512.560,10	POSITIVO
13	0,91	R\$ 289.473,26	R\$ 972,95	R\$ 27.267,19	R\$ 262.206,07	R\$ 2.449.052,32	R\$ 1.774.766,17	POSITIVO
14	0,90	R\$ 309.736,39	R\$ 1.041,05	R\$ 31.653,79	R\$ 278.082,60	R\$ 2.727.134,92	R\$ 2.052.848,77	POSITIVO
15	0,89	R\$ 331.417,94	R\$ 1.113,93	R\$ 36.520,90	R\$ 294.897,04	R\$ 3.022.031,96	R\$ 2.347.745,81	POSITIVO
16	0,89	R\$ 354.617,19	R\$ 1.191,90	R\$ 41.914,30	R\$ 312.702,90	R\$ 3.334.734,86	R\$ 2.660.448,71	POSITIVO
17	0,88	R\$ 379.440,40	R\$ 1.275,33	R\$ 47.883,82	R\$ 331.556,57	R\$ 3.666.291,43	R\$ 2.992.005,28	POSITIVO
18	0,87	R\$ 406.001,23	R\$ 1.364,61	R\$ 54.483,70	R\$ 351.517,53	R\$ 4.017.808,96	R\$ 3.343.522,81	POSITIVO
19	0,86	R\$ 434.421,31	R\$ 1.460,13	R\$ 61.772,93	R\$ 372.648,38	R\$ 4.390.457,34	R\$ 3.716.171,19	POSITIVO
20	0,85	R\$ 464.830,80	R\$ 1.562,34	R\$ 69.815,68	R\$ 395.015,12	R\$ 4.785.472,46	R\$ 4.111.186,31	POSITIVO
21	0,85	R\$ 497.368,96	R\$ 1.671,70	R\$ 78.681,73	R\$ 418.687,23	R\$ 5.204.159,69	R\$ 4.529.873,54	POSITIVO
22	0,84	R\$ 532.184,79	R\$ 1.788,72	R\$ 88.446,93	R\$ 443.737,86	R\$ 5.647.897,54	R\$ 4.973.611,39	POSITIVO
23	0,83	R\$ 569.437,72	R\$ 1.913,93	R\$ 99.193,72	R\$ 470.244,00	R\$ 6.118.141,55	R\$ 5.443.855,40	POSITIVO
24	0,82	R\$ 609.298,36	R\$ 2.047,91	R\$ 111.011,66	R\$ 498.286,70	R\$ 6.616.428,25	R\$ 5.942.142,10	POSITIVO
25	0,81	R\$ 651.949,25	R\$ 2.191,26	R\$ 123.998,07	R\$ 527.951,17	R\$ 7.144.379,42	R\$ 6.470.093,27	POSITIVO
<b>Totais</b>		<b>R\$ 8.129.372,91</b>	<b>R\$ 27.323,58</b>	<b>R\$ 984.993,49</b>	<b>R\$ 7.144.379,42</b>	<b>R\$ 7.144.379,42</b>	<b>R\$ 6.470.093,27</b>	

Fonte: os próprios autores

#### 6.4.2 Viabilidade da microgeração fotovoltaica com EE

Fez-se para esse novo caso, o mesmo que no subitem anterior. Foi levado em conta o valor total do investimento que será de:

Tabela 9 – Custos sistema fotovoltaico com EE.

Item	Quantidade	Preço	Total
Módulo Solar Osda	250	R\$ 1.200,00	R\$ 300.000,00
Inversor Solar Trifásico 50kW- Kehua Tech	3	R\$ 17.963,39	R\$ 53.890,17
Instalação	1	R\$ 73.194,51	R\$ 73.194,51
Ar-condicionado Philco 30.000 BTUs	50	R\$ 4.333,60	R\$ 216.680,00
Instalação	50	R\$ 800,00	R\$ 40.000,00
Desinstalação	50	R\$ 100,00	R\$ 5.000,00
<b>Total da implantação</b>			<b>R\$ 688.764,68</b>

Fonte: os próprios autores

Para o cálculo do *payback* e demais índices financeiros, foi utilizado o mesmo consumo do anterior, 29.752,22 kWh/mês, que corresponde ao valor total economizado com a proposta de substituição dos ares-condicionados e implantação do sistema de geração solar fotovoltaica, que é de aproximadamente R\$ 10.710,72 com a tarifa a 0,36 centavos. Se o cálculo fosse feito com os 17.851,34 kWh/mês fornecidos após a realização da troca dos aparelhos, daria um cálculo errado referente ao valor total economizado, ficando uma economia na conta do *payback* e demais índices de apenas R\$ 6.426,48. Com isso foi calculado a tabela 10:

Tabela 20 – Indicadores de viabilidade sistema fotovoltaico com EE.

Informações Gerais		
Valor do kWh (R\$)		0,36
Valor da Taxa de Inflação da Energia (%)		7%
Valor Mensal da Taxa de Disponibilidade (R\$)	R\$	36,00
Autonomia do Sistema (%)		100%
Indicadores de Viabilidade Financeira		
Taxa Anual de Juros para Cálculo do VPL (% a.a.)		6,5%
Investimento Inicial (R\$)	R\$	688.764,68
Payback Simples (Anos)		4
Retorno de Investimento - ROI		9,35
Taxa Interna de Retorno - TIR (% a.a.)		29,85%
Valor Presente Líquido - VPL (R\$)	R\$	2.191.336,54

**Fonte:** os próprios autores

Como pode-se observar o ROI para esse segundo caso é menor que no primeiro. O *payback* se mantém ainda em 4 anos. Com isso financeiramente não será viável a proposta de EE consistente na troca dos ares-condicionados, mesmo que seja mais sustentável por reduzir o desperdício de energia elétrica.

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo o estudo aplicado a Faculdade de Direito da UFC, sobre a implementação de um sistema de geração solar fotovoltaica com e sem um estudo de eficiência energética, os dados foram coletados por meio de visita técnica, entrevista com funcionários, estudo da planta baixa e análise da fatura de energia para obtenção dos dados. Fez-se uma revisão literária sobre Eficiência Energética, tendo como foco a identificação da melhor proposta para o uso eficiente e racional da Faculdade de Direito. Fez-se uma revisão literária sobre micro e minigeração fotovoltaica como parte da proposta de economia.

Seguindo a regra de Pareto do 80/20, verificou-se que as cargas que mais consomem energia são a de iluminação e de ar-condicionado, verificou-se que a iluminação passou por recentes reformas, onde as luminárias foram substituídas por lâmpadas de LED de 18W, em contrapartidas as fluorescentes antigas de 32W. A proposta de eficiência energética foi, então, aplicada aos ares-condicionados, sendo proposto a troca de 50 aparelhos velhos convencionais por aparelhos novos com tecnologia inverter, proporcionando assim uma economia de



11.900,88 kWh, com um custo de R\$ 261.680,00.

O sistema fotovoltaico sem eficiência energética ficou com uma potência de 228,93 kW(*pico*), sendo cotado em R\$ 674.286,15 precisando de 417 módulos de 550W. Já para o sistema com eficiência energética, o sistema ficou com potência de 137,36 kW(*pico*), sendo cotado em R\$ 427.084,68 e necessário 250 módulos de 550W.

Com este trabalho pode-se verificar que os dois casos supracitados possuem um VPL positivo, e ROI de 10 para o sistema fotovoltaico sem EE e de 9 para o sistema fotovoltaico com EE. As duas propostas são viáveis, sendo a primeira, em termos financeiros, mais atrativa para o cliente por possuir um retorno de investimento um pouco maior, por outro lado, visando a sustentabilidade e uso eficiente da energia elétrica, vale fazer as implementações propostas no estudo de EE. No estudo não foi levando em consideração o impacto na tarifa de energia ativa fornecida TUSD, mas sabe-se que essa tem tarifação pelo uso dos fios, desse modo o sistema fotovoltaico com EE terá menos tarifação de imposto e pagará menos na tarifa TUSD.

Como proposição de trabalhos futuros tem-se:

- Avaliar a redução da fatura sobre a tarifa de energia ativa fornecida TUSD;
- Avaliar um possível retorno na venda dos aparelhos velhos de ar-condicionado, que reduziria o custo de sua implantação;

## REFERÊNCIAS

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acesso em: 13/12/2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2022**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>> Acesso em: 13/12/2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>> Acesso em: 13/12/2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>> Acesso em: 13/12/2022.

MME. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/plano-nacional-de-eficiencia-energetica>> Acesso em: 13/12/2022

Yin, R. K. (1994). **Pesquisa Estudo de Caso - Desenho e Métodos (2 ed.)**. Porto Alegre: Bookman.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n° 920, de 23 de fevereiro de 2021**.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012**.

TOLMASQUIN, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

Portal Solar. **Quanto Custa para Instalar Energia Solar?** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-para-instalar-energia-solar.html>> Acesso em: 13/12/2022.

## ANEXO A –Módulo Solar Osda – 550W

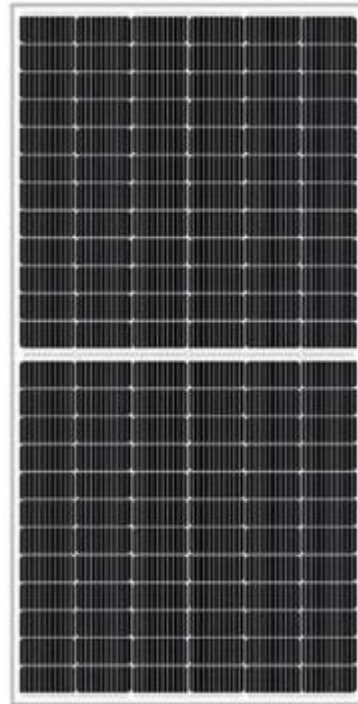
### Características:

- Potência Nominal (P.max): 550W;
- Tensão de circuito aberto (VOC): 46.92±3%
- Corrente de curto-circuito (ISC): 11.20±3%
- Tensão na Potência Nominal (Vmp): 42.10V;
- Corrente na Potência Nominal (Imp): 13.06 A;
- Eficiência do módulo (%): 21,3%;
- Temperatura de operação: 40~+85°C;
- Tensão máxima do sistema: 1500V(IEC)/600V (UL).
- .

### Características mecânicas:

- • Tipo de célula: Monocristalino
- Número de células: 144;
- Dimensões do módulo: 2279 x 1134 x 35 mm
- Peso: 28,4 kg;
- Capa: 3.2mm vidro temperado;
- Quadro: Liga de alumínio anodizado;
- Caixa de Conexão: IP67/IP68 3 diodos
- Cabo: 4mm<sup>2</sup> cabo 30cm
- Conector: MC4 ou compatível com MC4.

Por fim, garanta agora a sua Placa Solar 550W Osda!



## ANEXO B – Inversor Solar Trifásico 60kW Kehua Tech

### Características do Inversor Solar Kehua 60kW:

- Eficiência máxima de 99,00%;
- Ampla Faixa de Tensão e Baixa Tensão de Inicialização;
- Tensão Nominal de Saída CA: 380/400/415 Vca;
- 4 MPPTs (Faixa de Tensão MPPT = 300 Vcc ~ 1000 Vcc);
- Dimensões: 600x860x294 mm;
- Peso: 65 Kg;
- IP65.

### Proteções:

- Anti-Ilhamento;
- Conexão CC Invertida;
- Proteção Contra Curto-Circuito CA;
- Proteção de Temperatura;
- Proteção Contra Surtos;
- Detecção de Falha PV;
- Interruptor CC.



## ANEXO C – Inversor Solar Trifásico 50kW Kehua Tech

### Características do Inversor Solar Kehua 50kW:

- Eficiência máxima de 99,00%;
- Ampla Faixa de Tensão e Baixa Tensão de Inicialização;
- Tensão Nominal de Saída CA: 380/400/415 Vca;
- 4 MPPTs (Faixa de Tensão MPPT = 300 Vcc ~ 1000 Vcc);
- Dimensões: 600x860x294 mm;
- Peso: 65 Kg;
- IP65.

### Proteções:

- Anti-Ilhamento;
- Conexão CC Invertida;
- Proteção Contra Curto-Circuito CA;
- Proteção de Temperatura;
- Proteção Contra Surtos;
- Detecção de Falha PV;
- Interruptor CC.

