



UNILAB

**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA**

INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - IEDS

PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS

DANIEL FACÓ HOLANDA

**O POTENCIAL DO USO DE ENERGIA SOLAR PARA RECARGA DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO PARA UM SISTEMA MICROGERAÇÃO
RESIDENCIAL E UM SISTEMA MINIGERAÇÃO PARA O INTERCAMPI DA
UNILAB**

REDENÇÃO

2023

DANIEL FACÓ HOLANDA

O POTENCIAL DO USO DE ENERGIA SOLAR PARA RECARGA DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO PARA UM SISTEMA MICROGERAÇÃO
RESIDENCIAL E UM SISTEMA MINIGERAÇÃO PARA O INTERCAMPI DA UNILAB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia de Energias da Universidade da Integração da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia de Energias.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro

REDENÇÃO

2023

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Holanda, Daniel Facó.

H722p

O potencial do uso de energia solar para recarga de veículos elétricos: estudo de caso para um sistema microgeração residencial e um sistema minigeração para o intercâmpio da Unilab / Daniel Facó Holanda. - Redenção, 2023.

112fl: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro.

1. Energia solar fotovoltaica. 2. Mobilidade elétrica. 3. Transição energética. I. Cordeiro, Lígia Maria Carvalho Sousa. II. Título.

CE/UF/BSCA

CDD 621.3191

DANIEL FACÓ HOLANDA

O POTENCIAL DO USO DE ENERGIA SOLAR PARA RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO PARA UM SISTEMA MICROGERAÇÃO RESIDENCIAL E UM SISTEMA MINIGERAÇÃO PARA O INTERCAMPI DA UNILAB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do título de graduação em Bacharelado em Engenharia de Energias.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ligia Maria Carvalho Sousa

Aprovado em: 25 / janeiro / 2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **LIGIA MARIA CARVALHO SOUSA**
Data: 09/02/2023 10:07:35-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^ª. Dr^ª. Ligia Maria Carvalho Sousa (Orientadora)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira -UNILAB

Documento assinado digitalmente
 **HUMBERTO ICARO PINTO FONTINELE**
Data: 08/02/2023 13:00:04-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Me. Humberto Icaro Pinto Fontinele
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira -UNILAB

Documento assinado digitalmente
 **VANDILBERTO PEREIRA PINTO**
Data: 08/02/2023 13:23:37-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Vandilberto Pereira Pinto
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira -UNILAB

A Deus;

Aos meus amados pais, Francisco
Holanda e Antonieta Facó;

Aos amigos que me deram forças;

Àqueles que amo.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu a oportunidade de vivenciar essa jornada, e sempre ter sido meu ponto de apoio nos momentos mais difíceis e desafiadores.

À Universidade da Integração da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) por ter sido a minha segunda casa durante esses anos, e ser uma instituição a qual prezo e tenho o máximo respeito.

À professora Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro, pela orientação e apoio nas tomadas de decisões que culminaram nesse presente trabalho.

Aos meus pais, Francisco Holanda e Antonieta Facó por todo o amor, confiança e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

À Laís Andrade, pelo amor, companheirismo e apoio mútuo durante nossas jornadas acadêmicas.

Aos amigos/irmãos Roberto Matheus, Fernando Cesar, Rodrigo Nascimento, Bárbara Gadelha, Renan Braga e Larissa Sousa, que tive o privilégio de compartilhar o convívio acadêmico e moradia durante o curso e que com certeza levarei para a vida.

Ao amigo Thainan Pinheiro, que ajudou a enriquecer esse trabalho e foi meu companheiro de tcc com os nossos respectivos projetos de estudo.

Ao amigo Francisco Simão, que contribuiu com a pesquisa e sempre ajudou com minhas dúvidas sobre o trabalho.

Aos amigos e companheiros de curso, que foram fundamentais para o bom convívio e aprendizado na universidade.

À professora Dra. Sílvia Helena Dantas de Lima que, na época coordenadora do curso de engenharia de energias, me ajudou em um momento em que quase desisti do curso.

A todos os professores e professoras do curso de engenharia de energias da UNILAB.

Aos professores Dr. Humberto Ícaro Pinto Fontenele e Dr. Vandilberto Pereira Pinto, por terem aceitado o convite para compor a banca examinadora desta monografia.

A Energo e a Siliom engenharia, empresas nas quais estagiei e contribuíram para o meu desenvolvimento, sempre com muita atenção e paciência.

“A Jornada de mil quilômetros começa com um único passo.”

(Lao Tzu)

“Seja a mudança que você quer ver no mundo.”

(Mahatma Ghandi)

RESUMO

O presente trabalho faz um estudo sobre a viabilidade econômica e energética do uso de energia solar fotovoltaica para recarga de carros elétricos, apresentando dois estudos de caso, o primeiro para uma residência em baixa tensão com um veículo elétrico e um sistema de geração fotovoltaico instalado classificado na categoria de microgeração distribuída, com potência pico de 7,04kWp, o segundo apresenta análise de monitoramento da geração da usina Auroras I do campus das Auroras da UNILAB – CE, classificado como um sistema de minigeração distribuída, com potência pico de 254,21 kWp, e apresenta um comparativo de gasto com combustível entre um veículo elétrico e um a combustão. O estudo apresenta uma análise e uma memória de cálculo para a introdução de um veículo elétrico, apresentando a influência no consumo de energia elétrica possibilitando assim, determinar como um veículo elétrico pode ser dimensionado para um sistema solar com potência do projeto suficiente para atender a demanda do local e do veículo, abrindo caminho para uma futura análise mais aprofundada do impacto da transição da mobilidade urbana por veículos a combustão para veículos elétricos e a mobilidade elétrica, para o setor elétrico nacional e internacional.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, Mobilidade elétrica, Transição energética.

ABSTRACT

This work studies the economic and energetic viability of using photovoltaic solar energy to recharge electric cars, presenting two case studies, the first for a low-voltage residence with an electric vehicle and a photovoltaic generation system installed classified in the distributed microgeneration category, with a peak power of 7.04kWp, the second presents a monitoring analysis of the generation of the Auroras I plant on the Auroras campus of UNILAB - CE, classified as a distributed minigeneration system, with a peak power of 254.21 kWp, and presents a comparison of fuel costs between an electric vehicle and a combustion vehicle. The study presents an analysis and a calculation memory for the introduction of an electric vehicle, presenting the influence on the consumption of electric energy, thus making it possible to determine how an electric vehicle can be dimensioned for a solar system with enough project power to meet the demand. of the place and the vehicle, paving the way for a future more in-depth analysis of the impact of the transition from urban mobility by combustion vehicles to electric vehicles and electric mobility, for the national and international electric sector.

Keywords: Photovoltaic solar energy, Electric mobility, Energy transition.

LISTA DE FIGURA

Figura 01 - Matriz energética mundial 2020.	18
Figura 02 - Suprimento total de energia- Mundial (TES).....	19
Figura 03- Matriz energética brasileira 2021.	20
Figura 04- Suprimento total de energia - Brasil (TES).	21
Figura 05- Matriz elétrica mundial 2020.	22
Figura 06- Matriz elétrica brasileira 2021	22
Figura 07 – LCOE para energias renováveis 2010-2022.	23
Figura 08 – Tamanho de mercado estimado para energias limpas 2020-2050	24
Figura 09 – Taxa de diminuição de emissão de CO2 por modelo para 2020-2050.....	26
Figura 10 – Geração de pares elétron-lacuna.	28
Figura 11 – Configurações dos materiais semicondutores tipo p tipo n.....	30
Figura 12 – Estrutura de uma junção pn de uma célula fotovoltaica	30
Figura 13 – Célula fotovoltaica monocristalina e policristalina.	31
Figura 14 – Curva I-V característica da célula fotovoltaica	33
Figura 15 – Circuito equivalente básico para uma célula fotovoltaica	33
Figura 16 – Curva I-V de uma célula fotovoltaica sobre variação da irradiância.	34
Figura 17 – Curva I-V de uma célula fotovoltaica sobre variação da temperatura.....	34
Figura 18 – Associação em série para dispositivos fotovoltaicos.	36
Figura 19 – Associação em paralelo para dispositivos fotovoltaicos.	36
Figura 20 – Estrutura de um módulo fotovoltaico.	36
Figura 21 – Esquemático do albedo solar em um módulo fotovoltaico bifacial.....	37
Figura 22 – Exemplo de uma estrutura carport.	38
Figura 23 – Esquema para um arranjo fotovoltaico simples.....	39
Figura 24 – Esquema para um arranjo fotovoltaico com múltiplas entradas.....	39
Figura 25 – Emissão de CO2 para os transportes por setor 2000-2030.....	41
Figura 26 – Vendas e registros de veículos elétricos de 2016 - 2021.	43
Figura 27 – Dados técnicos de algumas tecnologias de baterias.	44
Figura 28 – Veículo Híbrido (HEV)	45
Figura 29 – Veículo Híbrido Plug-in (PHEV)	46
Figura 30 – Veículo Elétrico a Bateria (BEV).....	48
Figura 31 – Veículo Elétrico a Células de Combustível (FCEV).	48
Figura 32 – Evolução da produção e demanda de hidrogênio por uso final.....	51

Figura 33 – Evolução do alcance dos veículos elétricos por powertrain.	51
Figura 34 – Irradiação solar diária média para Caucaia – CE.	53
Figura 35 – Endereço da usina.	53
Figura 36 – Diagrama Unifilar.....	54
Figura 37 - Irradiação solar diária média para Redenção – CE.....	55
Figura 38 – Localização da UFV Auroras I.....	55
Figura 39 – UFV Auroras I.....	56
Figura 40 – Esquema de ligação dos inversores 1 e 3 / 2 e 4.....	58
Figura 41 - Esquema de ligação dos inversores 5 e 6.....	58
Figura 42 – Dados de geração anual 2022.	59
Figura 43 – Especificações técnicas Renault Zoe.	60
Figura 44 – Geração média anual registrada pelo inversor.	66
Figura 45 – Geração mensal de maio e junho de 2021.....	67
Figura 46 – Gráfico da curva de potência CA para janeiro de 2022.....	70
Figura 47 – Gráfico da curva de potência CA para janeiro de 2022.....	73
Figura 48 – Gráfico da curva de potência CA para fevereiro de 2022.	73
Figura 49 – Gráfico da curva de potência CA para março de 2022.....	73
Figura 50 – Gráfico da curva de potência CA para abril de 2022.	74
Figura 51 – Gráfico da curva de potência CA para maio de 2022.....	74
Figura 52 – Gráfico da curva de potência CA para junho de 2022.....	75
Figura 53 – Curva de potência CA média primeiro semestre de 2022.....	76
Figura 54 – Energia gerada média mensal.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Coordenadas da usina.	53
Tabela 02 – Componentes do gerador fotovoltaico.	54
Tabela 03 – Coordenadas da UFV Auroras.....	55
Tabela 04 – Componentes gerais do sistema.....	57
Tabela 05 – Configuração da UFV por inversor.....	57
Tabela 06 – Exemplo da rotação de ônibus da universidade.....	64
Tabela 07 – Geração mensal e anual de energia solar.....	67
Tabela 08 – Dados de potência CA para um dia.....	70
Tabela 09 – Dados de potência CA para uma semana.....	70
Figura 46 – Gráfico da curva de potência CA para janeiro de 2022.....	70
Tabela 10 – Correção de lacunas de dados.....	71
Tabela 11 – Valores com correção de dados de geração.....	72
Tabela 12 – Dados de potência CA mensal.	72
Tabela 14 – Média mensal de potência CA (kW)	76
Tabela 15 – Horas de sol diária média.	77
Tabela 16 – Energia gerada mensal.	77
Tabela 17 – Dados do intercâmbio para um mês.....	78
Tabela 18 – Dados de abastecimento e rota do ônibus 1 para 2019.....	78
Tabela 19 – Dados de abastecimento e rota do ônibus 1 para abril de 2022.....	79
Tabela 20 – Dados de abastecimento e rota do ônibus 2 para 2019.....	79
Tabela 21 – Dados de abastecimento e rota do ônibus 2 para 2022.....	79

GLOSSÁRIO

A	<i>Ampere</i>
APS	<i>Announced pledges scenario</i>
As	<i>Arsênico</i>
B	<i>Boro</i>
BEN	<i>Balanço energético nacional</i>
CEPEL	<i>Centro de pesquisas de energia elétrica</i>
CO2	<i>Gás carbônico</i>
CRESESB	<i>Centro de referência para energia solar e eólica de salvo brito</i>
Ef	<i>Energia do fóton</i>
EPE	<i>Empresa de pesquisa energética</i>
eV	<i>Elétron volt</i>
f	<i>Frêquencia</i>
Ga	<i>Gálio</i>
GTCO2	<i>Giga toneladas de co2</i>
GW	<i>Gigawatt</i>
h	<i>Constante de planck</i>
I0	<i>Corrente de saturação reversa ao diodo</i>
IEA	<i>International energy agency</i>
IL	<i>Corrente fotogerada</i>
IRENA	<i>International renewable energy agengy</i>
K	<i>Kelvin</i>
kWh	<i>Kilo watt hora</i>
kWp	<i>Kilo watt pico</i>
LCOE	<i>Levelized cost of energy</i>
MWp	<i>Megawatt pico</i>
NZE	<i>Net zero emissions</i>
°C	<i>Graus celsius</i>
ODS	<i>Objetivos do desenvolvimento sustentável</i>
ONU	<i>Organização das nações unidas</i>
P	<i>Fósforo</i>
q	<i>Carga do elétron</i>
SDS	<i>Sustainable development scenario</i>

Si	<i>Silício</i>
SiGS	<i>Silício grau solar</i>
STEPS	<i>Stated policies scenario</i>
TES	<i>Total energy supply</i>
TWh	<i>Terawatt hora</i>
V	<i>Volt</i>
VAC	<i>Veículo a combustão</i>
VE	<i>Veículo elétrico</i>
WEO	<i>World energy outlook</i>
Wp	<i>Watt pico</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo Geral	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Matriz energética mundial e nacional.....	18
2.2 Panorama da transição energética mundial	23
2.3 Energia Solar Fotovoltaica	26
2.3.1 Funcionamento da célula fotovoltaica	28
2.3.2 Características elétricas das células fotovoltaicas	31
2.4 Características dos módulos fotovoltaicos	35
2.5 Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	38
2.6 Mobilidade urbana e mobilidade eletrificada.....	40
2.6.1 Histórico da mobilidade urbana.	40
2.6.2 Mobilidade elétrica.....	42
2.6.3 Energia solar, hidrogênio verde e a mobilidade elétrica.....	49
3. METODOLOGIA	52
3.1 Identificação dos locais de estudo	52
3.2 Descritivo do cenário de microgeração residencial	52
3.3 Descritivo do cenário de minigeração do campus Auroras – UNILAB – CE	55
3.4 Cenário de microgeração residencial	58
3.5 Cenário de minigeração da usina do campus Auroras – UNILAB – CE	62
4. RESULTADOS	66
4.1 Cenário de microgeração residencial	66
4.2 Cenário de minigeração para o sistema intercampi.....	69
4.2.1 Dados de geração	69
4.2.3 Resultados do modelo de mobilidade elétrica	80
5. Considerações finais	84
6. Referências	85
7. Anexos	89

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do desenvolvimento da sociedade humana, desde os princípios de organização dos seres humanos, há dois grandes núcleos que fomentaram e foram responsáveis pelo avanço do homem através das eras, sendo estes, a utilização e necessidade de obter e desenvolver fontes de energia para uso em seu benefício e o constante movimento entre os locais que o homem habita e modifica. A partir do momento que sociedades começaram a serem formadas, organizadas e conseqüentemente expandidas, o constante fluxo de pessoas e culturas foi o motor principal do desenvolvimento ao longo dos séculos (Portugal, 2017.).

O Sol é a uma fonte de energia essencial, fato esse que rege todos os ciclos e comportamentos das criaturas vivas no planeta terra, como um exemplo temos animais que se utilizam da ausência da energia luminosa para terem mais chances de sucesso na caçada. De forma oposta, temos animais que possuem hábitos diurnos para enxergarem melhor e se alimentarem com a luz proveniente deste. Com os humanos não é diferente, sendo referenciado como um deus por vários povos ao longo das eras. Somos uma espécie predominantemente diurna, utilizando-se principalmente de fontes luminosas de fogo até meados do século XIX, quando foi inventada a iluminação elétrica por Thomas Edison.

Moreira (2017) afirma que o Sol é a fonte primária de obtenção de energia, uma vez que praticamente todas as fontes de energia necessárias à sobrevivência do homem, como alimentos (vegetais ou animais), calor e luz. Algumas das principais fontes renováveis de energia são diretamente dependentes do ciclo solar diário, como o caso da energia eólica, que necessita dos ventos, que são produzidos pela diferença de pressão atmosférica decorrente dos diferentes níveis de aquecimento gerados pelo sol, e resfriamento da atmosfera para que os ventos produzidos por esse fenômeno de convecção e diferença de pressão. Já a energia hidrelétrica é influenciada pelo ciclo da água regrado além de outros aspectos, principalmente pela posição do planeta em relação ao Sol durante o ano, dando origem as estações que conhecemos.

A energia solar é utilizada pelo homem para produção de energia elétrica desde o século XX, tendo um crescimento considerável a partir do século XXI, sendo uma das principais vertentes das energias renováveis e desenvolvimento sustentável, pois é considerada uma fonte limpa e renovável, tendo um crescimento notório a partir da segunda década do século.

O movimento de desenvolvimento sustentável é uma pauta discutida por líderes de todas as nações e empresas do mundo, sendo um dos principais assuntos das reuniões mundiais, que foi primeiramente usado em 1987 no Relatório Brundtland, elaborado pela Comissão Mundial

sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento pertencente a ONU. A partir da RIO-92 a questão ambiental começou a ser frequentemente debatida entre esses líderes (Agência Senado,2017.).

Segundo Moreira (2017), estima-se que a maioria das pessoas do século XIX e anteriores ficavam confinadas em um raio de poucas dezenas de quilômetros da região em que viviam, essas distâncias somente sendo superadas por caravanas de comércios e grandes migrações, ou em cidades portuárias, por embarcações a remo ou a vela.

A partir do século XVIII com a primeira revolução industrial e utilização da máquina a vapor o fluxo de pessoas entre as cidades e nações foi intensificado, resultando em estudos mais aprofundados de mobilidade urbana principalmente a partir da metade do século XIX.

A necessidade de adequação da matriz energética mundial causou uma mudança de pensamento em pesquisa e desenvolvimento na indústria de energia e de automóveis, cada vez mais sendo introduzidos conceitos de energia renovável e desenvolvimento sustentável, incentivando e originando o uso de veículos eletrificados híbridos ou completamente elétricos. O conceito de mobilidade urbana eletrificada e mobilidade sustentável é uma vertente com poucas pesquisas em domínio público ainda em 2022, porém empresas estão investindo em P&D para desenvolver produtos que atendam as demandas ambientais, como postos de recarga para vários veículos que está sendo desenvolvido projeto piloto pela EDP Brasil (CNN BRASIL, 2020.) Embora ainda não seja uma realidade firme no mercado é muito promissora devido aos vários acordos que regulam e incentivam medidas de desenvolvimento sustentáveis.

Dito isso, temos uma área que necessita de muita pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias para os próximos anos e posteriormente nas décadas de 30 a 50, sendo 2035 o ano em que alguns países que compõem a união europeia estabeleceram como meta para a proibição de veículos a combustão (Estadão, 2022.).

Dessa forma, a presente pesquisa está justificada e embasada nessa vertente, que busca estudar e preparar o sistema elétrico e a expansão da matriz elétrica para atender essa nova carga e viabilizar o desenvolvimento sustentável aplicando os conceitos de mobilidade e utilização da energia solar como uma das fontes primárias para suprir a necessidade de tais veículos.

Pode-se resumir o trabalho nos seguintes objetivos.

1.1 Objetivo Geral

Apresentar características de funcionamento de um sistema solar, modelando parâmetros para abastecimento de um ou mais pontos de recarga para veículos elétricos. Apresentando estudo de viabilidade energética e financeira.

1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar uma simulação de como seria a interação de uma usina fotovoltaica e um sistema para abastecimento de veículos elétricos;
- Apresentar uma análise financeira e energética para o modelo;
- Analisar o impacto da transição de mobilidade a combustão para elétrica no sistema elétrico nacional.

Dessa forma, a metodologia aplicada a esse trabalho será baseada em um estudo de caso, em que se realiza a análise de parâmetros de consumo de combustível, eficiência e autonomia dos veículos a combustão, em comparação com um veículo elétrico e a interação com uma usina fotovoltaica alimentando a estação de recarga em dois cenários:

- Uma usina de 254,21 kWp (minigeração distribuída) para recarga de dois ônibus elétricos;
- Uma usina de 7,04kWp (microgeração distribuída) para recarga de um carro elétrico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Matriz energética mundial e nacional

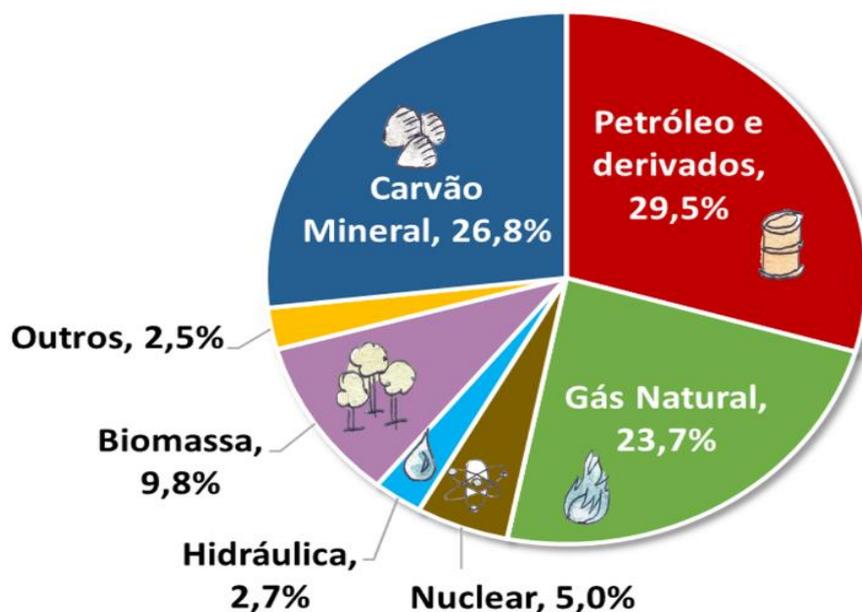
Segundo Moreira (2017, p.7.) a matriz energética é o panorama de distribuição real de aproveitamento dos recursos energéticos dentro de um país, de uma região ou do mundo. Sua determinação é diretamente vinculada ao balanço energético, e sua aplicação é dada por estudos setoriais que têm por finalidade apresentar a situação de oferta e demanda de energia de um estado, região, país, bloco econômico ou do mundo.

A EPE (2022.) define que a matriz energética é o balanço do conjunto de fontes de energias disponíveis para atender toda a demanda energética do local de estudo, enquanto a matriz elétrica é o balanço das fontes ou recursos energéticos que são utilizados apenas para a produção de energia elétrica.

Dito isso, ao analisar as matrizes energéticas e elétricas do Brasil e do mundo, percebe-se que desde a RIO-92 houve um comprometimento das autoridades mundiais para mudar este cenário.

A matriz energética mundial consiste principalmente por fontes não renováveis de energia (IEA, 2022), sendo essas fontes responsáveis por cerca de 80% da matriz mundial em 2020, como mostra o gráfico abaixo:

Figura 01 - Matriz energética mundial 2020.



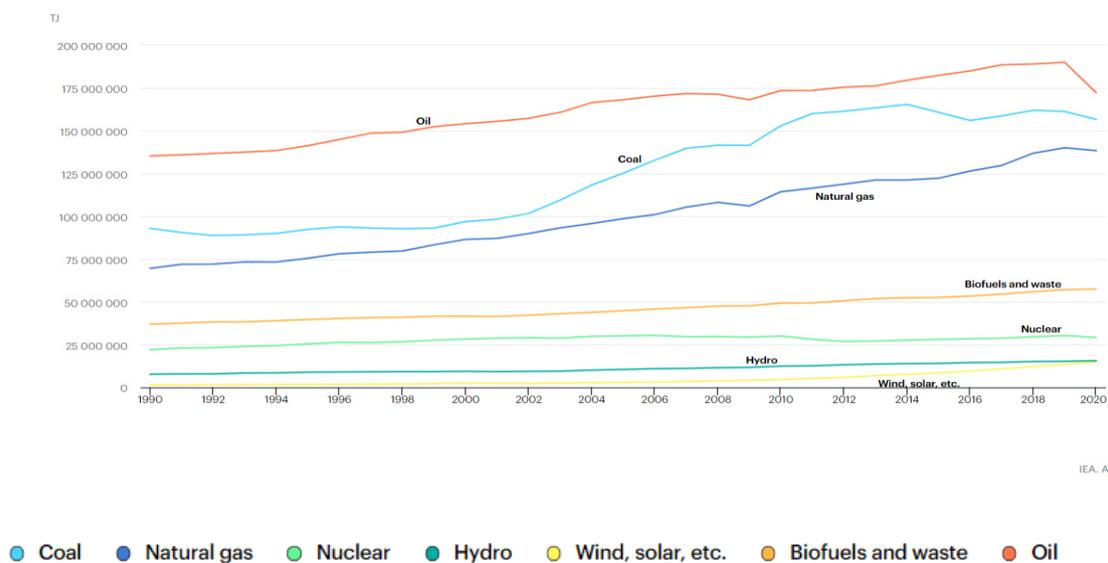
(IEA, 2022)

Percebe-se que mesmo com os encontros e termos assinados desde a RIO-92, o protocolo de Kyoto e recentemente a RIO+20, alguns dos principais encontros de líderes mundiais, em que acordos e metas foram traçados, a participação de fontes não renováveis de energia e/ou poluentes não vem diminuindo da forma como fora prevista, segundo o mais recente levantamento de transição energética feito pela IEA publicado no World Energy Outlook 2021 (WEO-2021). No documento, a IEA afirma que a transição energética está acontecendo a passos lentos. Se o cenário continuar desta forma, a meta de zerar as emissões até 2050 não será atingida. O estudo aponta também que é perceptível o aumento da necessidade da humanidade por energia elétrica, mesmo com a recente pandemia de Covid-19 e as medidas sanitárias aplicadas por governos de todo o mundo, resultando em uma mudança definitiva nas relações e modelos trabalhistas pois, uma parte da população e empresas se adaptaram tão bem aos novos modelos de trabalho à distância que, mesmo com o relaxamento das medidas adotadas, continuaram com o modelo, levando a um consumo maior de energia nas residências.

Segundo relatório da IEA, o consumo de fontes não renováveis, apesar de estar em uma queda em ritmo lento comparado com as metas estabelecidas nos encontros supracitados, vem diminuindo de forma significativa, em contrapartida ao aumento da participação de fontes renováveis, com destaque para as fontes solares e eólicas, como mostra a figura 02 o gráfico do suprimento total de energia mundial no intervalo de 1990 a 2020.

Figura 02 - Suprimento total de energia- Mundial (TES)

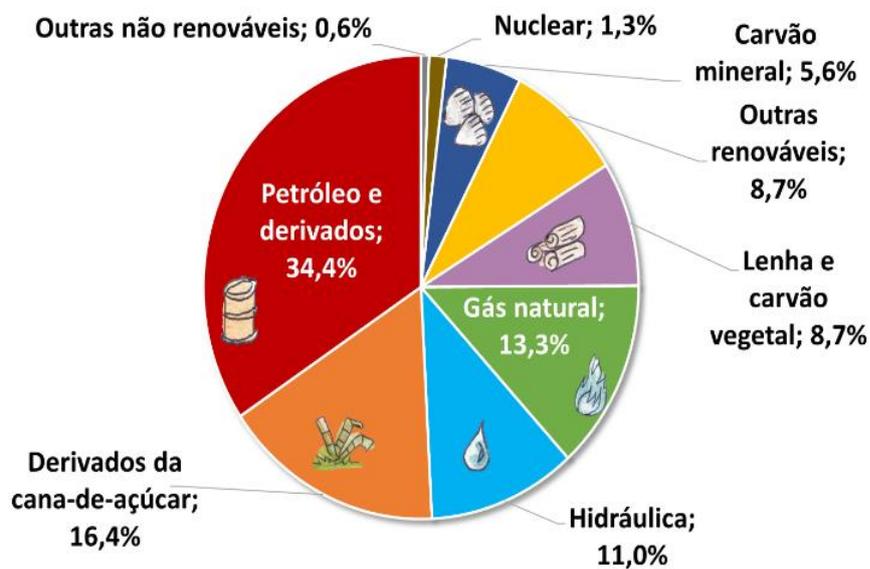
Total energy supply (TES) by source, World 1990-2020



(IEA, 2022)

A matriz energética brasileira é semelhante ao modelo mundial, tendo como fonte principal o uso de petróleo e derivados, o que a caracteriza como uma matriz não renovável, o que confunde muitos brasileiros, que associam a grande participação da energia hidrelétrica no país a existência de uma matriz energética mais renovável. Como mostrado no gráfico da Figura 03, mesmo com grandes participações das fontes renováveis, o consumo de energia no Brasil tem característica predominantemente não renovável, principalmente devido a frota de automóveis.

Figura 03- Matriz energética brasileira 2021.



(BEN, 2022)

Segundo a EPE, somando as participações de derivados da cana, hidráulica e outras renováveis, as fontes renováveis totalizam cerca de 36,1%, isso equivale a quase metade da matriz energética brasileira, quando considerando a lenha e carvão vegetal como fontes renováveis (44,8%), o que a caracteriza como uma das mais renováveis do mundo.

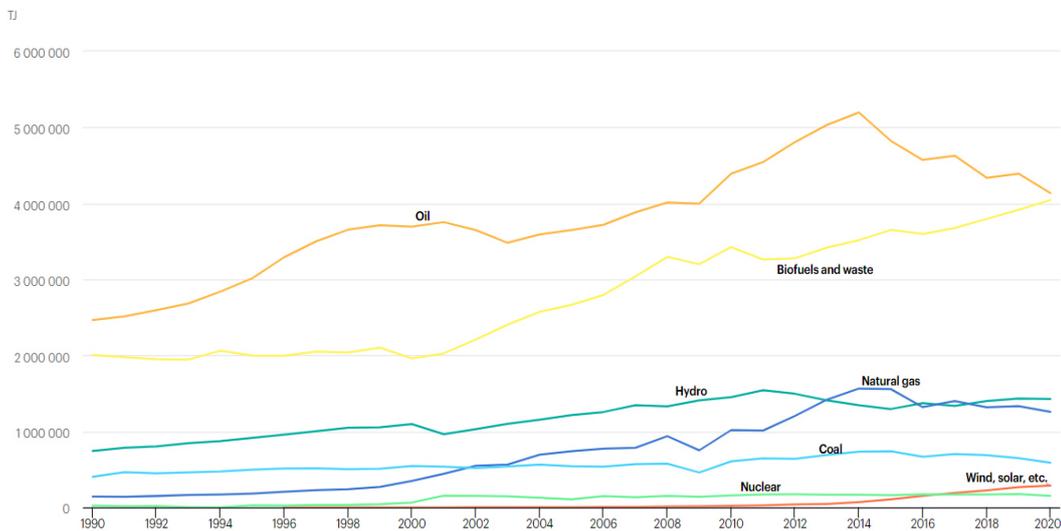
A participação das fontes renováveis na matriz deve-se primeiro ao Proálcool (Programa Nacional do Álcool) criado em 1975, que consistiu em incentivos do governo para pesquisa e produção de álcool combustível (etanol) para substituir a gasolina, visto que a década de 1970 foi marcada por uma crise mundial do petróleo, elevando os preços dos dessa matéria prima, o que impactou de forma direta no plano de governo à época.

Em segundo à formação e localização geográfica do país, caracterizado por grandes bacias hidrográficas e por volumes de precipitações consideráveis, sendo esses fatores responsáveis pela grande quantidade de usinas hidrelétricas no plano energético nacional.

A análise energética da IEA para o Brasil, considerando os mesmos intervalos supracitados, permite afirmar que o país, assim como o modelo mundial, está lentamente diminuindo o consumo de petróleo e derivados e aumentando da mesma forma a participação de fontes energéticas renováveis, com os mesmos destaques para as fontes solar e eólica.

Figura 04- Suprimento total de energia - Brasil (TES).

Total energy supply (TES) by source, Brazil 1990-2020



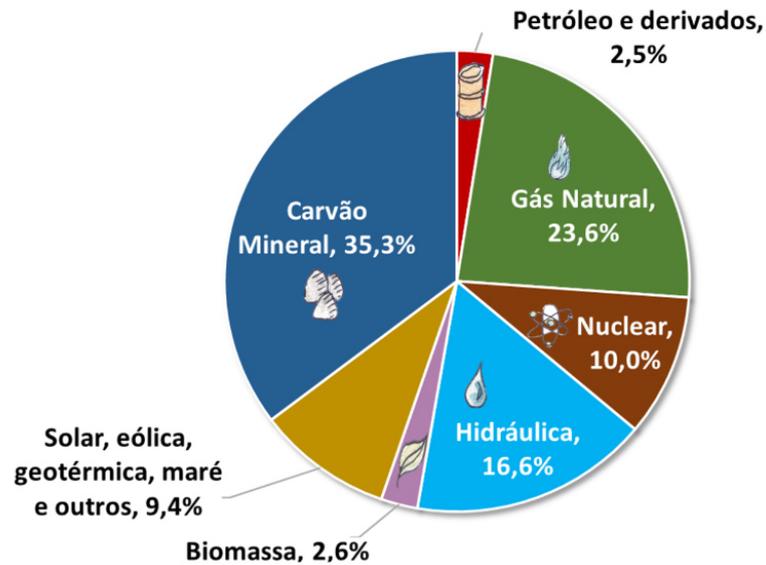
IEA. All rights reserved.

● Coal ● Natural gas ● Nuclear ● Hydro ● Biofuels and waste ● Oil ● Wind, solar, etc.

(IEA, 2022)

A matriz elétrica mundial é semelhante ao modelo energético, caracterizando-se por ser uma matriz não renovável, segundo dados da IEA para 2020 como pode ser visto na figura 05 abaixo representando as participações de cada fonte de geração de energia elétrica.

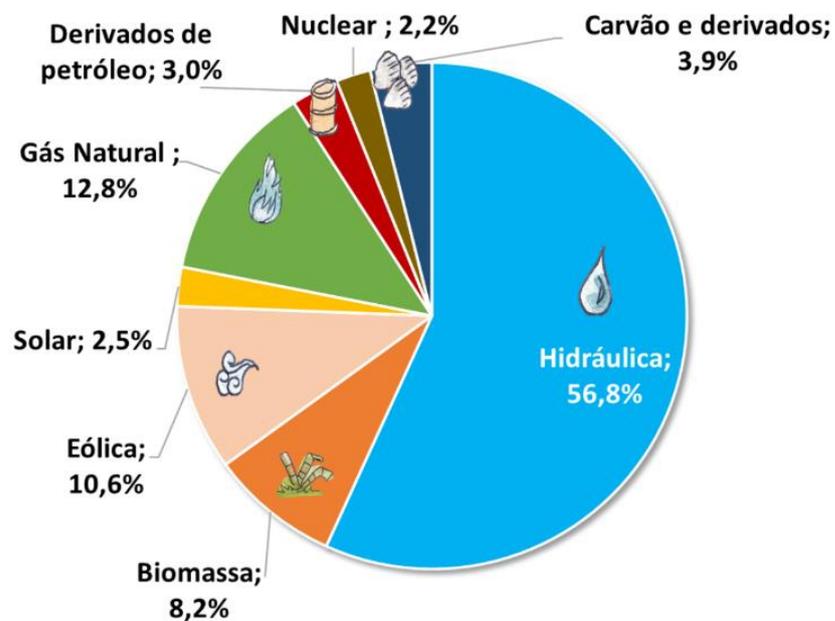
Figura 05- Matriz elétrica mundial 2020.



(IEA, 2022)

Em contrapartida segundo dados do balanço energético nacional (BEN) a matriz elétrica brasileira é caracterizada por ser uma matriz renovável, como mostra a figura 06.

Figura 06- Matriz elétrica brasileira 2021



(BEN, 2022)

Como um dos principais motivos da matriz energética brasileira ainda não ser renovável é a participação do petróleo e derivados na frota de automóveis, possíveis soluções e apostas

do setor de transição energética é a transição da mobilidade a combustão para a mobilidade elétrica e mobilidade urbana de uso compartilhado e o investimento na expansão das participações das fontes solar e eólica.

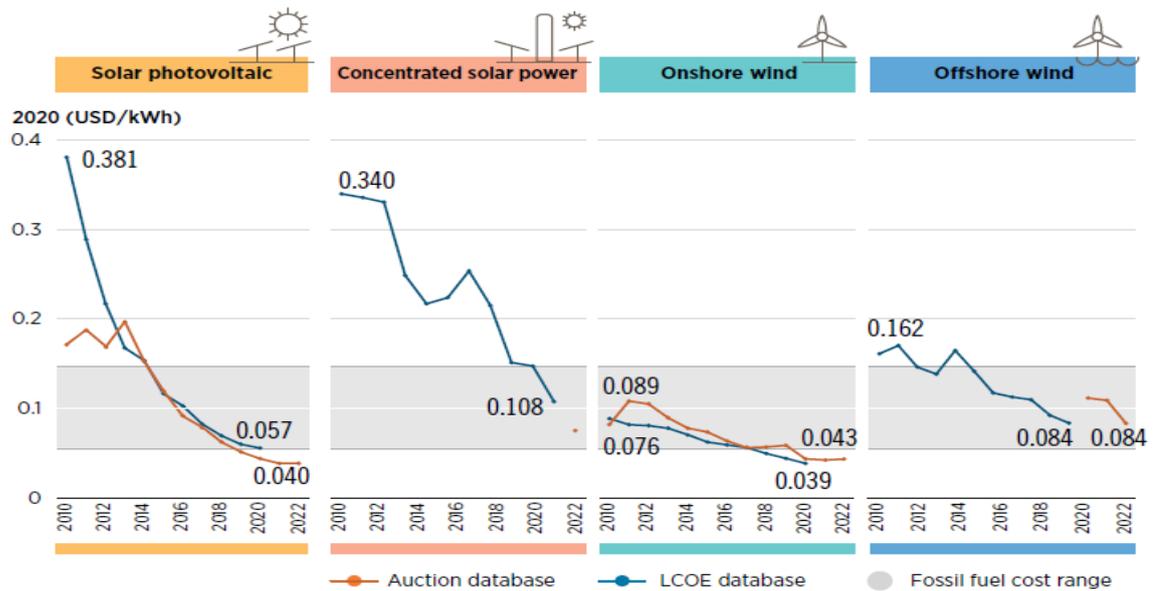
2.2 Panorama da transição energética mundial

A transição energética é um dos principais tópicos discutidos a partir de 2012 com a RIO+20, encontro que foi marcado pela adoção de metas mais objetivas para frear o aquecimento global e incentivar metas de desenvolvimento sustentável. É também a partir desse encontro que percebeu-se um movimento por parte de empresas, investidores e funcionários que empresas que passam a adotar medidas de compensação de emissão de gases de efeito estufa, e adotam as medidas estabelecidas pela ONU como objetivos do desenvolvimento sustentável os ODS tem mudado o panorama do cenário mundial de visibilidade, fazendo com que essas empresas sejam mais atrativas e bem vistas pelo mercado mundial, como aponta a pesquisa da Associação brasileira de comunicação empresarial ABERJE.

De acordo com relatório da IRENA as fontes renováveis aumentaram suas participações em cerca de 130%, enquanto as não renováveis cresceram em 24% entre 2001 e 2021 (IRENA, 2022, p.42.). A capacidade instalada de energias renováveis chegou a 3064 GW, gerando cerca de 8000 terawatts-hora (TWh) de eletricidade, uma marca que é comemorada pelo setor, mas que ainda está distante das metas estabelecidas para satisfazer os modelos matemáticos de 1,5°C, precisando ser triplicado até 2030 para atender a essas metas.

O consumo final de energia elétrica tem aumentado de forma considerável nas últimas décadas, atingindo cerca de 20% da parcela total de destinação da energia produzida (IEA, 2022). Este cenário denota que o custo nivelado da produção de energia (LCOE) vem caindo e as parcelas mais baixas da pirâmide econômica passaram a ter mais acesso e um maior consumo de energia, o que demonstra uma mudança no movimento socioeconômico. A figura 07, pode ser vista a queda do LCOE para algumas fontes renováveis, em comparação com o custo de produção de energia para os combustíveis fósseis.

Figura 07 – LCOE para energias renováveis 2010-2022.

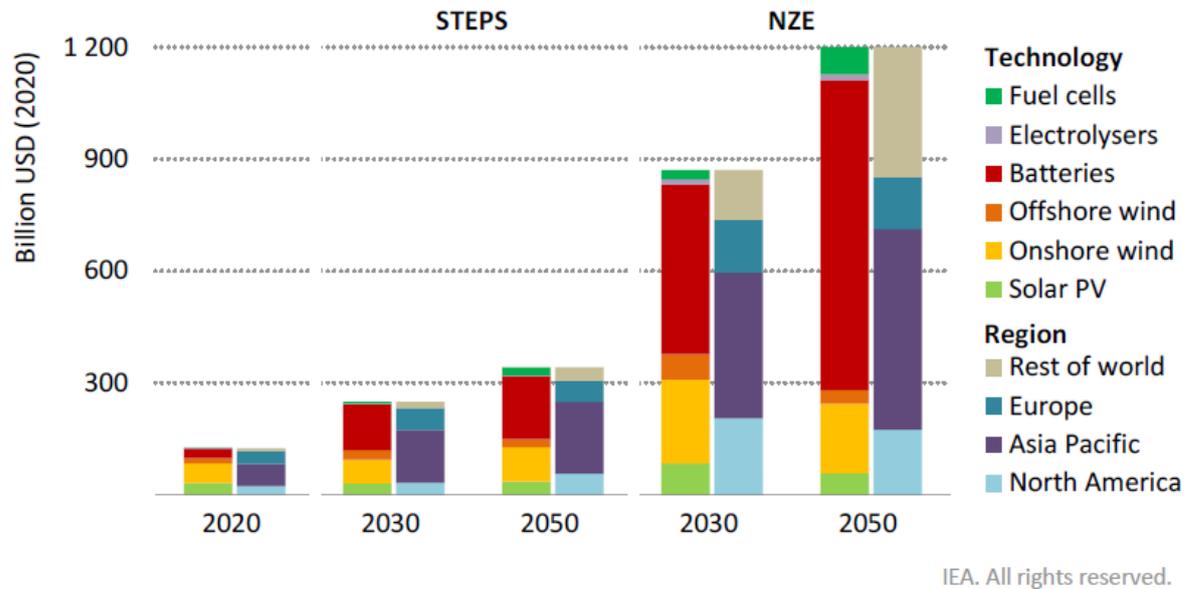


(IEA, 2022)

No modelo Net Zero Emissions (NZE) estima-se que o consumo de energia elétrica final, aquela energia elétrica direcionada exclusivamente ao consumo, seja em torno de 50% em 2050 (IEA, 2022), o que, juntamente a grande zona comercial da mobilidade elétrica, demandará toda uma infraestrutura de expansão de geração de energia, transmissão e armazenamento de energia para atender o acréscimo de consumo.

Dessa forma, existe um amplo mercado pronto para implantação e crescimento para os anos seguintes seguindo esse modelo de desenvolvimento sustentável, estimando-se um acumulativo de \$ 27 trilhões de dólares até 2050, com diversas áreas necessitando de investimentos (IEA, 2022), como mostra a figura 08.

Figura 08 – Tamanho de mercado estimado para energias limpas 2020-2050



(IEA, 2022)

As previsões para diminuição das emissões de CO₂ seguem quatro cenários, sendo eles:

- **STEPS – STATED POLICIES SCENARIO**

É um modelo mais conservador de previsão de adoção e aplicação das políticas de desenvolvimento sustentável acordadas entre os governos, levando em consideração que tais políticas não serão garantidas para chegar as metas estabelecidas.

O cenário considera as políticas e medidas de implementação que afetam os mercados de energia que foram adotadas até o final de setembro de 2022. Os tipos de anúncios feitos pelos governos incluem algumas metas de longo alcance, incluindo aspirações de alcançar acesso total à energia em alguns anos, reformar regimes de preços e, mais recentemente, atingir emissões líquidas zero em alguns países e setores. (IEA,2022.).

- **APS – ANNOUNCED PLEDGES SCENARIO**

É um modelo introduzido em 2021, que busca mostrar como deve ser a transição energética, levando em consideração a aplicação dos compromissos assumidos para reduzir a emissão de CO₂ até 2050, levando em conta todas as afirmações e metas de cada país, para o período de 2022 a 2030.

- **SDS – SUSTAINABLE DEVELOPMENT SCENARIO**

Esse modelo tem como objetivo aumentar os investimentos em eficiência energética e energias renováveis para atingir as metas estabelecidas no acordo de Paris até 2040. O Cenário

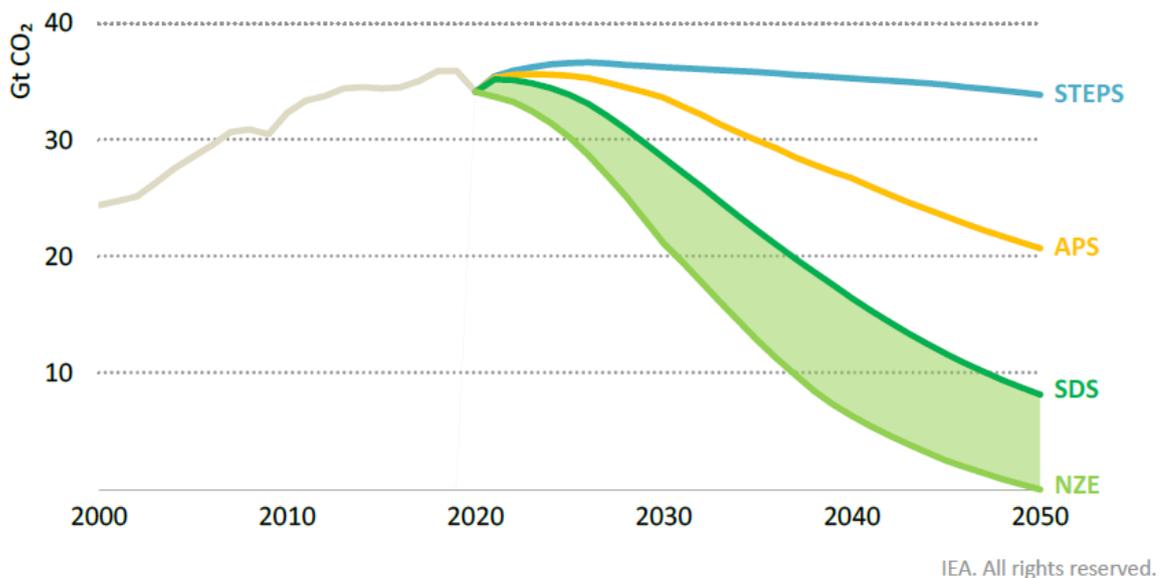
de Desenvolvimento Sustentável limitaria o aumento da temperatura global abaixo de 1,8°C com uma probabilidade de 66% se as emissões de CO₂ permanecessem em zero líquido após 2070. (IEA,2022.).

- NZE – NET ZERO EMISSIONS

O modelo NZE da IEA é um cenário que tem como objetivo principal emissão zero de CO₂ até 2050, e atendendo aos principais objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) das Nações Unidas, relacionadas à energia, em particular alcançar o acesso universal a energia, e tem como objetivo final a meta de frear o aquecimento global a 1,5°C.

A partir desses modelos a IEA prevê que a redução das emissões de CO₂ em Giga toneladas podem ser expressas pelo seguinte gráfico.

Figura 09 – Taxa de diminuição de emissão de CO₂ por modelo para 2020-2050



(IEA, 2022)

Os dados previstos passam boas impressões para o setor de energia renovável, eficiência, gestão de energia e mobilidade elétrica, visto que a janela de oportunidades e empregos oriundos desses investimentos deve fomentar o setor que passará a ser o principal setor de energias até 2050.

2.3 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é obtida a partir da conversão da radiação solar, que incide no painel fotovoltaico, onde na célula fotovoltaica ocorre o efeito fotoelétrico, resultando em energia elétrica em forma de corrente contínua (MOREIRA, 2017).

O efeito fotovoltaico foi primeiramente observado por Edmond Becquerel, em 1839, ao observar uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica de prata causada pela absorção de luz. (CEPEL; CRESSSESB, 2014). Em 1877, W.G. Adams e R.E. Day produziram a primeira célula solar baseada em dois elétrodos de selênio que produziam uma corrente elétrica ao serem expostos a radiação, porém com uma eficiência pequena as células solares tiveram que esperar até que estudos mais avançados sobre os materiais semicondutores fossem feitos. Em 1954, D.M Chapin e colaboradores do Bell Laboratory, nos Estados unidos da América foram os primeiros a publicarem um artigo sobre células solares de silício, e em paralelo registraram a primeira patente dessa tecnologia para uma célula com uma eficiência de 4,5%. (BRITO, 2006).

Inicialmente, o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica apoiou-se em empresas do setor de telecomunicações, de fontes de energias para pequenos sistemas instalados em localidades remotas e por fim pela corrida espacial, já que a célula fotovoltaica era, e continua sendo, o meio mais adequado por ter o menor custo, peso e maior segurança para equipar foguetes e satélites, fornecendo alimentação no espaço para os componentes eletrônicos que os compõem. (CEPEL; CRESSSESB,2014).

A tecnologia fotovoltaica veio a ser fortemente incentivada a partir do protocolo de Kyoto, que firmou compromissos e políticas para redução de emissão de CO₂ e desenvolvimento sustentável. Em 1998, a produção mundial de células atingiu a marca de 150 MWp. A partir de 2006 foi observado um grande crescimento e desenvolvimento no mercado fotovoltaico devido ao crescimento e incentivo da produção pela China, em 2003 a Ásia não figurava entre os dez maiores fabricantes do mundo, já em 2008, três desses eram da China e um de Taiwan, em 2009 a China já ocupava a liderança na fabricação de módulos. (CEPEL; CRESSSESB,2014).

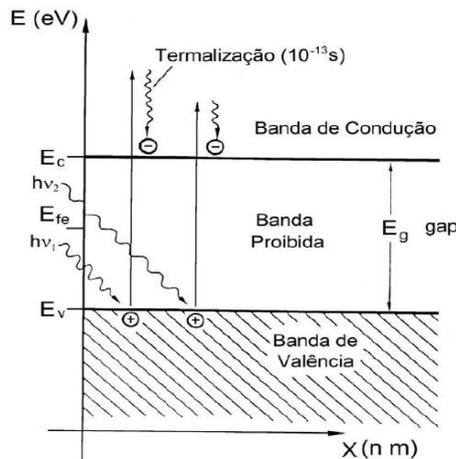
As células fotovoltaicas que dominam o mercado são compostas por lâminas de silício cristalino, sendo divididas em dois tipos, o monocristalino ou policristalino, sendo responsáveis por cerca de 87,9% deste mercado.

2.3.1 Funcionamento da célula fotovoltaica

A célula fotovoltaica é composta por um material semicondutor, que são caracterizados por mudarem sua propriedade de acordo com as condições a que são submetidos, comportando-se como condutores ou isolantes. Esses materiais são caracterizados por possuírem uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução vazia (sem elétrons), na temperatura do zero absoluto (0 K). (CEPEL; CRESSESSEB,2014).

O material semicondutor mais utilizado para a construção de células fotovoltaicas é o Silício Grau Solar (SiGS). Esse nome é dado ao silício que passa por um processo de purificação até chegar a cerca de 99,99% de pureza. O silício é o semicondutor mais utilizado na indústria tanto solar como de eletrônicos, sendo utilizado bastante em chips e computadores. O silício puro caracteriza-se por não ser um bom condutor, e para que isso seja corrigido faz-se um processo de dopagem adicionando impurezas, sendo o tipo P quando ocorre a adição de boro (B) ou gálio (Ga) ao silício, esses elementos são trivalentes e quando ligados ao silício criam lacunas que conduzem corrente elétrica e geram cargas positivas. O tipo N ocorre quando há a adição de fósforo (P) ou arsênico (As) ao silício, como ambos os elementos possuem cinco elétrons livres na camada de valência, ao se ligarem com o silício que por sua vez possui quatro elétrons livres na camada de valência resulta em um elétron livre que ao ser estimulado ganha movimento e energia, gerando assim a corrente elétrica. A chamada *junção pn* é aplicada para aproveitar essa energia através da aplicação de um campo elétrico, conseguindo assim converter a energia cinética do movimento dos elétrons em corrente e tensão. As bandas de valência e condução são representadas na figura 10 onde, E_c – nível inferior de energia da banda de condução; E_v – nível de energia na banda de valência; E_{fe} – nível de fermi; E_g – valor da energia do gap ($E_g = E_c - E_v$).

Figura 10 – Geração de pares elétron-lacuna.



(CEPEL; CRESSES,2014).

Assim, $h\nu$ é a energia de um fóton que é dada pela equação 3.1:

$$E_f = h \times \nu \quad (3.1)$$

Onde:

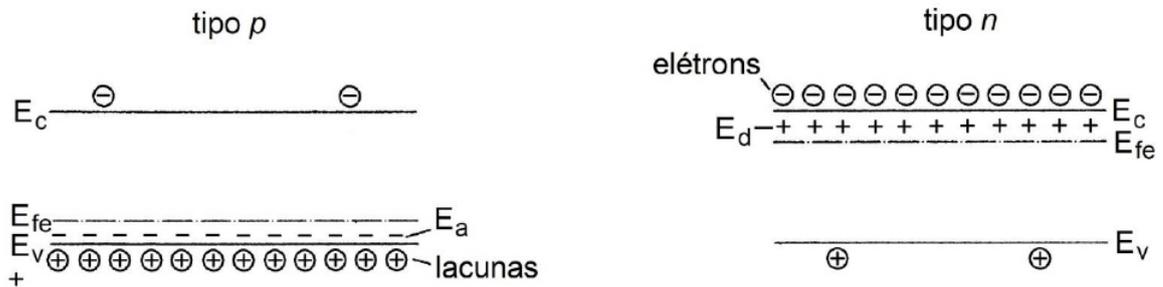
E_f – Energia do fóton (J);

h – Constante de Planck (J.s);

ν – Frequência da luz (Hz).

Ao se introduzir um átomo pentavalente (átomo de fósforo), há um elétron em excesso fracamente ligado a seu átomo de origem, que ocupa um nível de energia no interior da banda proibida, de aproximadamente 0,044 eV abaixo do limite inferior da banda de condução, como mostra o nível E_d na figura 2. Como sua energia de ligação é muito baixa, em temperatura ambiente a energia térmica é suficiente para liberar este elétron, fazendo com que este salte para a banda de condução, deixando o átomo de origem como uma carga positiva. Já ao se introduzir um átomo trivalente (boro), haverá a falta de um elétron para completar as ligações com os átomos de silício da rede, originando uma lacuna que ocupa um nível de energia no interior da banda proibida aproximadamente 0,045 eV acima do limite superior da banda de valência como mostra o nível E_g na figura 2. Em temperatura ambiente a energia térmica de um elétron de uma ligação vizinha é suficiente para fazê-lo a esta posição, correspondendo ao movimento da lacuna no sentido inverso, tornando o átomo uma carga fixa negativa.

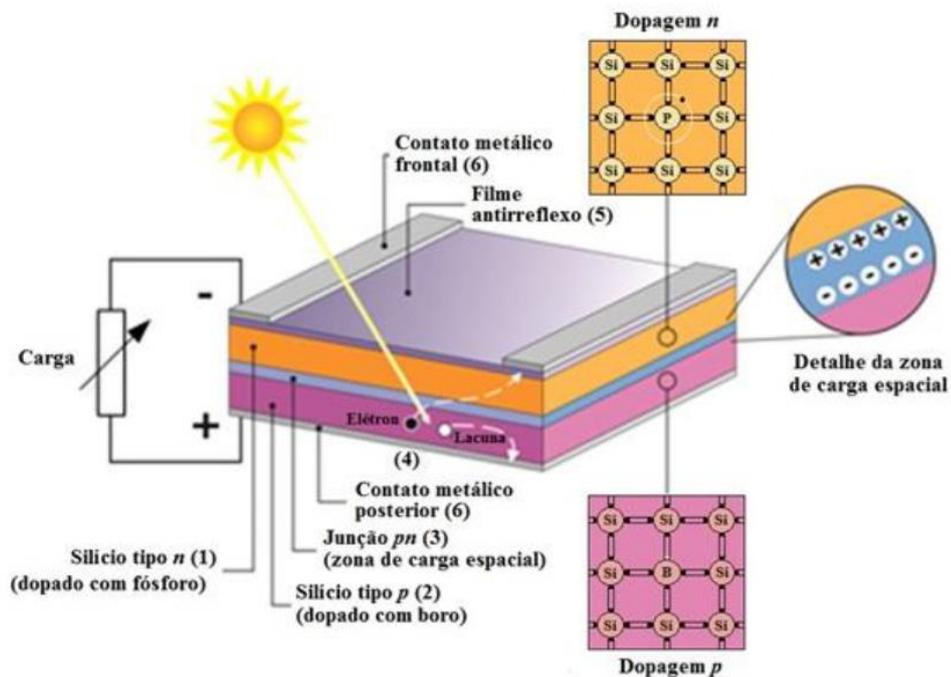
Figura 11 – Configurações dos materiais semicondutores tipo p tipo n. E_a é o nível de energia dos “elétrons faltantes” dos átomos de impurezas aceitadoras e E_d é o nível de energia nos elétrons não emparelhados dos átomos de impurezas doadoras.



(CEPEL; CRESSESSEB,2014).

Dessa forma, uma célula fotovoltaica de silício com junção pn pode ser vista na figura 3:

Figura 12 – Estrutura de uma junção pn de uma célula fotovoltaica



(CEPEL; CRESSESSEB, 2014).

A diferença de potencial na junção pn em equilíbrio, em função da temperatura é dada pela equação 3.2:

$$V_o(T) \cong \frac{k \times t}{q} \times \ln \left(\frac{N_d \times N_a}{2} \right) \quad (3.2)$$

Onde:

$V_o(T)$: Diferença de potencial na junção;

n_i : Concentração de portadores intrínsecos no material;

N_d : Concentração do dopante tipo n ;

N_a : Concentração do dopante tipo p ;

q – Carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ C);

k – Constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K);

T – Temperatura absoluta (K).

As células fotovoltaicas mais utilizadas no mercado em 2022 são compostas de silício monocristalino ou policristalino. A diferença entre os dois materiais é principalmente a eficiência sendo que o monocristalino tem em média entre 15% e 22% enquanto a do policristalino fica em torno de 14% a 20%. Os módulos monocristalinos possuem um preço mais elevado que aqueles com material policristalino.

Figura 13 – Célula fotovoltaica monocristalina e policristalina.



(INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO, 2021).

2.3.2 Características elétricas das células fotovoltaicas

- Curva I-V

A corrente elétrica em uma célula fotovoltaica pode ser considerada como a soma da corrente de uma junção *pn* com a corrente gerada pelos fótons absorvidos da radiação solar. Essa corrente em função da tensão no dispositivo, denominada de curva I-V ou curva característica, pode ser descrita pela seguinte equação, derivada da equação de Shockley¹, do diodo ideal: (CEPEL; CRESSSES,2014).

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left[\left(\frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right] \right] \quad (3.3)$$

Onde:

I_L – Corrente fotogerada (A);

I_0 – Corrente de saturação reversa do diodo (A);

n – Fator de idealidade do diodo, número adimensional geralmente entre 1 e 2, obtido por ajuste de dados experimentais medidos;

q – Carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ C);

k – Constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K);

T – Temperatura absoluta (K).

Quando I_L for zero (no escuro) a célula fotovoltaica tem o comportamento idêntico ao de um diodo.

A equação da curva característica de uma célula fotovoltaica é dada por:

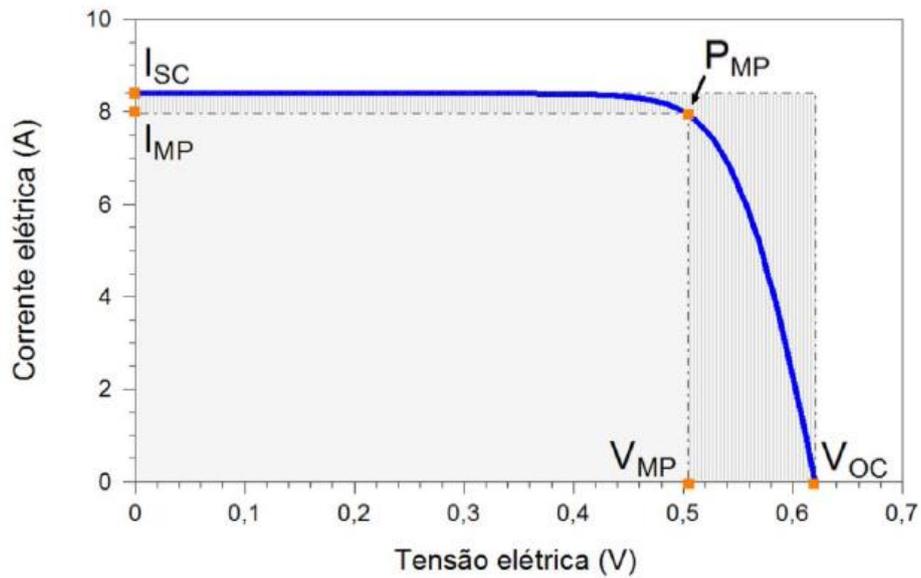
$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left[\left(\frac{q(V+IR_S)}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{V+IR_S}{R_P} \right] \quad (3.4)$$

Onde R_S é a resistência em série e R_P a resistência em paralelo.

Essa equação pode ser representada pela figura 04 que mostra a curva característica da célula fotovoltaica.

¹ William Bradford Shockley (1910 – 1989), cientista norte-americano, ganhador do Nobel de Física em 1956.

Figura 14 – Curva I-V característica da célula fotovoltaica

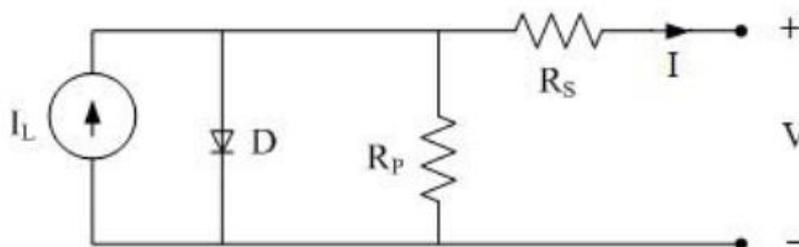


(CEPEL; CRESSES, 2014).

Onde pode-se destacar como principais parâmetros utilizados na indústria e mercado fotovoltaico, sendo eles a corrente de curto-circuito (I_{sc}), a tensão de circuito aberto (V_{oc}), o ponto de máxima potência (P_{mp}) que é o resultado do produto da corrente de máxima potência (I_{mp}) pela tensão de máxima potência (V_{mp}).

Dessa forma o circuito equivalente para a célula fotovoltaica pode ser representado pela figura 05 abaixo.

Figura 15 – Circuito equivalente básico para uma célula fotovoltaica



(CEPEL; CRESSES, 2014).

A curva I-V da célula fotovoltaica é influenciada por parâmetros como a temperatura que diminui a eficiência da célula conforme vai aumentando (figura 08) e a irradiância local,

sendo o segundo definido como a quantidade de energia radiante instantâneo que incide sobre uma superfície, sendo medida em W/m^2 . A corrente elétrica gerada por uma célula fotovoltaica aumenta linearmente com o aumento da irradiância solar incidente enquanto a tensão de circuito aberto (V_{oc}) aumenta de forma logarítmica de acordo com a equação 3.5, considerando uma temperatura constante.

$$I_{sc} = I_{sc_{stc}} \times \frac{G}{1000} \quad (3.5)$$

Onde:

I_{sc} (A) – Corrente de curto-circuito do módulo, para uma irradiância G a $25^\circ C$;

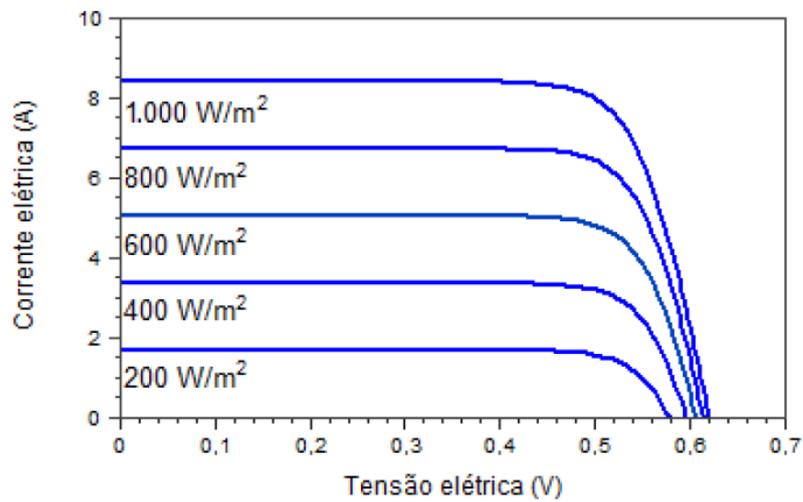
I_{sc-stc} (A) – Corrente de curto-circuito do módulo nas STC;

G (W/m^2) – Irradiância incidente sobre o módulo;

1000 (W/m^2) – Irradiância nas STC.

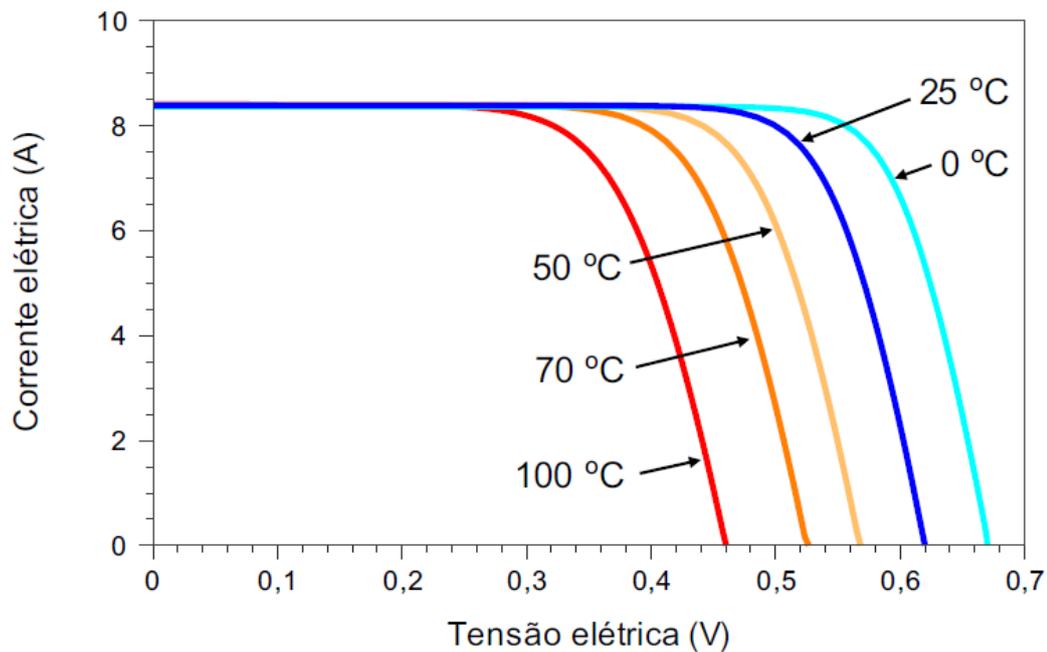
Essa equação pode ser representada pela figura abaixo, para um intervalo de valores de irradiância.

Figura 16 – Curva I-V de uma célula fotovoltaica sobre variação da irradiância.



(CEPEL; CRESSES, 2014).

Figura 17 – Curva I-V de uma célula fotovoltaica sobre variação da temperatura.



(CEPEL; CRESSES, 2014)

Analisando os gráficos acima, percebe-se que a área do ponto de máxima potência diminui o que confirma essa diminuição na eficiência da célula.

2.4 Características dos módulos fotovoltaicos

O conjunto de células fotovoltaicas, interligadas eletricamente e encapsuladas, com a finalidade de gerar energia elétrica é a definição do módulo fotovoltaico de acordo com a norma NBR 10899. (ABNT, 2013.).

Nos projetos fotovoltaicos é comum a associação em série e em paralelo dos módulos e strings (conjunto de módulos ligados em série) com o objetivo de construir os sistemas fotovoltaicos desde os de menores potências a grandes usinas de geração.

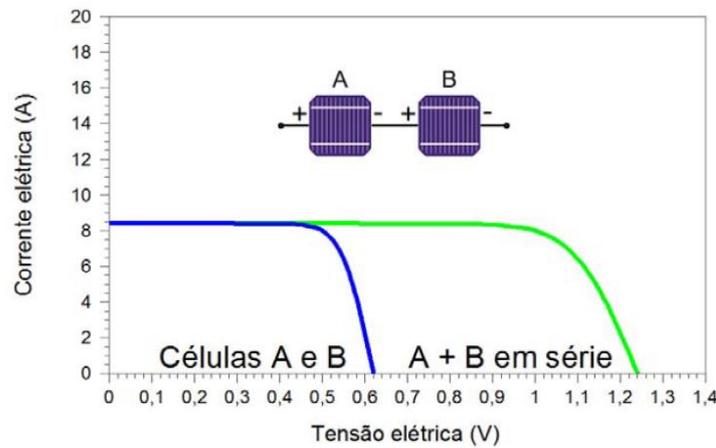
A associação em série é feita de modo que o terminal positivo de um dispositivo fotovoltaico é conectado ao terminal negativo do próximo, dessa forma as tensões são somadas e a corrente elétrica não é afetada, em demonstração matemática tem-se:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (3.6)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (3.7)$$

Pode-se representar essa relação da seguinte forma:

Figura 18 – Associação em série para dispositivos fotovoltaicos.



(CEPEL; CRESSES, 2014)

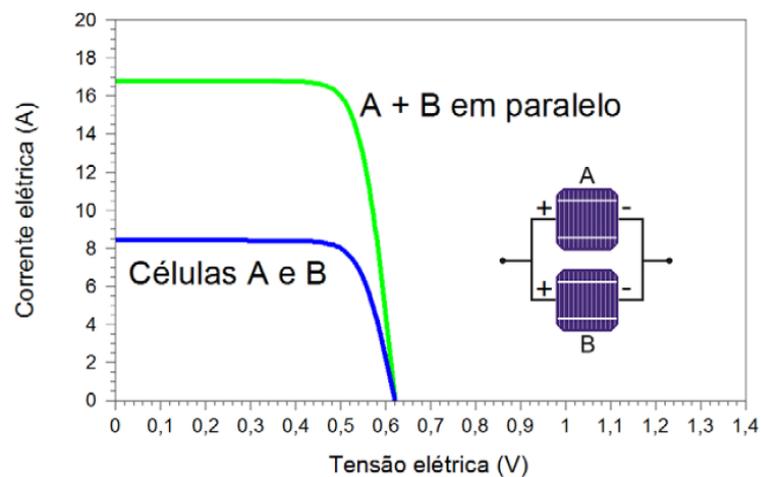
Já a associação em paralelo consiste na ligação dos terminais positivos e negativos entre si, respectivamente. Nessa ligação as correntes são somadas e as tensões se mantêm inalteradas, ou seja:

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (3.8)$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (3.9)$$

Podendo ser representada da seguinte forma:

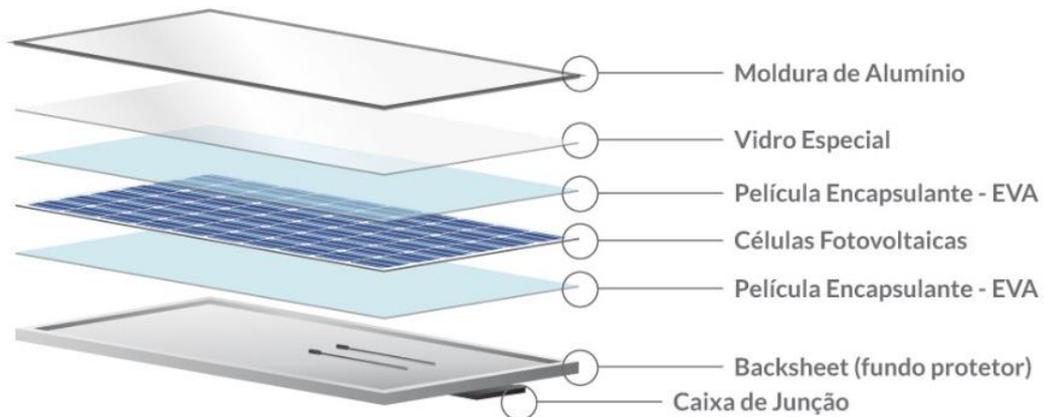
Figura 19 – Associação em paralelo para dispositivos fotovoltaicos.



(CEPEL; CRESSES, 2014)

O módulo fotovoltaico pode ser dividido nas seguintes estruturas:

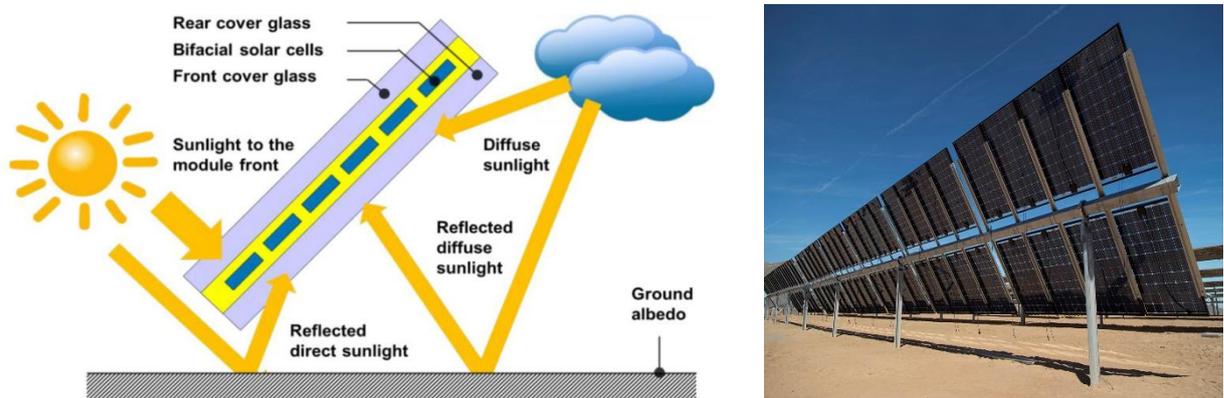
Figura 20 – Estrutura de um módulo fotovoltaico.



(BLUESOL)

O módulo é fabricado e exposto a condições de testes mecânicos e elétricos para que possa ser um material durável, confiável e resistente as diversas condições diferentes ao redor do mundo, seja de climas frios e nevascas, a climas quentes e ventos fortes. Dessa forma as células fotovoltaicas são protegidas tanto por baixo quanto por cima por películas de EVA e um vidro temperado na parte de cima, além do fundo protetor na parte de baixo; alguns módulos não possuem esse fundo, pois são módulos chamados bifaciais, com o objetivo de aumentar a eficiência do módulo pela captação da reflexão de albedo, sendo geralmente empregados em usinas de solo ou estruturas de estacionamento chamadas de carport.

Figura 21 – Esquemático do albedo solar em um módulo fotovoltaico bifacial.



(OTTHYDROMET)

As estruturas de carport estão ganhando espaço no mercado de energia solar devido a solução de darem a áreas de estacionamento compartilhado, que geralmente são grandes áreas

com a finalidade apenas para abrigar veículos, a possibilidade de serem áreas uteis de geração de energia renovável. Abaixo pode ser visto o esquemático de uma estrutura carport.

Figura 22 – Exemplo de uma estrutura carport.



(IBRAP)

2.5 Tipos de sistemas fotovoltaicos.

O mercado de engenharia de sistemas fotovoltaicos utiliza-se das associações citadas para projetar e otimizar os projetos de energia solar. A ANEEL através da resolução normativa nº 482/2012 estabelece as condições gerais para acesso de projetos de micro e minigeração distribuída aos sistemas de geração de energia elétrica.

Os artigos I e II da normativa afirmam que:

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

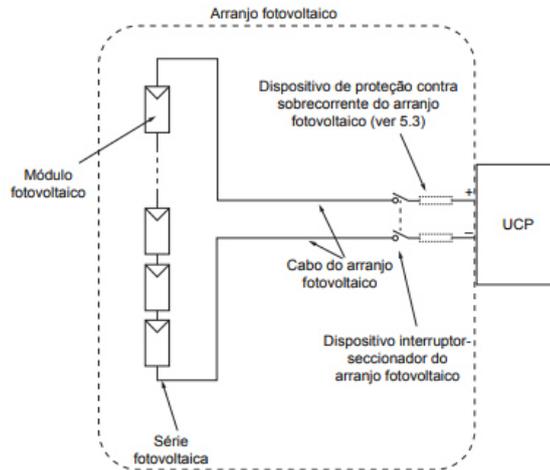
II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a **75 kW** e menor ou igual a **5MW** e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (ANEEL, 2012, p.1.)”

Os sistemas fotovoltaicos podem conter desde arranjos simples de módulos em série a grandes estruturas de vários módulos em série e strings em paralelo. Segundo a norma NBR 16690 de 2019 da ABNT, que especifica definições de instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, esses arranjos podem ser:

- Arranjo simples em série em um único mppt.

Nesse arranjo os módulos estão ligados todos em série em uma única string na mesma entrada do inversor. São mais comuns para sistemas de baixa potência.

Figura 23 – Esquema para um arranjo fotovoltaico simples.

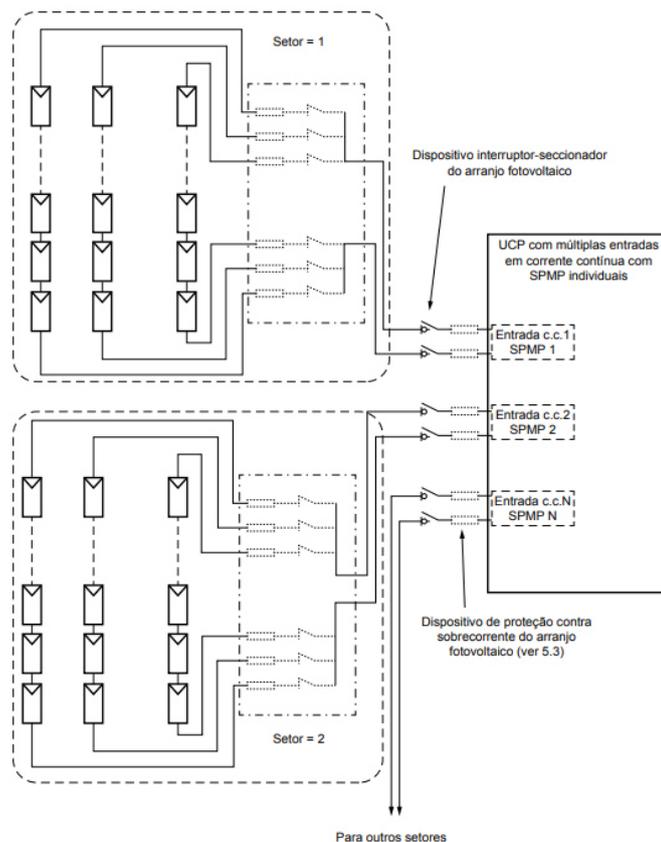


(ABNT)

- Arranjo formado por módulos em série e strings em paralelo em vários mppts.

São os arranjos mais elaborados que compõem a maior parte dos sistemas fotovoltaicos no início da década de 2020. Pode ser representado pela figura abaixo.

Figura 24 – Esquema para um arranjo fotovoltaico com múltiplas entradas.



(ABNT)

2.6 Mobilidade urbana e mobilidade eletrificada

2.6.1 Histórico da mobilidade urbana.

A mobilidade urbana e seus efeitos nas cidades é antiga, tendo os primeiros registros mais precisos na Roma antiga (há mais de 2 mil anos), com a criação de estradas que interligavam as inúmeras cidades do vasto império romano a capital Roma, além de medidas para controle de tráfego de carros de rodas de tração animal. (PORTUGAL, 2017.).

A primeira revolução industrial no final do século XVIII e início do século XIX foi um marco para a mobilidade com a invenção da locomotiva e barco a vapor que possibilitou um fluxo mais longínquo de pessoas, expandindo as fronteiras de locomoção humana que antes não passavam de dezenas de quilômetros. Porém, para Portugal (2017) foi a partir do final do século XIX e início do século XX, fruto do surgimento e uso dos primeiros automóveis e demais veículos motorizados, conflitando com a grande circulação de pessoas a pé, montadas a cavalo e carroças que estudos de segurança e desenvolvimento das vias públicas começaram a ser aplicados. Foram fundadas entidades profissionais para tratar, pesquisar e aplicar medidas na

área de forma mais técnica e científica, como o ITE – Institute of Traffic Engineers e o RRL – Road Research Laboratory.

Os estudos feitos por Jones (2014) buscaram apresentar a evolução dos transportes tendo como base as cidades europeias. Ele resalta as mudanças nos padrões do uso de automóveis ao longo dos últimos 50 anos, segundo 3 estágios: Aumento rápido na posse e uso de automóveis, em seguida uma estabilização e recentemente um leve declínio causado pelo incentivo ao uso dos sistemas de transporte coletivo e pela jornada de trabalho em casa.

Pode-se resumir a evolução dos estudos de mobilidade urbana em três importantes vertentes, sendo elas: Mobilidade sustentável, Acessibilidade e mobilidade segura ou para Portugal (2017), mobilidade verde, sendo esta última associada as três vertentes citadas e fazendo conexões entre elas.

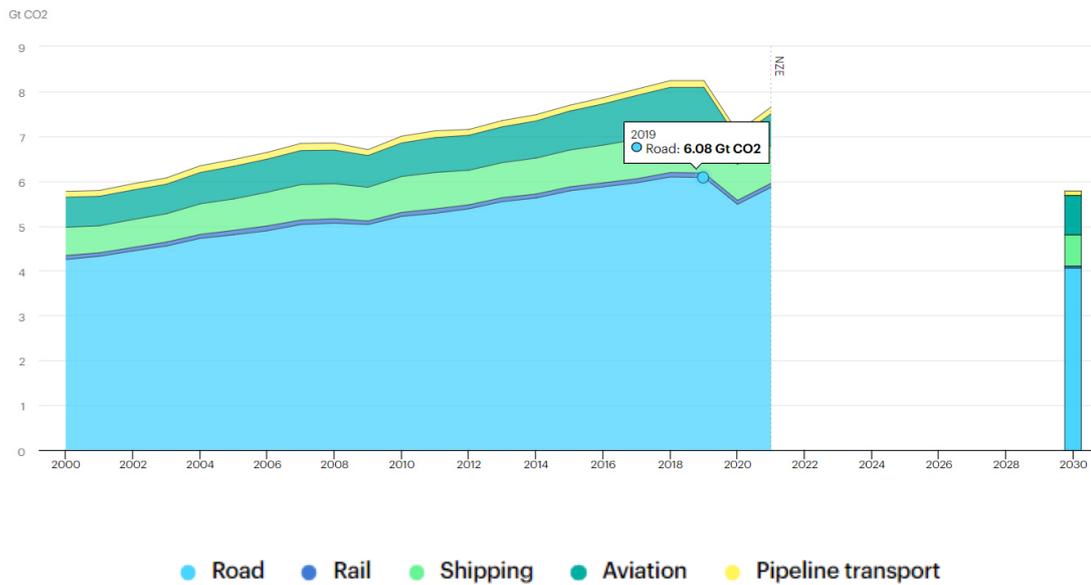
Segundo dados da ONU em 1950, eram 30% da população vivendo em meio urbano e, para 2050, a projeção é de que 66% da população passe a viver nas grandes metrópoles e regiões metropolitanas. No Brasil, a expectativa é de que as cidades tenham, nos próximos 30 anos, cerca de 30 milhões a mais de habitantes (SILVA e ROMERO,2015).

O aumento exponencial do número de automóveis em uso diário é responsável por uma grande parcela da emissão de CO₂ na atmosfera, segundo dados da IEA tem-se o seguinte cenário, aplicado nas medidas com objetivos de NZE (Net Zero Emissions) estipulados para 2050 para o período de 2000-2030.

Os transportes rodoviários, ônibus, caminhões, carros e motocicletas são responsáveis pela emissão de cerca de 6,08 Gt CO₂ na atmosfera para o ano de 2019, atingindo o maior valor histórico para o setor. Observa-se também o impacto das medidas restritivas e distanciamento social causadas pela pandemia de Covid – 19 no ano de 2020 e uma leve retomada das emissões de acordo com o relaxamento de tais medidas. O objetivo para 2030 é de 4,07 Gt CO₂.

A figura 25 mostra a quantidade de CO₂ emitida entre 2000 e 2021, e a previsão para 2030 pelo modelo NZE para os principais grupos de transportes, o gráfico mostra o valor pela área de cada setor, sendo o rodoviário (road) aquele que apresenta a maior quantidade de CO₂ emitido da atmosfera.

Figura 25 – Emissão de CO₂ para os transportes por setor 2000-2030.



(IEA, 2022)

Devido a essa grande participação dos veículos a combustão nas emissões de CO₂, sendo como visto no tópico de matrizes energéticas, os responsáveis por fazer com que uma matriz elétrica renovável passe a ser uma matriz energética não renovável no caso do Brasil, a solução da transição para a mobilidade eletrificada e aplicação da mobilidade verde é vista por muitos estudiosos como Portugal, Pereira Junior e a IEA, como a principal vertente para o modelo de NZE ser alcançado.

2.6.2 Mobilidade elétrica.

A mobilidade elétrica, segundo o presidente da ABVE (Associação Brasileira de Veículos Elétricos) Adalberto Maluf, é tida como a maior inovação e realidade para o setor de transportes e, juntamente com a transição energética para fontes de geração renováveis, é uma das principais vertentes para o combate a emissão de gases poluentes na atmosfera, e contenção dos efeitos do aquecimento global no planeta. A ANEEL afirma que:

“Os veículos elétricos têm se apresentado como uma solução para a redução das emissões de carbono e uma opção para os que buscam meios de transporte ambientalmente amigáveis. Do ponto de vista tecnológico, são mais eficientes e emitem menos poluentes, e seu acelerado desenvolvimento tem possibilitado uma constante redução de custos, especialmente em relação às baterias. ANEEL, 2022.”

A quantidade de participação de veículos elétricos no mercado de automóveis vem em uma crescente, as vendas de veículos elétricos (VEs) dobrou em 2021 em relação ao ano

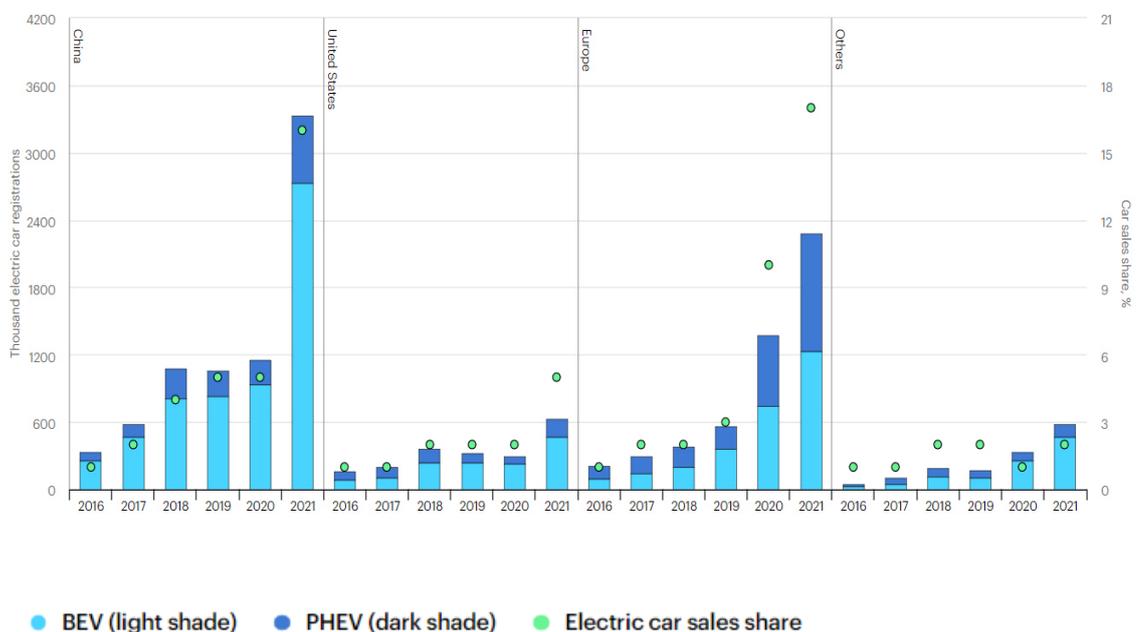
anterior estabelecendo um novo recorde de 6,6 milhões de unidades, é o que afirma o Global Electric Vehicle Outlook 2022 da IEA em parceria com a EVI (Electric Vehicles Initiative). Em 2012 cerca de 120 mil carros elétricos foram vendidos mundialmente, já em 2021 foram vendidos mais do que essa quantidade por semana, resultando em cerca de 10% das vendas mundiais de carros serem de VEs, sendo praticamente quatro vezes a participação de mercado de 2019. (IEA, 2022.).

Esse aumento de vendas e participação deve-se principalmente por incentivos fiscais e planos governamentais estabelecidos nos encontros climáticos citados para frear o aquecimento global. Segundo a IEA o total gasto em subsídios para VEs dobrou em 2021 atingindo cerca de USD 30 bilhões de dólares.

A evolução de vendas e registros de carros elétricos/eletrificados de 2016 a 2021 pode ser representada pela figura abaixo:

Figura 26 – Vendas e registros de veículos elétricos de 2016 - 2021.

Electric car registrations and sales share in China, United States, Europe and other regions, 2016-2021



(IEA, 2022)

O sucesso dos veículos elétricos está relacionado com o desenvolvimento de novas formas mais eficientes de armazenamento de energia. (PEREIRA JUNIOR, 2011.). Os veículos elétricos são extremamente dependentes das baterias que os alimentam, e esse é um dos principais desafios para o setor.

As tecnologias de baterias mais empregadas no mercado são:

- **Baterias de Níquel - Cádmio (NiCd)**

As baterias de Níquel – Cádmio possuem energia específica igual a 50Wh/kg (BOSSCHE, 2006.) e têm sido empregadas em veículos elétricos principalmente pela disponibilidade de carga rápida. (PEREIRA JUNIOR, 2011.). Possuem um ciclo de vida bom, porém, apresentam custos elevados e preocupações ambientais devido a presença de cádmio em sua composição. (VIEIRA,2006.).

- **Baterias de Níquel – Metal – Hidreto (Ni – MH)**

A bateria de Ni – MH tem desempenho comparável à de NiCd e tem sido mais utilizada em veículos elétricos (PEREIRA JUNIOR, 2011.), dando preferência a essa tecnologia devido a não apresentar cádmio, sendo mais atrativa ambientalmente. Essas baterias são mais fáceis de serem recicladas (FETCENKO, 2007.).

- **Baterias de Íons de Lítio (Li-íon)**

As baterias mais utilizadas em veículos elétricos sendo preferidas por sua densidade energética alta (PEREIRA JUNIOR, 2011.), entre 100 e 300 Wh/kg (NEOCHARGE, 2022.). Apresenta potência específica e energia específica atrativas, sendo de 370 W/kg e 120 Wh/kg (CHEN, 2009.).

A principal preocupação na produção se dá pela disponibilidade dos materiais utilizados. Não sofrem tanto com o efeito memória, o que significa que podem ser carregadas sem ter sido completamente descarregadas, não comprometendo o seu desempenho.

Figura 27 – Dados técnicos de algumas tecnologias de baterias.

	Íon de Lítio	Níquel Hidreto Metálico NiMH	Chumbo-ácido	Supercapacitor
Densidade energética (Wh / kg)	100 - 300	40 - 120	30 - 40	1 - 10
Densidade de potência (W / kg)	1.000 - 5.000	300 - 1.000	180	1.000 - 10.000
Ciclo de vida	500 - 15.000	500 - 1.000	500 - 800	Ilimitado
Eficiência de carga e descarga	95 - 99%	65 - 80%	70 - 92%	98%
Taxa de descarga própria	1 - 5% / mês	~30% / mês	3 - 20% / mês	-
Tolerância a sobrecarga	Baixa	Baixa	Alta	-
Manutenção	Sem necessidade	60 - 90 dias	3 - 6 meses	Sem necessidade
Tempo de carga rápida	1 hora ou menos	2 - 4 horas	8 - 16 horas	Segundos

(NEOCHARGE, 2022).

O Brasil já tem 114 modelos de veículos eletrificados (ABVE, 2022.), a ampliação da oferta já aproxima o mercado brasileiro do europeu, que oferece um catálogo que contém entre 150 e 200 modelos de veículos elétricos plug-in. O Brasil, segundo a ABVE já está apto a produzir ônibus elétricos, sendo estimado a produção de mais de 2 mil unidades de ônibus elétricos por ano (ABVE, 2022.), atendendo assim as metas estabelecidas pela prefeitura de São Paulo através da Lei Municipal 16.802/2018, que fixou metas anuais para transição da frota de ônibus para veículos de baixas emissões.

Os veículos elétricos podem ser divididos em quatro tipos principais, onde os três primeiros já possuem uma parcela de participação e o último é a grande aposta do setor para a mobilidade elétrica, são eles:

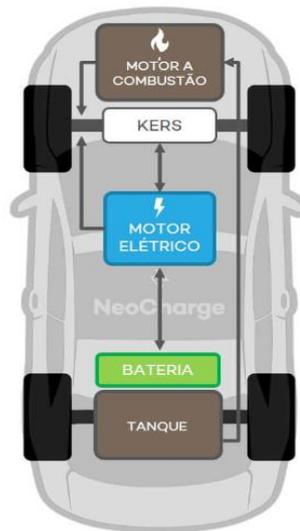
- **Veículo elétrico híbrido – (HEV)**

Os veículos desse tipo, da sigla em inglês HEV – Hybrid Electric Vehicle, chamados também de híbridos puros utilizam um motor a combustão interna, podendo ser gasolina/álcool ou diesel como principal fonte de alimentação (FGV ENERGIA, 2017). Esse modelo é caracterizado por apresentar ter uma bateria ligada ao motor elétrico e ao sistema de frenagem regenerativa (KERS), que utiliza a energia da frenagem para recarregar a bateria com o veículo em movimento. Esquemáticamente pode ser representado da seguinte forma:

Figura 28 – Veículo Híbrido (HEV)

HEV

Hybrid Electric Vehicle



(NEOCHARGE, 2022)

Nesse modelo a principal característica é melhorar a eficiência do motor a combustão, principalmente na partida e no modo de condução em que o veículo está apenas mantendo a velocidade, ou seja, em uma rotação constante sem necessidade de injeção de potência e combustível para aumento de velocidade.

- **Veículo elétrico híbrido plug-in – (PHEV)**

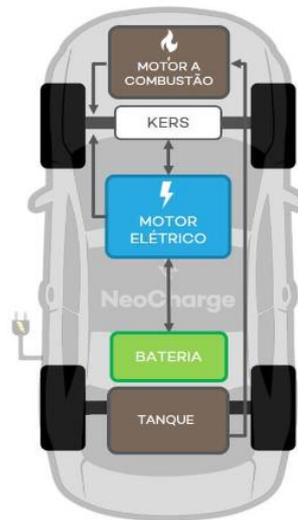
Os veículos, da sigla PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle, também tem o motor principal a combustão, mas se diferem dos híbridos puros a partir do momento que eles podem receber eletricidade diretamente de uma fonte externa (FGV ENERGIA, 2017). São conhecidos popularmente como veículos híbridos que podem ser carregados na tomada. O PHEV é uma solução intermediária ao híbrido puro e o veículo 100% elétrico, é um veículo elétrico mais eficiente na redução de emissão de gases poluentes, pois permite ao condutor operar o veículo no modo elétrico puro durante uma quantidade de quilômetros.

Os veículos PHEV podem ser representados da seguinte forma:

Figura 29 – Veículo Híbrido Plug-in (PHEV)

PHEV

Plug-In Hybrid EV



(NEOCHARGE, 2022)

- **Veículo elétrico a bateria – (BEV)**

Veículo 100% elétrico, da sigla em inglês Battery Electric Vehicle, é caracterizado por usarem apenas energia elétrica para alimentar o motor elétrico e tracionar as rodas. (NEOCHARGE, 2022). A bateria é recarregada utilizando o sistema de frenagem regenerativa quando em movimento ou diretamente na alimentação externa, sendo o carregamento feito por plug-in. Esse modelo pode ser representado da seguinte forma:

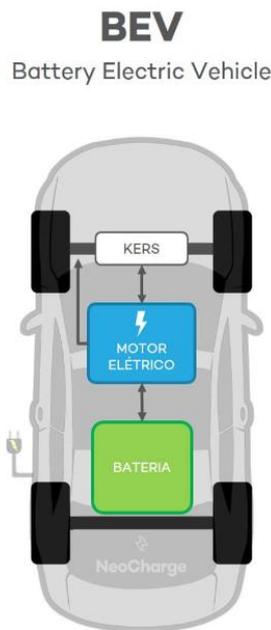


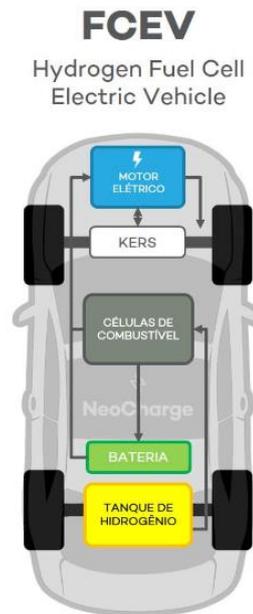
Figura 30 – Veículo Elétrico a Bateria (BEV). Fonte: NEOCHARGE, 2022.

Assim como os híbridos, os carros 100% elétricos minimizam a perda de energia desligando o motor quando parados no trânsito ou no semáforo. Os motores elétricos possuem uma eficiência maior que um de combustão interna, e são caracterizados por não emitir gases poluentes e serem mais silenciosos que os veículos a combustão, agregando um aspecto positivo para o combate à poluição sonora nas grandes cidades.

- **Veículo elétrico a célula de combustível – (FCEV)**

Os veículos elétricos movidos a célula de hidrogênio, da sigla em inglês Fuel Cell Electric Vehicle, combinam hidrogênio e oxigênio para produzir a eletricidade necessária para alimentar o motor elétrico. (FGV ENERGIA, 2017.). A conversão do hidrogênio em eletricidade tem como produto água e calor, ou seja, não há produção de gases poluentes. O modelo usado é composto pelo tanque de hidrogênio, que alimenta as células de combustível e a energia gerada é enviada para a bateria e para o motor elétrico, com a ajuda do sistema KERS para fazer a recarga regenerativa de frenagem. Pode ser representado da seguinte forma:

Figura 31 – Veículo Elétrico a Células de Combustível (FCEV).



(NEOCHARGE, 2022)

Esse tipo de veículo ainda está sendo introduzido no mercado, apresentando os primeiros modelos desenvolvidos no ano de 2022, este VE é caracterizado por apresentar uma recarga mais rápida, pois o tanque de hidrogênio leva menos de 10 minutos para ser enchido completamente. O FCEV é o tipo de carro elétrico mais promissor devido a possibilidade do uso de hidrogênio verde para o seu abastecimento.

Steenhof e McInnis (2008) afirmaram que a transição dos veículos a combustão para os veículos elétricos seria conduzida inicialmente pelos HEVs, em seguida pelos PHEVs e finalmente pelos BEVs. O cenário atual provou que esse estudo estava correto, e em adicional, pode-se afirmar que os BEVs tendem a serem sucedidos pelos FCEVs.

2.6.3 Energia solar, hidrogênio verde e a mobilidade elétrica.

O hidrogênio é considerado como um dos mais importantes vetores energéticos, capaz de promover a profunda mudança necessária na matriz energética e economia mundial, especialmente em setores de difícil redução de emissão de gases poluentes, como a indústria e o setor de transportes. (GESEL, 2021.). O hidrogênio (H₂) é o elemento mais abundante na terra, porém não é encontrado livre na natureza, sendo necessários processos industriais para separar as moléculas de hidrogênio contidas nas demais substâncias, como a água e o metano. O hidrogênio é classificado por cores, de acordo com a forma que ele é obtido, sendo as principais:

- Hidrogênio cinza

É o hidrogênio mais usado no mundo, sendo principalmente utilizado na indústria petroquímica. A principal matéria prima é o gás natural. Esse método produtivo é poluente pois para cada quilograma de hidrogênio são lançados cerca de 13 quilos de CO₂ na atmosfera.

- Hidrogênio azul

É o hidrogênio produzido a partir do gás natural, assim como o cinza, porém se diferem na tecnologia de captura de CO₂, diminuindo a quantidade de CO₂ emitida na atmosfera no processo, embora seja mais complexo e custoso que o cinza.

- Hidrogênio rosa

Esse tipo de hidrogênio não tem emissão de gases poluentes no processo de produção, mas a fonte a qual ele é obtido vem da eletricidade das usinas nucleares.

- Hidrogênio verde

O hidrogênio verde é aquele obtido através de energia considerada limpa (sem emissão de CO₂ no processo produtivo), por esse motivo está constantemente sendo associado as fontes eólica e solar como fonte de energia para a cadeia produtiva.

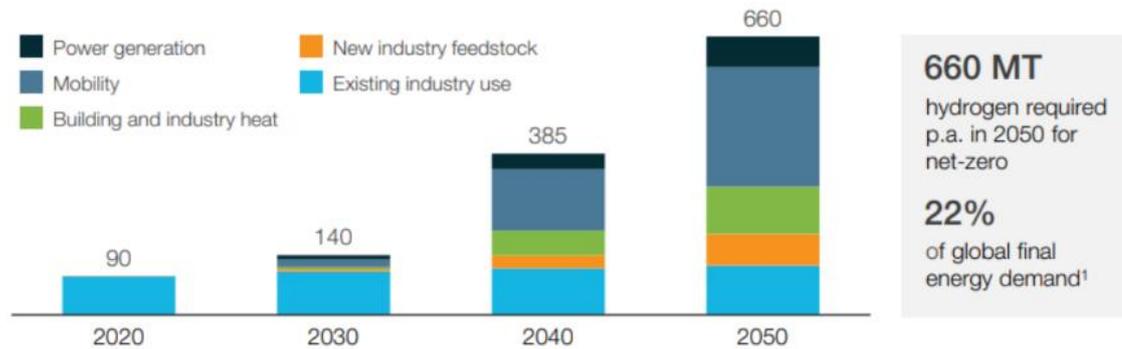
O hidrogênio verde é obtido pela eletrolise da molécula de água (H₂O), separando assim, os átomos de hidrogênio do átomo de oxigênio, usando como fonte energética para o processo, energia limpa e renovável. Dessa forma o hidrogênio verde, é considerado um produto limpo e renovável, por isso está sendo associado a regiões com boa disponibilidade para geração eólica e/ou solar.

O estado do Ceará é o pioneiro no Brasil na produção de hidrogênio verde, sendo responsável pelo primeiro HUB de hidrogênio verde no país, tendo a primeira molécula de hidrogênio verde sido produzida na instalação piloto do complexo termelétrico do Pecém localizado no município de São Gonçalo do Amarante no dia 15/12/2022. (O POVO, 2022.).

A utilização do hidrogênio verde pode reduzir até 80 Gt de CO₂ até 2050, atingindo cerca de 20% da redução necessária para o cumprimento das metas climáticas. Para ser atingido essa meta, estima-se que seja necessário cerca de 660 Mt de H₂V (hidrogênio verde), o que deve representar cerca de 22% da demanda global de energia em 2050. Para a produção dessa quantidade de H₂V considerando o processo produtivo por eletrólise, estima-se que serão necessários de 3 a 4 TW de capacidade de eletrolisadores e de 4,5 a 6,5 TW de capacidade de

geração de energia renovável e limpa, o que pode representar cerca de 20% da demanda de eletricidade necessária para atingir as metas traçadas no cenário NZE, estimada em 28 TW. (GECCEL, 2021.).

Figura 32 – Evolução da produção e demanda de hidrogênio por uso final.



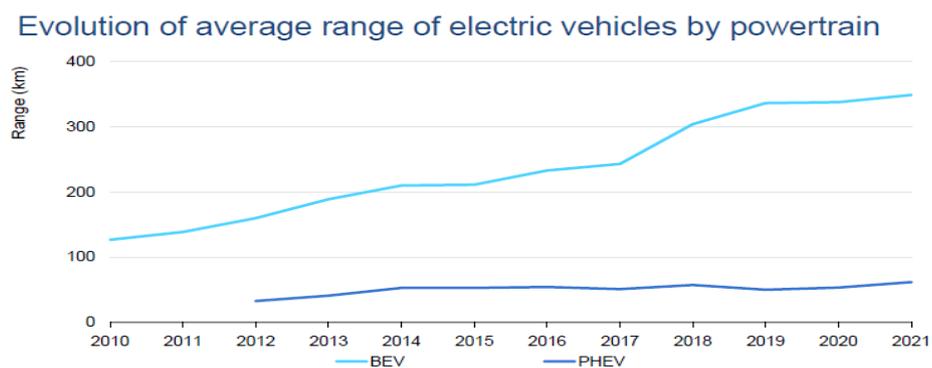
(HYDROGEN COUNCIL, 2021)

Dessa forma é enorme o potencial do uso da energia solar, para alimentar os veículos elétricos de forma direta, ou indiretamente, através da produção de hidrogênio verde. Observa-se pela estimativa que a maior parte da demanda de hidrogênio será por parte da mobilidade.

A autonomia dos veículos elétricos é outro parâmetro que chama a atenção tanto dos pesquisadores, como dos consumidores. Em 2021 os veículos do tipo BEV chegaram aos 350 quilômetros de autonomia, enquanto os do tipo PHEV quando em modo elétrico puro chegaram aos 60 quilômetros. (IEA,2022.). Alguns veículos do tipo BEV já apresentam autonomia de mais de 600 quilômetros, como o BMW iX.

O avanço da autonomia dos veículos elétricos pelo tipo ao longo da última década pode ser visto pelo gráfico abaixo.

Figura 33 – Evolução do alcance dos veículos elétricos por powertrain.



IEA,2022.

3. METODOLOGIA

3.1 Identificação dos locais de estudo

O presente estudo foi realizado em duas esferas, sendo a primeira composta de um sistema residencial com potência pico de 7,04 kWp (Anexo I) classificado na categoria de microgeração distribuída (ANEEL,2012.), e uma simulação de caso com um veículo elétrico BEV *Renault Zoe* (Anexo II) para comparativo com um veículo à combustão.

O segundo caso foi considerado a usina fotovoltaica de 254,21 kWp do campus Auroras da UNILAB – CE classificada na categoria de minigeração distribuída (ANEEL,2012.), analisando dois dos ônibus da frota que compõe o sistema de intercampi da universidade. O sistema de intercampi tem como função levar os alunos, servidores e professores da universidade de forma gratuita de um campus para outro, e é a forma principal de locomoção dos alunos nas cidades de Acarape e Redenção, sendo um campus na primeira e dois campus na segunda cidade.

3.2 Descritivo do cenário de microgeração residencial

O potencial de uso da energia solar fotovoltaica em residências é um dos grandes pontos fortes dessa fonte de energia, possibilitando uma economia na conta de energia através da compensação de energia injetada na rede. Esse estudo de caso tem como objetivo avaliar de forma inicial a possibilidade e os efeitos que um veículo elétrico deve aumentar no consumo da residência, levando assim, a futuramente ser considerado como uma carga para dimensionamento dos projetos fotovoltaicos. Assim como apresentar um comparativo desse modelo de residência sustentável e mobilidade sustentável.

Para esse cenário foi considerada uma usina previamente instalada, com início de funcionamento em 2021 a fim de avaliar o quantitativo de energia que manter um VE poderá variar a conta de energia.

- Localização da usina

A usina Fotovoltaica está localizada em Caucaia – CE, dessa forma tem-se os seguintes dados de georreferenciamento:

Tabela 01 – Coordenadas da usina.

COORDENADAS EM GRAUS DECIMAIS	
Latitude	-3.740431°
Longitude	-38.613411°

Autor, 2023.

Os dados de irradiação solar diária média (kWh/m². dia) foram obtidos do portal da Cresesb.

Figura 34 – Irradiação solar diária média para Caucaia – CE.

Localidades próximas

Latitude: 3,740431° S
Longitude: 38,613411° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]												Média	Delta				
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set			Out	Nov	Dez	
✓	Caucaia	Caucaia	CE	BRASIL	3,701° S	38,649° O		5,9	5,75	5,70	5,54	4,80	5,16	5,19	5,47	6,01	6,15	6,31	6,33	6,01	5,70	1,53
✓	Caucaia	Caucaia	CE	BRASIL	3,801° S	38,649° O		7,8	5,58	5,57	5,35	4,71	5,09	5,11	5,42	6,01	6,17	6,30	6,25	5,82	5,61	1,60
✓	Oceano Atlantico	Oceano Atlantico			3,701° S	38,549° O		8,4	5,87	5,81	5,65	4,91	5,29	5,30	5,53	5,93	6,09	6,34	6,43	6,16	5,78	1,52

(Adaptado Cresesb, 2023)

A usina está locada no endereço:

Rua 10 tabapua, 00134, curicaca, 61600-004, Caucaia.

Figura 35 – Endereço da usina.

(Google Maps, 2023)

- Componentes da usina

O gerador fotovoltaico é composto pelos seguintes equipamentos:

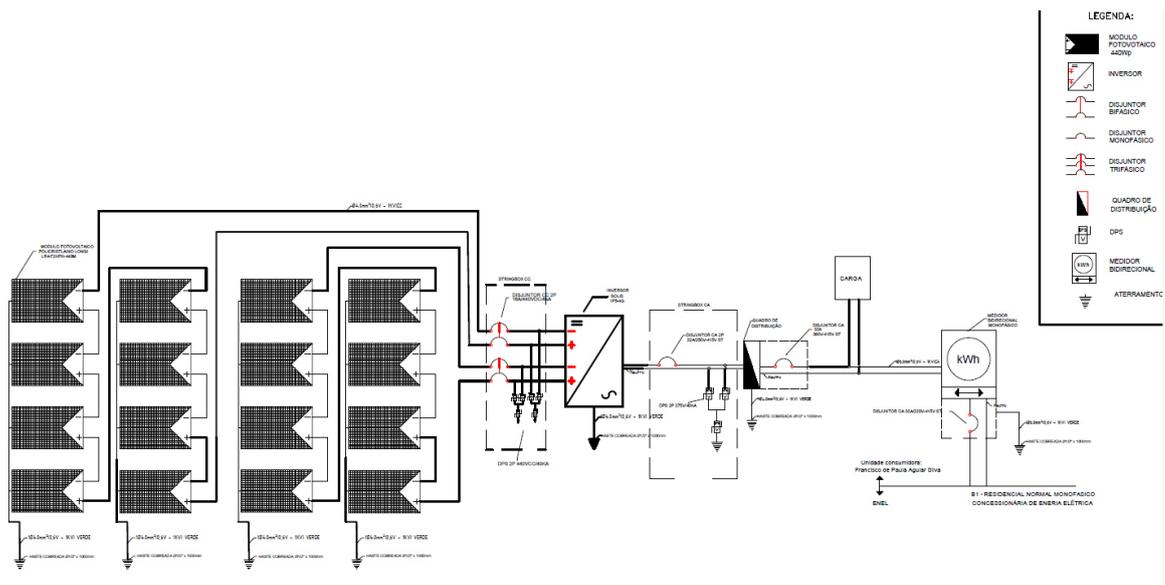
Tabela 02 – Componentes do gerador fotovoltaico.

Item	Quantidade
Inversor SOLIS 1P5K-4G – 5kW (c/WIFI)	1
Painel LONGI Mono Half Cell 440W	16
PAR de Conector MC4	2
Cabo solar (m)	80
Kit de fixação (tipo gancho) p/ terças de madeira	4
Disjuntor monopolar 32A	1
DPS CLAMPER 20kA	2
String box CLAMPER SB 600 18kA 1-2E/2S	1

Autor, 2023.

O sistema foi instalado em telhado do tipo madeira com telhas cerâmicas. A simulação levará em consideração a substituição do inversor Solis convencional, para um inversor híbrido plug-in (anexo III) Solar Edge SE6000H de 6kW que será responsável pelo carregamento do veículo elétrico. O sistema foi configurado em duas strings de 8 módulos em mesma orientação como mostra o diagrama unifilar.

Figura 36 – Diagrama Unifilar



Autor, 2023.

3.3 Descritivo do cenário de minigeração do campus Auroras – UNILAB – CE

O projeto de energia solar e eficiência energética da UNILAB – CE, é administrado pelo instituto de engenharia e desenvolvimento sustentável (IEDS) e é uma das principais fontes de dados para pesquisas e projetos da universidade.

- Localização da usina.

A usina fotovoltaica da UNILAB – CE está localizada no município de Redenção, no maciço de Baturité. Está georreferenciada em graus decimais em:

Tabela 03 – Coordenadas da UFV Auroras.

COORDENADAS EM GRAUS DECIMAIS	
Latitude	-4.218089°
Longitude	-38.713962°

Autor, 2023.

Os dados de irradiação solar diária média (kWh/m². dia) foram obtidos do portal da Cresesb.

Figura 37 - Irradiação solar diária média para Redenção – CE

Localidades próximas

Latitude: 4,218128° S
Longitude: 38,714018° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]												Média	Delta				
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set			Out	Nov	Dez	
<input checked="" type="checkbox"/>	Redencao	Redencao	CE	BRASIL	4.201° S	38.749° O	4,3	5,13	5,19	5,12	4,70	4,96	4,87	5,32	6,00	6,26	6,07	5,96	5,35	5,41	1,57	
<input checked="" type="checkbox"/>	Acarape	Acarape	CE	BRASIL	4.201° S	38.649° O		7,5	5,28	5,38	5,26	4,83	5,05	4,96	5,33	6,00	6,25	6,17	6,05	5,51	5,51	1,42
<input checked="" type="checkbox"/>	Redencao	Redencao	CE	BRASIL	4.301° S	38.749° O	10,0	5,19	5,23	5,19	4,75	4,94	4,79	5,25	5,96	6,24	6,10	5,97	5,45	5,42	1,49	

Adaptado Cresesb, 2023.

A usina está locada no endereço:

R. José Franco de Oliveira, s/n - Zona Rural, Redenção - CE, 62790-970.

Figura 38 – Localização da UFV Auroras I.



(Google Maps, 2023).

Em imagem de satélite é possível ver a estrutura do campus com a usina instalada.

Figura 39 – UFV Auroras I



(Google Maps, 2023)

O estudo levará em consideração os dados apenas da usina Auroras I, mais ao centro na imagem, uma vez que a usina Auroras II, mais a parte superior direita foi uma expansão mais recente.

- Dados da Titular da UFV

A usina FV está no nome da Universidade da Integração da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), universidade federal sob o CNPJ 12.397.930./0001-00.

- Componentes da usina.

A usina de minigeração apresenta os seguintes dados gerais:

Tabela 04 – Componentes gerais do sistema.

Potência instalada total	254,21 kWp
Número de arranjos	41
Número de módulos	772
Área total do gerador	1922 m ²

Autor, 2023.

Os arranjos da UFV estão divididos em 6 inversores, da seguinte forma:

Tabela 05 – Configuração da UFV por inversor.

Dados	INVERSOR 1	INVERSOR 2	INVERSOR 3	INVERSOR 4	INVERSOR 5	INVERSOR 6
N.º de placas por arranjo	20	19	20	19	18	18
Número de arranjos	7	7	7	7	6	6
Número total de módulos no inversor	140	133	140	133	108	108
Área do arranjo	366m ²	338m ²	366m ²	338m ²	257m ²	257m ²
Potência de pico	42900 Wp	42900Wp	42900 Wp	42900Wp	42900 Wp	42900Wp
Fabricante	ABB	ABB	ABB	ABB	ABB	ABB
Operação da corrente contínua (CC), para cada módulo						
Tensão de operação	37,2V	37,2V	37,2V	37,2V	37,2V	37,2V
Tensão de circuito aberto	45,6V	45,60V	45,6V	45,60V	45,6V	45,60V
Corrente de curto-circuito	9,45A	9,45A	9,45A	9,45A	9,45A	9,45A

Autor, 2023.

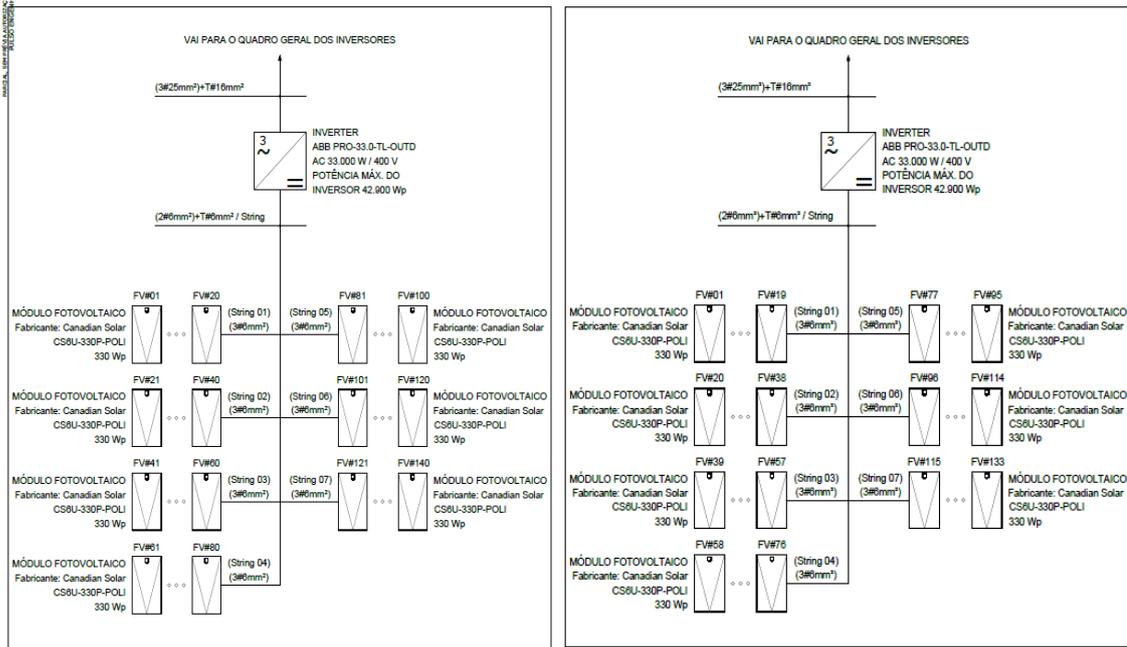
Os inversores e módulos utilizados são respectivamente:

ABB PRO-33.0-TL-OUTD-SX-400;

CS6U-330P – POLI (330Wp).

O diagrama unifilar da central geradora pode ser representado pela figura abaixo:

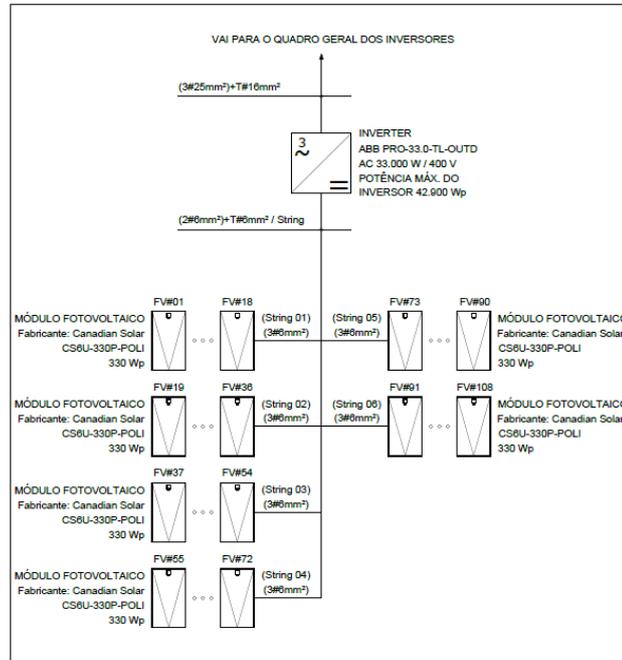
Figura 40 – Esquema de ligação dos inversores 1 e 3 / 2 e 4.



Adaptado do diagrama unifilar (Anexo IV).

A figura abaixo apresenta a ligação dos inversores 5 e 6.

Figura 41 - Esquema de ligação dos inversores 5 e 6.



Adaptado do diagrama unifilar (Anexo IV)

3.4 Cenário de microgeração residencial

Os dados foram obtidos para a simulação desse cenário pelo aplicativo de monitoramento de geração fornecido pelo inversor, *Solis Home*. Foram levantados os dados de geração mês a mês para o ano de 2022. Observou-se falta de dados nos meses de maio e junho de 2022.

Figura 42 – Dados de geração anual 2022.



(Solis Home, 2023)

Para apresentar uma geração anual mais condizente, foi adotado os dados de geração dos respectivos meses para o ano de 2021.

O carro escolhido para fazer a simulação foi o Renault Zoe, um veículo 100% elétrico do tipo BEV com as seguintes especificações:

Figura 43 – Especificações técnicas Renault Zoe.

ZOE Ficha técnica

	Zen R135	Intense R135
Arquitetura	Carroceria monobloco, monovolume, 5 passageiros, 5 portas	
Motor	Elétrico	
Tração	Dianteira (4x2)	
Potência máxima (ABNT)	135 cv/4.200 a 11.163 rpm	
Torque máximo (ABNT)	245 Nm/1.500 a 3.600 rpm	
Rodas	Alumínio 16"	Alumínio diamantada 16"
Freios	Freio a disco	
Direção	Elétrica	
Câmbio	Caixa de câmbio com redutor com uma única marcha	
Carga útil	438 kg	425 kg
Peso (em ordem de marcha)	1.542 kg	1.555 kg
Aceleração 0 a 100 km/h	9,5 s	
Velocidade máxima	140 km/h	
Bateria	52 kWh	
Combustível	Elétrico	
Autonomia	385 km (WLTP)*	

(Renault, 2023)

O modelo levará em consideração o seguinte perfil de dirigibilidade:

- Distância percorrida anual de 9.000 km;
- Preço do kWh tarifa B1 Enel Ceará para 2022:

TUSD 0,41373;

TE 0,29561;

logo o a tarifa total T_t é dada por:

$$T_t = TE + TUSD \cong 0,71R \$/kWh \quad (4.1)$$

- Não será levado em consideração acréscimos de bandeiras tarifárias, uma vez que o sistema será o responsável pelo abastecimento do veículo, e a distribuidora faz a compensação da bandeira quando o cliente utiliza energia própria.
- O preço médio da gasolina estabelecido pela ANP para 2022 foi de R\$ 5,80.
- O inversor simulado, apesar de ter potência nominal maior que o instalado no sistema, será simulado como um ponto de carregamento com potência nominal de 6kWh somente durante o carregamento veicular.

O Renault Zoe é equipado com uma bateria de íon-lítio laminada de 52 kWh, e autonomia de 385 km. Dessa forma, para uma recarga completa de 0 a 100%, o tempo necessário em horas pode ser representado por:

$$T_{rec} = \frac{Bat}{P_{dis}} \quad (4.2)$$

Onde:

Trec: Tempo de recarga em horas;

Bat: Capacidade da bateria;

Pdis: Potência disponível.

O cálculo para o consumo de um carro elétrico leva em consideração uma distância de 100 km adotada como padrão pelas empresas produtoras em seus testes. Logo para saber o consumo do VE a cada 100km tem-se:

$$C = \frac{BatxD}{At} \quad (4.3)$$

Onde:

C: Consumo em kWh a cada 100 km;

Bat: capacidade da bateria;

D: distância;

At: Autonomia do VE.

Dividindo o resultado da equação 4.3 por 100 tem-se o valor de energia gasto para percorrer 1 km.

O custo de deslocamento para percorrer 1 km utilizando o veículo elétrico pode ser representado por:

$$C_d = \frac{C \times T_E}{100km} \quad (4.4)$$

Onde:

C_d: Custo de deslocamento (R\$);

C: Consumo em kWh;

T_E: Tarifa de energia (R\$/kWh).

O consumo do veículo à combustão é calculado pela fração da distância percorrida pela quantidade de litros de combustível gastos para percorrer essa distância, logo é dado pela equação:

$$C_{Vc} = \frac{D}{l} \quad (4.5)$$

Onde:

C_{vc} : Consumo do veículo à combustão;

D: Distância percorrida;

l: valor gasto de combustível em litros.

O comparativo dos consumos pode ser relacionado através do quilometro por litro equivalente (km/le), esse valor é obtido quando se compara quantos litros de combustível poderiam ser obtidos como valor do C_d dividido pelo valor do litro do combustível.

$$C = \frac{C_d}{V_c} \quad (4.6)$$

Onde:

C_{le} : Consumo em km/le;

C_d : Custo de deslocamento em R\$;

V_c : Valor do litro de combustível utilizado em R\$/l.

3.5 Cenário de minigeração da usina do campus Auroras – UNILAB – CE

O estudo da usina Auroras I foi feito a partir das seguintes etapas:

- Coleta de dados de geração

Foi obtido os dados de monitoramento da usina para os meses de janeiro a junho de 2022.

- Coleta de dados de transporte

Os dados de transporte foram obtidos junto a divisão de transportes da universidade para o ano de 2019 (período pré pandemia) e de abril a junho de 2022, até então disponíveis após a volta as atividades presenciais devido a pandemia de covid-19. Não havendo assim dados válidos para os anos de 2020 e 2021.

- Tratamento dos dados

Os dados foram organizados e tratados via Excel.

Os dados de geração foram agrupados em três planilhas, sendo cada arquivo referente a um respectivo bimestre. Percebeu-se que o inversor, diferentemente do inversor utilizado no cenário anterior, não disponibilizava o dado de energia gerada, seja ela no dia, mês ou ano. A

metodologia aplicada foi através da potência instantânea registrada mais próxima ao valor da hora fechada no período de hora em hora, no intervalo de 5:00 horas da manhã as 18:00 da tarde/noite.

Alguns inversores apresentaram lacunas de dados, como medida de correção foi aplicada a média do inversor para o mês a partir da média semanal dos valores.

Os dados de transportes foram organizados escolhendo dois ônibus da frota da universidade, sendo eles:

OSP-5868;

OSP-9358.

- Análise

Aplicação dos dados tratados em modelos matemáticos e análise dos resultados.

Os dados de geração foram obtidos através da transformação da potência média mensal pela equação:

$$E_{med} = P_{med} \times f_c \times H \times T \quad (4.7)$$

Onde:

E_{med} : Energia mensal média (kWh);

P_{med} : Potência CA média mensal;

H: horas de sol;

T: período da medição (fixado em 28 dias, 4 semanas de 7 dias.).

Os dados de transporte foram tratados de forma que foi observado períodos em que um dos ônibus selecionados ou ambos não estavam em uso em determinado mês, por motivos de manutenção preventiva ou até por rotação de uso dos veículos da frota, logo esse mês foi descartado, dessa forma, faz-se necessário citar como se deu o comportamento de uso dos ônibus.

- Janeiro de 2019 apenas o ônibus OSP-5868 estava em uso;
- Outubro de 2019 ambos os ônibus estavam parados;
- Novembro e dezembro de 2019 apenas o ônibus OSP-9358 estava em uso;
- Abril de 2022 apenas o ônibus OSP-5868 estava em uso;

- Maio e junho de 2022 apenas o ônibus OSP9D58 estava em uso.

A partir da volta as atividades presenciais em abril de 2022, ambos os ônibus mudaram a placa de identificação, devido a adoção da placa modelo Mercosul passar a ser obrigatória no Brasil a partir de 2020. Dessa forma, os ônibus passaram a ter a respectiva identificação de placa veicular:

OSP-9358 → OSP9D58;

OSP – 5868 Não foi alterado a placa até os dados com entrada em abril de 2022.

Abaixo pode-se ver os dados brutos de 2022 onde está destacado os ônibus selecionados, durante a etapa de tratamento de dados.

Tabela 06 – Exemplo da rotação de ônibus da universidade.

CONSUMO INTERCAMPI ABRIL/2022					CONSUMO INTERCAMPI MAIO/2022				
DATA	PLACA	KM	LITRO	VALOR	DATA	PLACA	KM	LITRO	VALOR
01/04/2022	OCN-8961	141.272	57,389	R\$ 400,00	02/05/2022	OSP-9D58	127.129	97,926	R\$ 682,54
03/04/2022	OCN-9031	161.969	43,042	R\$ 300,00	03/05/2022	OSP-4B98	98.961	208,481	R\$ 1.453,11
04/04/2022	OSP-4198	96.025	71,737	R\$ 500,00	04/05/2022	OSP-9D58	127.460	96,436	R\$ 672,15
05/04/2022	OCN-8961	141.941	129,503	R\$ 902,62	05/05/2022	OSK-4C10	83.867	67,011	R\$ 467,06
05/04/2022	OSP-4198	96.192	259,837	R\$ 1.811,06	05/05/2022	OSP-4B98	99.373	201,568	R\$ 1.404,92
06/04/2022	OCN-9031	162.357	109,041	R\$ 760,01	06/05/2022	OSP-9D58	127.696	62,626	R\$ 436,50
06/04/2022	OSP-5868	111.283	162,131	R\$ 1.130,05	09/05/2022	OSP-9D58	128.006	80,079	R\$ 559,75
08/04/2022	OSP-4198	96.643	234,757	R\$ 1.636,25	10/05/2022	OSK-3B80	93.326	101,122	R\$ 757,40
11/04/2022	OSP-5868	111.786	225,253	R\$ 1.570,01	11/05/2022	OSP-9D58	128.338	88,793	R\$ 665,05
11/04/2022	OCN-8961	141.904	111,001	R\$ 773,67	12/05/2022	OSK-4C10	84.212	87,912	R\$ 658,46
12/04/2022	OSP-4198	97.031	178,358	R\$ 1.243,15	13/05/2022	OSP-9D58	128.691	105,421	R\$ 789,60
13/04/2022	OCN-9031	162.761	110,093	R\$ 767,34	13/05/2022	OSK-3B80	93.576	70,693	R\$ 524,59
18/04/2022	OSP-5868	112.346	223,777	R\$ 1.559,72	16/05/2022	OSP-4B98	100.728	199,23	R\$ 1.492,23
18/04/2022	OCN-8961	142.432	133,85	R\$ 932,93	17/05/2022	OSK-3B80	93.878	98,088	R\$ 734,67
18/04/2022	OSP-4198	97.496	210,016	R\$ 1.463,81	17/05/2022	OSP-9D58	129.029	87,717	R\$ 657,00
20/04/2022	OSP-4198	97.482	100,43	R\$ 700,00	19/05/2022	OSK-4C10	84.597	97,071	R\$ 727,06
20/04/2022	OCN-9031	163.259	131,931	R\$ 919,55	19/05/2022	OSP-9D58	129.367	95,605	R\$ 716,08
22/04/2022	OSP-4198	97.993	71,736	R\$ 499,99	19/05/2022	OSP-4B98	101.168	236,858	R\$ 1.774,06
25/04/2022	OSP-5868	112.873	197,573	R\$ 1.377,08	23/05/2022	OSP-9D58	129.688	88,13	R\$ 660,09
26/04/2022	OCN-8961	142.898	133,831	R\$ 932,80	24/05/2022	OSP-4B98	101.650	237,847	R\$ 1.781,47
27/04/2022	OSP-4198	98.199	299,339	R\$ 2.086,39	25/05/2022	OSP-9D58	129.999	83,721	R\$ 627,07
28/04/2022	OCN-9031	163.794	120,005	R\$ 836,43	26/05/2022	OSK-4C10	84.963	90,747	R\$ 679,69
29/04/2022	OCN-8961	143.237	103,806	R\$ 723,52	27/05/2022	OSP-4B98	102.114	240,988	R\$ 1.805,00
29/04/2022	OSP-4198	98.479	155,244	R\$ 1.082,05	27/05/2022	OSP-9D58	130.318	87,721	R\$ 657,03
					31/05/2022	OSP-9D58	130.638	85,457	R\$ 640,07
TOTAL				R\$ 24.908,43	TOTAL				R\$ 22.022,65

Autor, 2023.

Após o tratamento, foram levantados dados de referência como:

- Consumo

Dado pela divisão da distância percorrida no mês pela quantidade de combustível abastecido no mês.

$$C = \frac{D}{l} \quad (4.8)$$

- Distância percorrida no mês

Obtida variação da quilometragem do veículo do último abastecimento do mês anterior para o último abastecimento do mês em análise.

$$D = \Delta km \therefore D = km_f - km_i \quad (4.9)$$

- Valor total gasto com combustível

O valor total gasto com combustível foi obtido pela soma de todos os valores de abastecimento no mês. Foram feitos os valores mensais e o valor total para o período estudado.

- Preço médio do combustível

Obtido pela divisão do valor abastecido pelo volume de combustível. O valor médio foi feito a partir dos n valores da amostragem no mês.

- Custo de deslocamento

Trata-se do valor gasto para percorrer um quilômetro, em R\$/km.

- Quantidade de combustível abastecido no mês

Quantidade total de combustível no mês, em litros.

Os parâmetros utilizados para esse cenário se assemelham aos previamente citados, diferenciando-se na distância percorrida anual por cada ônibus, e pelo preço médio do diesel, combustível utilizado pelos veículos, fixado pela ANP em R\$ 7,00 para 2022.

O modelo de ônibus elétrico escolhido para a simulação foi o **E-Bus 15m (Anexo VI)** da fabricante brasileira Eletra, com consumo médio de 1,8 kWh/km e velocidade máxima de 60 km/h, o que o torna uma opção ideal para rota apenas na cidade, segundo a fabricante. O modelo de carregador escolhido foi o **EVF2S22P44R (Anexo VII)** da empresa EVlink do tipo totem de duas tomadas para estação de recarga.

4. RESULTADOS

Mediante a análise dos dados acima destacados, a análise da possível utilização de um sistema de microgeração residencial e de um sistema minigeração para o intercâmbio da UNILAB obteve os seguintes resultados:

4.1 Cenário de microgeração residencial

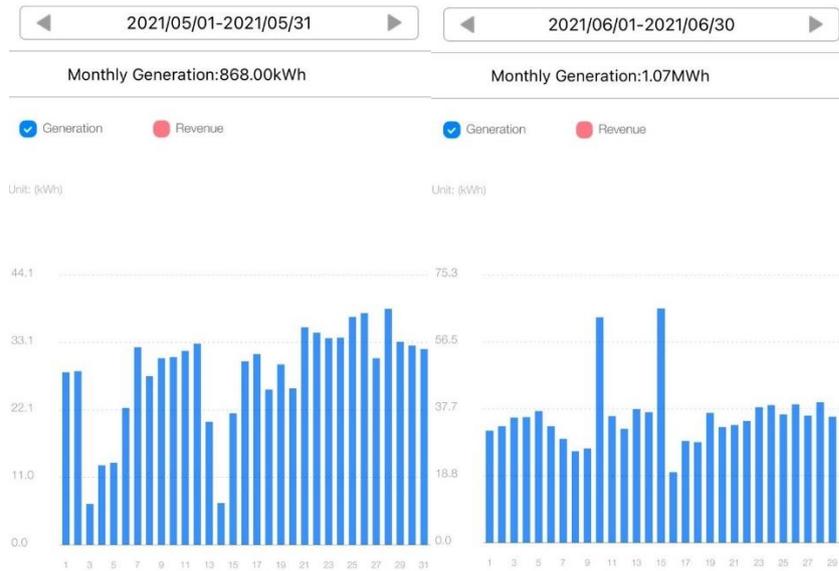
Os dados de geração da usina foram tratados e organizados de forma a fazer o preenchimento da lacuna de dados de maio e junho de 2022, pelos dados desses respectivos meses em 2021.

Figura 44 – Geração média anual registrada pelo investidor.



Autor, 2023.

A geração dos meses de maio e junho de 2022 pode ser representada abaixo:

Figura 45 – Geração mensal de maio e junho de 2021.**Autor, 2023.**

Dessa forma, aplicando o valor de geração mensal para esses meses em 2022, teve-se a seguinte tabela de geração:

Tabela 07 – Geração mensal e anual de energia solar.

Mês	Geração (kWh)
Jan	769
Fev	838
Mar	767
Abr	782
Mai	868
Jun	1070
Jul	970
Ago	1180
Set	1090
Out	1100
Nov	948,4
Dez	942,2
Média	943,72
Total	11324,6

Autor, 2023

Observa-se uma produção de 11.324,60 kWh no ano, e uma média de 943,72 kWh/mês. É importante ressaltar também os pontos de mínimo e máximo, ocorridos em março e agosto respectivamente.

O tempo de recarga de carga total (0 a 100%) do VE do estudo é:

$$T_{rec} = \frac{Bat}{P_{dis}} = \frac{52kWh}{6kW} = 8,67horas$$

O consumo para cada 100 km percorridos é dado por:

$$C = \frac{Bat \times 100}{At} = 13,50kWh$$

O gasto de energia para percorrer 1 km é de 0,135 kWh, ou 0,135 kWh/km. Dessa forma o custo de deslocamento utilizando o VE é:

$$Cd = \frac{C}{100} \times T_E = 0,135 \times 0,71 = 0,0958R \$/km$$

Como o valor é muito baixo para comparar como preço do litro do combustível, por esse motivo as fabricantes adotam a distância de 100 km para comparar os dois tipos de veículos. Assim tem-se o gasto de R\$ 9,58 para percorrer 100 km.

O consumo do veículo a combustão foi de 9,5 km/l, consumindo aproximadamente 10,52 litros de gasolina.

O gasto para percorrer 100 km no VAC foi de:

$$Cvc = 10,52 \times 5,80 \cong R\$61,02$$

Dessa forma, tem-se que o custo do VAC em comparação com o VE foi:

$$\frac{C_{vc}}{C_{ve}} = \frac{61,02}{9,58} = 6,369 \cong 6,37$$

O valor do consumo em litro equivalente é dado por:

$$C = \frac{C_{ve}}{V_c} = \frac{9,58}{5,80} = 1,6517 \cong 1,65 Km/$$

A distância percorrida por dia pode ser dada por:

$$x_d = \frac{D_{ano}}{365} = \frac{9000}{365} = 24,65 km/dia$$

Dessa forma, com um deslocamento médio de 24,65 km/dia, em uma semana tem-se:

$$24,65 \times 7 = 172,55 km/semana$$

O VE precisaria ser abastecido a cada duas semanas, o que resulta em 2 recargas por mês.

Para estabelecer o custo dessas duas recargas, assumindo que o VE percorrerá em média 345,1 km a cada duas semanas, a carga disponível no início da recarga em porcentagem pode ser dada a partir da autonomia restante dividida pela autonomia total:

$$\Delta AT = 385 - 345,1 = 39,9km$$

Logo a porcentagem de carga restante é:

$$C_{rest} = \frac{At_{rest}}{At} \times 100 = 10,36\%$$

A recarga será feita para 89,64% da capacidade da bateria. Portanto a quantidade de energia gasta para as recargas subsequentes a primeira carga total é:

$$E = \frac{89,64}{100} \times 52 = 46,6128kWh$$

Considerando duas recargas por mês, tem-se um acréscimo no consumo de energia mensal de 93,226 kWh, em valores monetários:

$$E_{rec} = 93,226 \times 0,71 \cong R\$66,20$$

4.2 Cenário de minigeração para o sistema intercampi

A análise para o cenário do intercampi, pode ser dividida em três partes principais:

4.2.1 Dados de geração

Os dados de geração foram tratados em micro e macro, sendo a parte micro atribuída aos dados de potência CA instantânea registrada mais próxima a hora fechada do período de 5 a 18 horas, para cada inversor. Após o registro diário fez-se a o total da respectiva semana obtendo assim a curva de potência CA.

Tabela 08 – Dados de potência CA para um dia.

POTÊNCIA CA (W)		SEMANA 1				
HORA	02/janeiro					
	INVERSOR 1	INVERSOR 2	INVERSOR 3	INVERSOR 4	INVERSOR 5	INVERSOR 6
5	0	0	0	0	0	0
6	100	200	400	300	300	500
7	800	1400	1800	1300	1600	1700
8	4300	8300	9100	7100	9000	9400
9	9200	17700	16100	12700	16000	16500
10	13100	25200	23300	18600	23500	24100
11	15500	28100	32500	26200	32600	32000
12	15800	27700	30600	24600	30400	31800
13	800	19000	1800	1500	2100	2100
14	4600	7400	9800	7900	11000	11700
15	7300	14100	13600	10400	13800	14900
16	2700	5400	5000	3500	4800	5100
17	800	1400	1200	900	1300	1500
18	0	0	0	0	0	0

Autor, 2023.

O total semanal foi obtido pela soma do valor diário para cada hora.

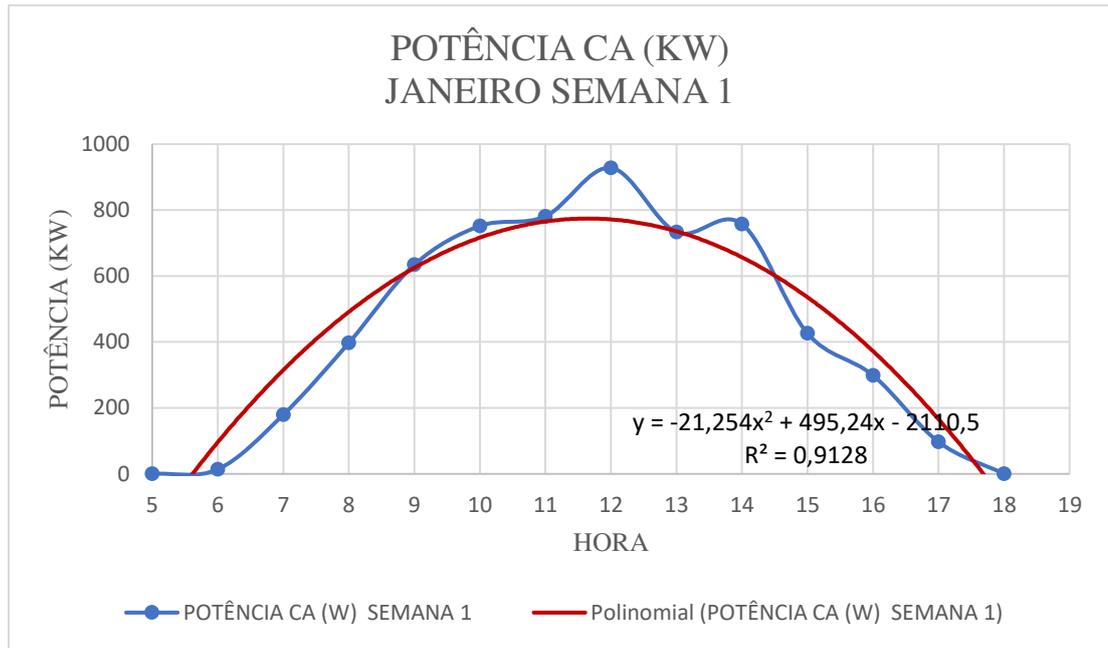
Tabela 09 – Dados de potência CA para uma semana.

08/janeiro						Potência CA Total (Kw)
INVERSOR 1	INVERSOR 2	INVERSOR 3	INVERSOR 4	INVERSOR 5	INVERSOR 6	
0	0	0	0	0	0	0
200	400	400	300	300	400	13,7
5100	12100	11500	9800	11700	12100	179,2
3900	7600	7500	5800	7400	7800	397
16800	27700	28200	18300	29900	27200	634,3
10200	19400	19000	15100	19100	20000	751,9
8100	15600	14300	11100	14600	14900	781,2
12700	30300	32400	14800	28500	19800	928,2
23800	30200	32500	33300	32100	32100	733,3
11300	21900	25700	20600	20000	32400	757,7
6000	8000	7300	5900	9000	10200	426,1
5000	10100	9000	5500	9100	10000	299
2900	6200	5400	3800	5900	6800	97
0	0	0	0	0	0	0

Autor, 2023.

A partir dos dados de potência total obteve-se a curva de potência CA.

Figura 46 – Gráfico da curva de potência CA para janeiro de 2022.



Autor, 2023.

O método de preenchimento de lacunas foi obtido a partir da média semanal e a média mensal dos valores registrados para o inversor em questão, logo:

Tabela 10 – Correção de lacunas de dados.

Inversor 2				Média do inversor
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
0	0	0,00	0,00	0
42,86	400	628,57	457,14	382
2357,14	2757,142857	4714,29	3142,86	3243
6657,14	5642,857143	7214,29	7142,86	6664
9628,57	10100	9642,86	8471,43	9461
12285,71	12871,42857	9442,86	12014,29	11654
12614,29	13385,71429	15671,43	13628,57	13825
11985,71	9814,285714	9728,57	9414,29	10236
12085,71	10842,85714	9471,43	10642,86	10761
10257,14	9100	7857,14	10300,00	9379
6457,14	5428,571429	8871,43	5142,86	6475
4528,57	3157,142857	5242,86	3485,71	4104
1428,57	1100	1628,57	1342,86	1375
0,00	0	0,00	0,00	0

Autor, 2023.

Os valores médios foram aplicados para o mês de janeiro na semana 4, como mostra a tabela abaixo:

Tabela 11 – Valores com correção de dados de geração.

POTÊNCIA CA (W)	SEMANA 4					
HORA	23/jan					
	INVERSOR 1	INVERSOR 2	INVERSOR 3	INVERSOR 4	INVERSOR 5	INVERSOR 6
5	0	0	0	0	0	0
6	1200	382	2700	2100	2500	2500
7	4400	3243	10200	9000	11000	10800
8	11600	6664	24900	16200	22200	20500
9	8100	9461	24800	11500	14400	15300
10	22700	11654	32100	32600	31900	32300
11	8700	13825	32400	17100	25300	16600
12	20000	10236	32500	29400	32700	32500
13	19400	10761	32600	27200	30100	32500
14	15900	9379	28000	20900	29600	31000
15	4500	6475	23700	14200	24500	9000
16	7600	4104	13300	7500	14000	15800
17	2000	1375	3700	2600	4300	5200
18	0	0	0	0	0	0

Autor, 2023.

Os dados de geração mensal obtidos foram:

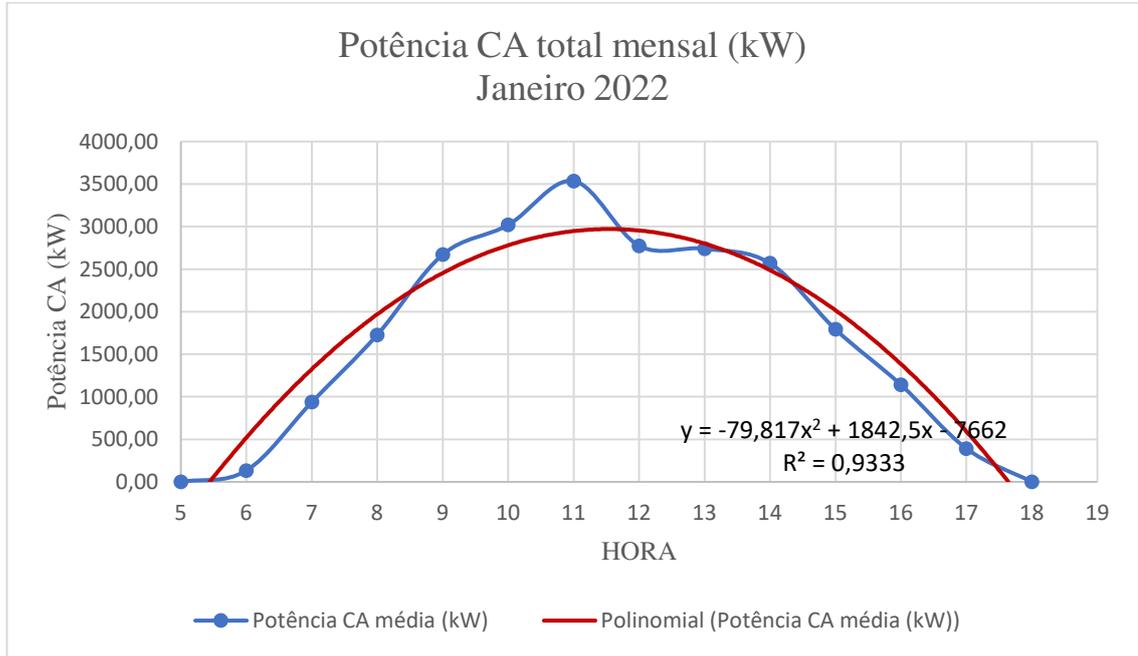
Tabela 12 – Dados de potência CA mensal.

HORA	JANEIRO					FEVEREIRO					MARÇO				
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL (kW)	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL (kW)	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL (kW)
5	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
6	13,7	31,7	52,7	34	132,38	20,5	22,7	16,2	20,5	79,90	25,1	29	28	20,4	102,57
7	179,2	220,7	294,5	242	936,64	191,1	225,6	215,7	274,8	907,20	212,4	257	241	201,6	911,83
8	397	408,9	425,8	496	1727,66	422,4	562,8	445,3	591,2	2021,70	437,2	465	615	418,1	1935,65
9	634,3	697,9	740	599	2670,96	595,4	759,9	888	837,1	3080,40	655,4	778	706	484	2622,97
10	751,9	797,2	680,4	789	3018,65	1001,1	976,3	883,3	1096,5	3957,20	812,8	962	769	599,4	3143,19
11	781,2	794,4	1044	916	3536,03	804,7	669,1	871,2	866,9	3211,90	982,2	818	835	661,3	3296,13
12	928,2	552,7	628,2	665	2774,14	805,1	830,1	904,5	919,2	3458,90	936,5	1053	1038	542,6	3570,30
13	733,3	696,2	598,7	712	2740,46	683,7	722,3	759,5	993,3	3158,80	815,7	587	773	559,6	2735,29
14	757,7	628,9	471,5	712	2569,78	734,9	791,5	850,4	965,7	3342,50	752,9	784	600	378,5	2514,81
15	426,1	365,4	589,1	411	1791,98	551,6	468,2	639,8	765,2	2424,80	526,6	379	329	353,6	1588,65
16	299	233,6	373,2	235	1140,80	251,9	347,6	327,4	345,8	1272,70	344,4	281	197	183,1	1004,68
17	97	77,1	118,9	99	391,78	94,3	95,9	111,1	130,9	432,20	97,4	93	78	58,5	327,27
18	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
HORA	ABRIL					MAIO					JUNHO				
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL (kW)	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL (kW)	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL (kW)
5	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
6	19	32,7	40	37	128,23	40,6	23,1	52,1	28,4	144,20	21,5	31,7	26,4	22,3	101,95
7	189,2	262,2	217	222	890,32	251,3	177,6	276,3	201,1	906,30	139,5	247,5	198,4	185,4	770,81
8	649,6	520,5	552	551	2273,01	405,2	508,9	396	410,8	1720,90	349,2	529,7	410,6	467,1	1756,65
9	556,7	665,4	696	535	2453,24	698,3	594	684,5	589,7	2566,50	476,6	562,9	626,6	694,7	2360,74
10	601,8	751,4	821	742	2916,17	658,3	497,2	774,3	693,9	2623,70	612,9	1006,9	575,6	765,4	2960,81
11	636,5	936,1	776	865	3213,74	606,2	524,7	788,7	499,2	2418,80	679,3	615,2	938,2	833,9	3066,60
12	909,7	933,2	935	693	3470,82	607	782,3	1065,83	594,4	3049,53	587,6	873,6	949,5	754,1	3164,81
13	727,4	877,5	766	532	2903,00	650,9	413,2	1043	897,4	3004,50	569,5	903,1	810,9	669,0	2952,47
14	496,7	696,89	554	555	2302,80	546,7	464,2	683,6	652,1	2346,60	616,0	740,0	864,0	579,9	2799,93
15	401,1	364,1	382	445	1591,98	516,3	353,9	478,5	377,6	1726,30	420,1	546,9	532,9	494,5	1994,48
16	246,7	216	218	209	889,41	200,9	140,9	162,9	154,6	659,30	165,0	117,1	86,6	135,1	503,83
17	45,8	31,9	46	45	168,83	38,2	28,9	34	28,2	129,30	36,8	29,2	38,4	34,4	138,79
18	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Autor, 2023.

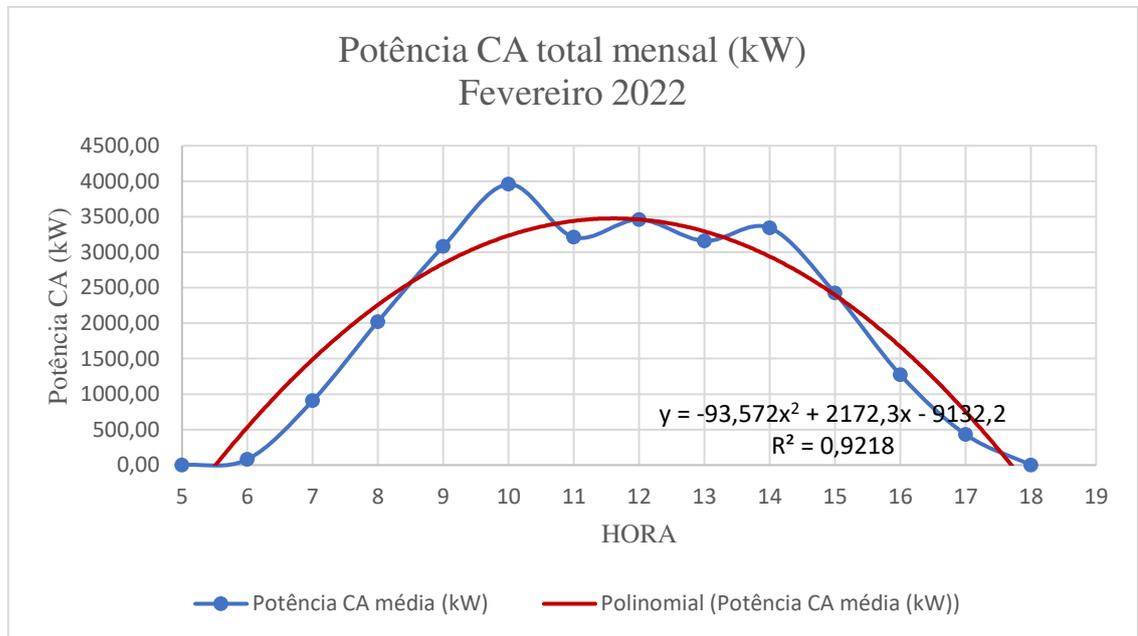
A curva característica de cada mês foi:

Figura 47 – Gráfico da curva de potência CA para janeiro de 2022.



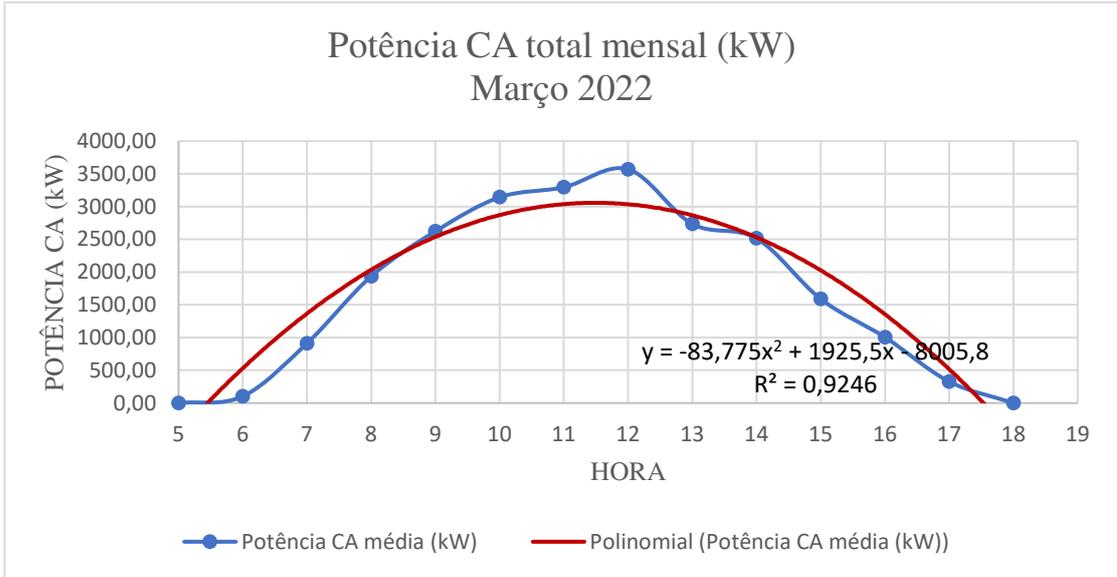
Autor, 2023.

Figura 48 – Gráfico da curva de potência CA para fevereiro de 2022.



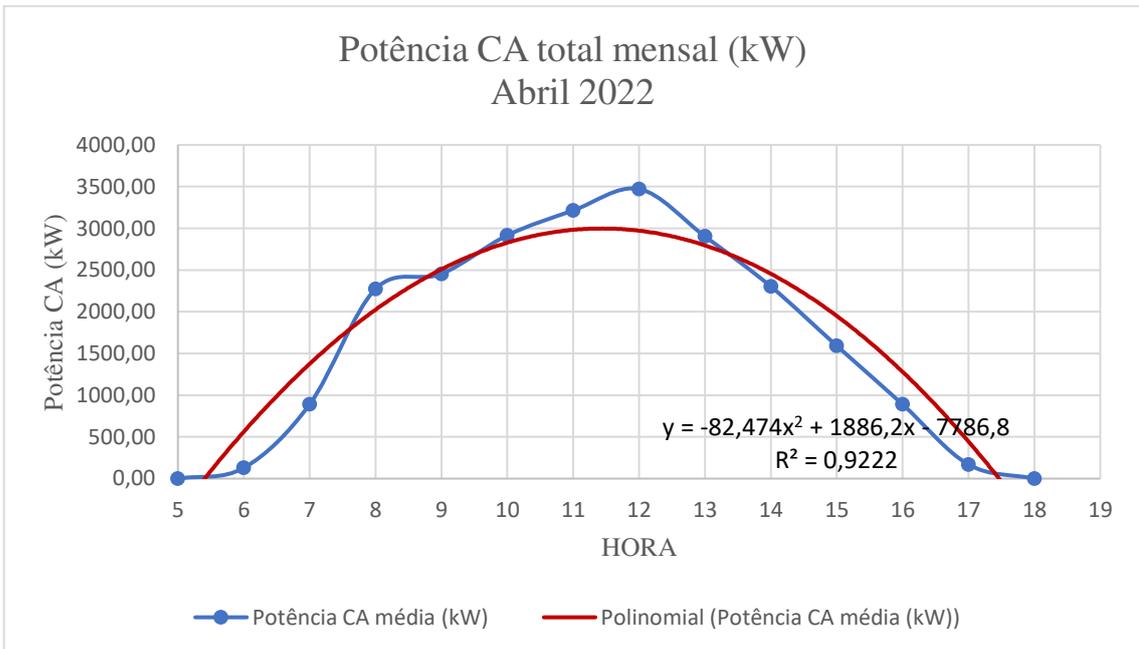
Autor, 2023.

Figura 49 – Gráfico da curva de potência CA para março de 2022.



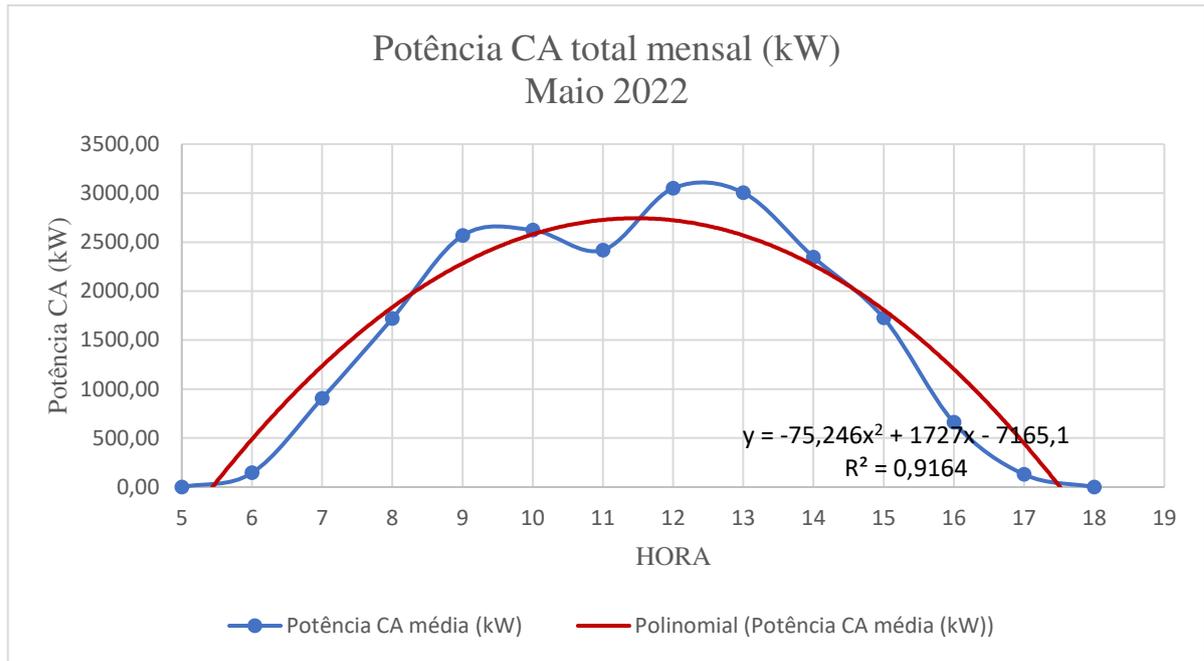
Autor, 2023.

Figura 50 – Gráfico da curva de potência CA para abril de 2022.



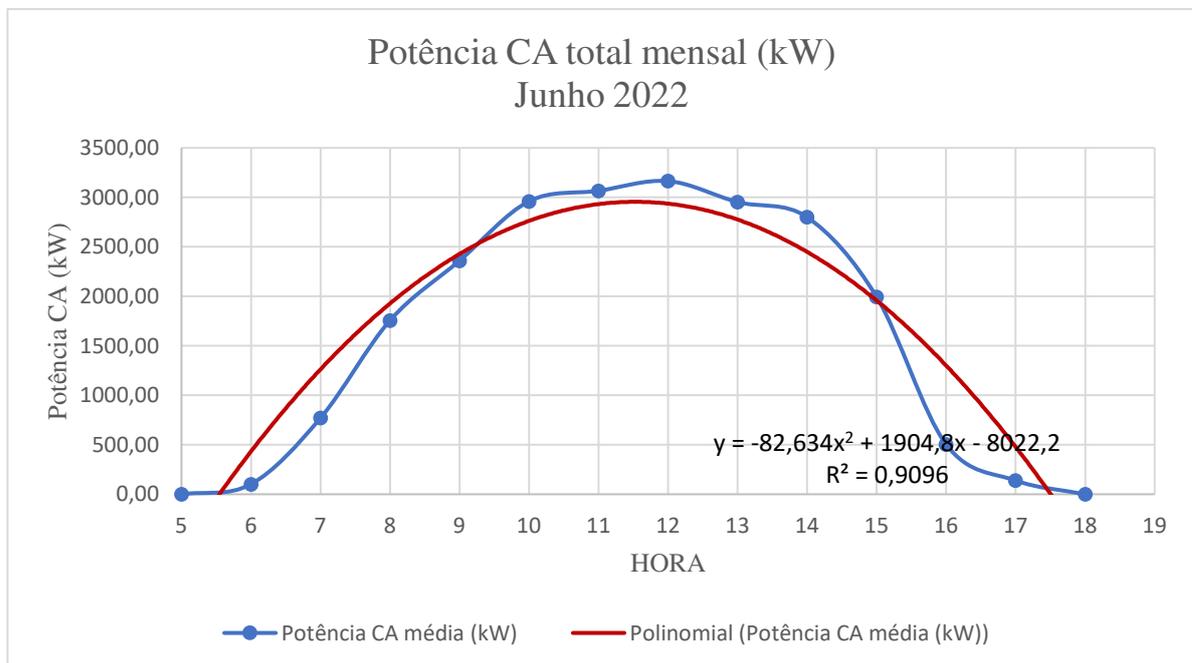
Autor, 2023.

Figura 51 – Gráfico da curva de potência CA para maio de 2022.



Autor, 2023.

Figura 52 – Gráfico da curva de potência CA para junho de 2022.



Autor, 2023.

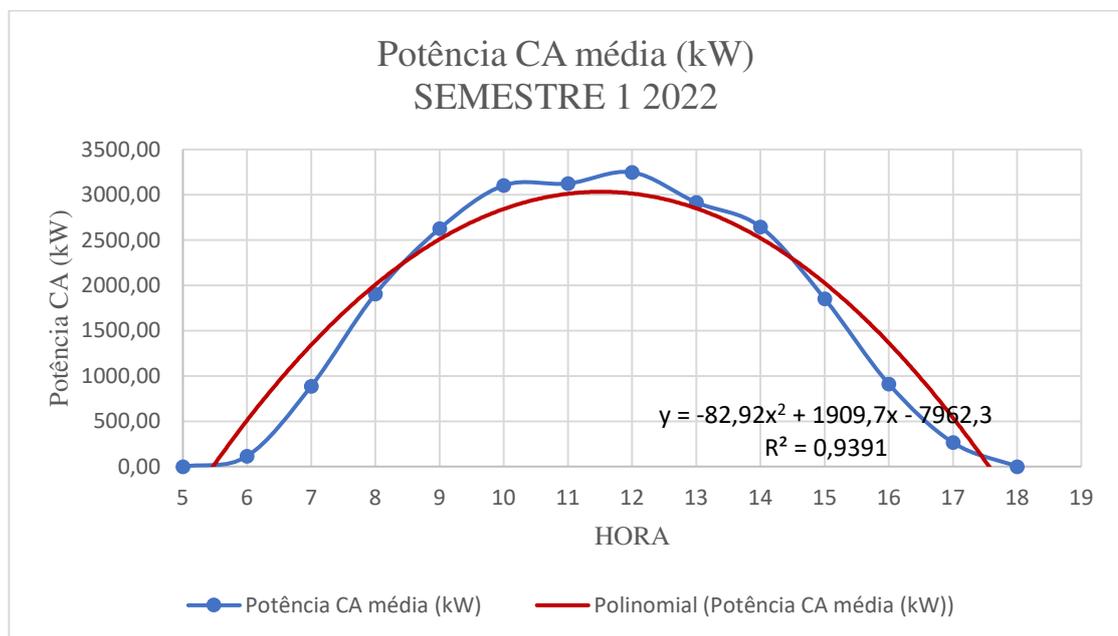
Os modelos de curvas mostraram que a amostragem apresentou tamanho e distribuição normal, com precisão exatidão adequadas mesmo com os fatores de correção aplicados apresentando R^2 acima de 0,90. Dito isso para obter o valor de energia gerada, fez-se a curva média para o semestre.

Tabela 13 – Dados médios para o primeiro semestre de 2022.

HORA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	MÉDIA SEMESTRE
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	132,38	79,90	102,57	128,23	144,20	101,95	114,87
7	936,64	907,20	911,83	890,32	906,30	770,81	887,18
8	1727,66	2021,70	1935,65	2273,01	1720,90	1756,65	1905,93
9	2670,96	3080,40	2622,97	2453,24	2566,50	2360,74	2625,80
10	3018,65	3957,20	3143,19	2916,17	2623,70	2960,81	3103,29
11	3536,03	3211,90	3296,13	3213,74	2418,80	3066,60	3123,87
12	2774,14	3458,90	3570,30	3470,82	3049,53	3164,81	3248,08
13	2740,46	3158,80	2735,29	2903,00	3004,50	2952,47	2915,75
14	2569,78	3342,50	2514,81	2302,80	2346,60	2799,93	2646,07
15	1791,98	2424,80	1588,65	1591,98	1726,30	1994,48	1853,03
16	1140,80	1272,70	1004,68	889,41	659,30	503,83	911,79
17	391,78	432,20	327,27	168,83	129,30	138,79	264,69
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Autor, 2023.

A curva de potência CA para o primeiro semestre foi:

Figura 53 – Curva de potência CA média primeiro semestre de 2022.

Autor, 2023.

A média mensal de potência CA em kW foi:

Tabela 14 – Média mensal de potência CA (kW)

POTÊNCIA CA (kW) MÉDIA SEMANAL					
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho

1673,66	1953,44	1696,67	1657,25	1521,14	1612,28
---------	---------	---------	---------	---------	---------

Autor, 2023.

A energia gerada é dada pela equação 4.7 utilizando os seguintes dados de irradiação:

Tabela 15 – Horas de sol diária média.

Dados	Horas de sol CRESSES, CEPEL						
Fator de correção	0,8	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Dias	28	5,13	5,19	5,12	4,7	4,96	5,32

Adaptado figura 36.

A energia gerada mensal foi:

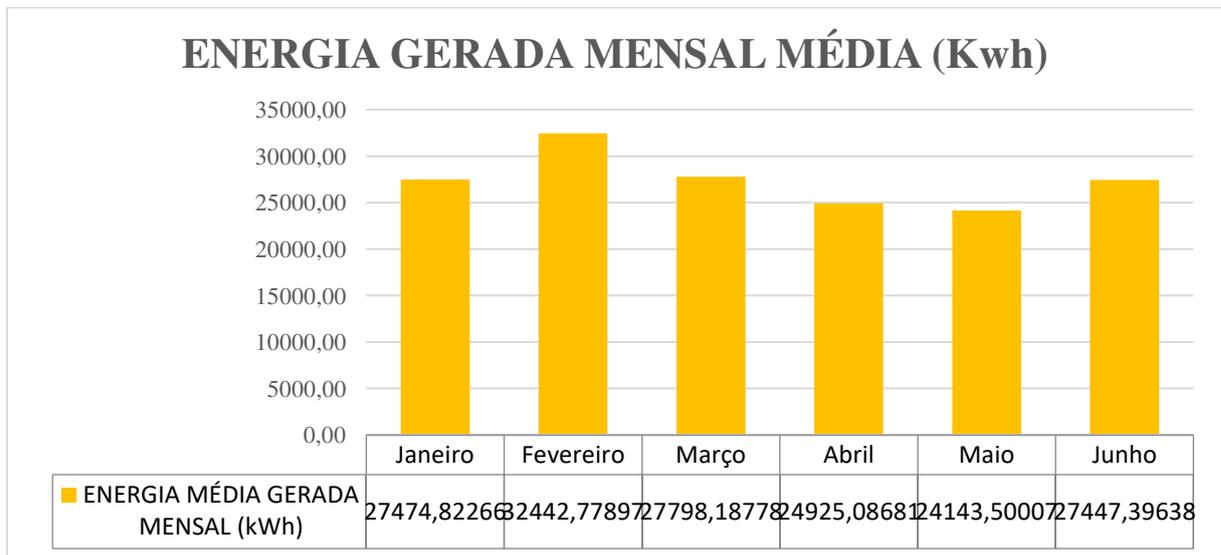
Tabela 16 – Energia gerada mensal.

ENERGIA MÉDIA GERADA MENSAL (kWh)					
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
27474,82	32442,78	27798,19	24925,09	24143,50	27447,40

Autor, 2023.

Representando graficamente, tem-se:

Figura 54 – Energia gerada média mensal.



Autor, 2023.

A energia gerada total para o primeiro semestre foi de 164.231,77 kWh ou 164,232 MWh aproximadamente.

4.2.2 Dados de transporte

Os dados de transporte obtidos foram analisados por mês. O tratamento dos dados resultou na seguinte tabela:

Tabela 17 – Dados do intercambi para um mês.

JAN/2019				
DATA	Km	LITRO	VALOR	PREÇO LITRO
03/01/2019	69.991	209,28	R\$ 795,06	R\$ 3,80
14/01/2019	70.130	71,80	R\$ 272,80	R\$ 3,80
15/01/2019	70.376	118,45	R\$ 449,99	R\$ 3,80
16/01/2019	70.618	119,00	R\$ 452,11	R\$ 3,80
17/01/2019	70.852	116,62	R\$ 445,32	R\$ 3,82
18/01/2019	71.102	117,22	R\$ 443,04	R\$ 3,78
22/01/2019	71.564	244,63	R\$ 929,36	R\$ 3,80
24/01/2019	72.024	241,38	R\$ 917,02	R\$ 3,80
28/01/2019	72.503	252,14	R\$ 957,88	R\$ 3,80
30/01/2019	72.970	245,14	R\$ 931,29	R\$ 3,80
Total	2.979	1.735,66	R\$ 6.593,87	R\$ 3,80
AUTONOMIA	1,72 km/l		2,21 R\$/km	

Autor, 2023.

Os valores a serem destacados são, distância percorrida no mês, quantidade total de combustível abastecido, custo total de combustível, preço médio do litro de combustível (Diesel), consumo médio em km/l e custo de deslocamento em R\$/km.

A análise dos dados para o ano de 2019 apresentaram os seguintes resultados:

Tabela 18 – Dados de abastecimento e rota do ônibus 1 para 2019.

2019	OSP - 5868					
Mês	Consumo (km/l)	Custo (R\$/km)	Preço médio combustível	Valor total gasto	Distância percorrida (km)	Combustível (l)
JAN	1,72	R\$ 2,21	R\$ 3,80	R\$ 6.593,87	2.979	1.735,66
FEV	2,26	R\$ 1,67	R\$ 3,79	R\$ 8.035,21	4.798	2121,34
MAR	2,48	R\$ 1,51	R\$ 3,73	R\$ 5.150,00	3420	1380,59
ABR	2,14	R\$ 1,76	R\$ 3,76	R\$ 7.446,39	4.230	1980,15
MAI	2,73	R\$ 1,52	R\$ 3,83	R\$ 5.410,26	3.566	1308,07
JUN	2,09	R\$ 1,81	R\$ 3,77	R\$ 3.043,25	1.682	806,33
JUL	2,35	R\$ 1,60	R\$ 3,77	R\$ 4.530,38	2.831	1202,3
AGO	2,68	R\$ 1,40	R\$ 3,76	R\$ 5.429,06	3.866	1443,96
SET	1,91	R\$ 1,97	R\$ 3,76	R\$ 2.265,38	1.149	602,64
Total	2,26	R\$ 1,72	R\$ 3,77	R\$ 47.903,80	27.372	12.581,04

Autor, 2023.

Em 2022 o ônibus 1 só foi usado em abril, apresentando os seguintes valores:

Tabela 19 – Dados de abastecimento e rota do ônibus 1 para abril de 2022.

ABRIL/2022				
DATA	Km	Litro	Valor	PREÇO LITRO
06/04/2022	111.283	162,131	R\$ 1.130,05	R\$ 6,97
11/04/2022	111.786	225,253	R\$ 1.570,01	R\$ 6,97
18/04/2022	112.346	223,777	R\$ 1.559,72	R\$ 6,97
25/04/2022	112.873	197,573	R\$ 1.377,08	R\$ 6,97
Total	1.590	808,734	R\$ 5.636,86	R\$ 6,97
AUTONOMIA	1,97 km/l		3,55 R\$/km	

Autor, 2023.

Tabela 20 – Dados de abastecimento e rota do ônibus 2 para 2019.

2019	OSP - 9358					
Mês	Consumo (km/l)	Custo (R\$/km)	Preço médio combustível	Valor total gasto	Distância percorrida (km)	Combustível (l)
JAN	ND	ND	ND	ND	ND	ND
FEV	2,99	R\$ 1,11	R\$ 3,78	R\$ 1.942,97	1.756	514,96
MAR	4,06	R\$ 0,90	R\$ 3,80	R\$ 2.468,11	2.741	645,16
ABR	3,69	R\$ 1,28	R\$ 3,82	R\$ 1.050,00	822	274,58
MAI	4,06	R\$ 1,11	R\$ 3,83	R\$ 2.641,89	2.375	585,33
JUN	3,69	R\$ 1,36	R\$ 3,77	R\$ 1.557,68	1.145	310,09
JUL	5,42	R\$ 0,85	R\$ 3,77	R\$ 1.729,43	2.034	375,5
AGO	4,76	R\$ 1,08	R\$ 3,76	R\$ 2.325,30	2.158	453,38
SET	3,60	R\$ 1,04	R\$ 3,76	R\$ 1.446,49	1.385	384,8
OUT	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NOV	2,75	R\$ 1,38	R\$ 3,80	R\$ 1.306,27	945	343,83
DEZ	3,18	R\$ 1,21	R\$ 3,85	R\$ 773,06	639	200,95
Total	3,82	1,13	R\$ 3,79	R\$ 17.241,20	16000	4088,58

Autor, 2023.

O ônibus 2 em 2022 foi utilizado somente em maio e junho, resultando nos seguintes dados:

Tabela 21 – Dados de abastecimento e rota do ônibus 2 para 2022.

2022	OSP9D58					
Mês	CONSUMO (km/l)	Custo (R\$/km)	Preço médio combustível	Valor total gasto	Distância percorrida (km)	Combustível (l)
MAI	3,31	R\$ 2,21	R\$ 7,32	R\$ 7.762,93	3.509	905,307
JUN	3,43	R\$ 2,23	R\$ 7,64	R\$ 6.916,45	3.107	1059,63
TOTAL	3,37	R\$ 2,22	R\$ 7,48	R\$ 14.679,38	6.616	1964,939

Autor, 2023.

É notável o aumento de custo do sistema de intercâmbio da universidade ao comparar os valores de 2019 com os de 2022, sendo esse custo, diretamente proporcional ao preço médio do diesel.

Em 2022 o preço médio do diesel para o período estudado, foi de R\$ 7,31, quando comparado com o preço médio de 2019 que foi de R\$ 3,78, percebe-se um aumento de aproximadamente 93,39% no preço do diesel. Dessa forma destaca-se o valor total gasto com combustível, onde em 2022 o ônibus 1 comparando-se os valores do mês de abril de 2022 e abril de 2019, tem-se que o custo de deslocamento foi de 3,55 R\$/km enquanto em 2019 foi de 1,76 R\$/km, um aumento 101,70% para o ônibus 1. Para o ônibus 2 que apresentou uma eficiência de consumo melhor, comparando apenas os meses de uso, o bimestre em 2019 teve custo médio de 1,24 R\$/km, logo tem-se que o custo de deslocamento aumentou em 79,03 %.

A distância média percorrida pelos ônibus 1 e 2 em 2019 foi de 3.041 km/mês e 1.600 km/mês respectivamente. Essas distâncias médias foram adotadas para os cálculos de mobilidade elétrica para 2022.

4.2.3 Resultados do modelo de mobilidade elétrica

Para os resultados de mobilidade elétrica pode-se resumir a sessão anterior em:

- Distância média percorrida por mês em 2019 que foi re aplicada para 2022:

Ônibus 1 foi de 3.041 km/mês;

Onibus 2 foi de 1.600 km/mês.

- Preço médio do diesel e tarifa de energia foi de R\$ 7,31, 1,26 R\$/kWh ponta, 0,3604 R\$/kWh no horário fora ponta, respectivamente.

O *E-BUS 15M* é equipado com um banco de baterias íons-lítio de 340kWh, e autonomia de 250 km. E um consumo médio indicado de 1,8 kWh/km. Dessa forma o tempo de recarga completa utilizando a estação de carregamento de 22kW é:

$$T_{rec} = \frac{Bat}{P_{dis}} = \frac{340}{22} = 15,46 \text{ horas}$$

O custo de deslocamento considerando o carregamento em horário fora ponta, utilizando o dado de consumo indicado e a quantidade de energia necessária para percorrer 100 km são:

$$C_d = C \times T_E = 1,8 \frac{kWh}{km} \times 0,3604 \frac{R\$}{kWh} = 0,6487 \cong 0,65 R \$/km$$

O gasto para percorrer 100 km é de:

$$C_{ve} = 100km \times 0,65 \frac{R\$}{km} = 65,00R\$$$

O consumo médio dos VAC foram 2,26 km/l e 3,82 km/l, o gasto para percorrer 100 km em cada ônibus, sabendo que é preciso 44,25 e 26,18 litros de combustível respectivamente, para o ônibus 1 pode ser dado por:

$$C_{vc1} = 44,25 \times 7,31 = R\$323,48$$

Para o ônibus 2:

$$C_{vc2} = 26,18 \times 7,31 = R\$191,38$$

Dessa forma o custo de deslocamento comparando cada ônibus com o ônibus elétrico, é:

$$\frac{C_{vc1}}{C_{ve}} = \frac{323,48}{65,00} \cong 4,98$$

Para o ônibus 2:

$$\frac{C_{vc2}}{C_{ve}} = \frac{191,38}{65,00} \cong 2,95$$

Percebe-se que o ônibus elétrico apresenta um melhor desempenho, sendo quase cinco vezes e três vezes mais econômico do que os ônibus a combustão estudados.

A distância média percorrida por dia para o ônibus 1 é:

$$x_d = \frac{D_{mês}}{30} = \frac{3041}{30} = 101,36km$$

Para o ônibus 2 é:

$$x_d = \frac{D_{mês}}{30} = \frac{1600}{30} = 53,34km$$

Como o ônibus elétrico tem uma autonomia média de 250km com carga completa, faz-se necessário recarregar o ônibus 1 a cada 2 dias de uso e o ônibus 3 a cada 4 dias. Dessa forma, a porcentagem de bateria restante no momento do carregamento será:

$$AT_{rest1} = 250 - 202,72 = 47,28km$$

Para o ônibus 2:

$$AT_{rest2} = 250 - 213,36 = 36,64km$$

A carga restante é:

$$Crest = \frac{At_{rest1}}{At} \times 100 = \frac{47,28}{250} \times 100 = 18,91\%$$

Para o ônibus 2:

$$Crest = \frac{At_{rest2}}{At} \times 100 = \frac{36,64}{250} \times 100 = 14,65\%$$

As recargas médias serão feitas para 81,09% e 85,35% da capacidade das baterias, logo a quantidade de energia gasta para uma recarga é:

$$E1 = \frac{81,09}{100} \times 340 \cong 275,71kWh$$

Para o ônibus 2:

$$E2 = \frac{85,35}{100} \times 340 = 290,19kWh$$

O acréscimo de energia por mês para o ônibus 1 é:

$$E1 = 15 \times 275,71 = 4.075kWh$$

Para o ônibus 2:

$$E2 = 8 * 290,19 = 2.321,32kWh$$

O acréscimo médio de energia total será de 6396,52 kWh/mês. Logo o custo de combustível para manter os ônibus, considerando que a recarga da bateria será feita no período fora ponta é:

$$6396,52 \times 0,3604 \cong R\$2.305,30$$

A quantidade de combustível que esse valor permite comprar é:

$$V_d = \frac{2305,30}{7,31} = 315,36l$$

Essa quantidade de combustível por mês possibilita percorrer para o ônibus 1:

$$Dist = 2,26 \frac{km}{l} \times 315,36l = 712,72km$$

E para o ônibus 2:

$$Dist = 3,82 \frac{km}{l} \times 315,36l = 1204,68km$$

Logo percebe-se que ao adotar a mobilidade elétrica, tanto no uso individual para uma residência como no uso coletivo pelo sistema de intercâmbio da universidade, deverá ter uma redução na despesa com combustível embora os veículos elétricos ainda sejam consideravelmente mais caros para adquirir do que um veículo a combustão.

O Brasil tem hoje uma frota de cerca de 59,5 milhões de automóveis e 1,1 milhão de ônibus e micro-ônibus somados (IBGE,2022.). Isso representa utilizando os dados de energia mensal necessário para abastecer esses veículos, um acréscimo de:

$$E_{at} = 93,3kWh.mês \times 59,5 = 5,55TWh.mês$$

$$E_{bus} = E_{med} \times 1,1 \times 10^6 = 282,95kWh \times 1,1 \times 10^6 = 311,245GWh.mês$$

Onde:

E_{med}: Média da energia necessária para o abastecimento dos ônibus 1 e 2.

5. Considerações finais

O presente estudo teve como objetivo fazer uma análise do cenário de transição energética e de mobilidade urbana, trazendo um estudo de caso para duas áreas em específico, sendo elas uma residência com um veículo elétrico de uso próprio e individual, e um estudo sobre o sistema de intercampi da UNILAB – CE, caracterizado como um sistema de mobilidade de uso compartilhado, apresentando um modelo para verificar a economia com combustível e como o seria o acréscimo no consumo de energia elétrica com essa mudança.

Os veículos elétricos embora venham em uma vertente de desenvolvimento acelerada, ainda precisam ganhar confiança do mercado de automóveis, e precisam estar apoiados por uma rede de recarga, o que nesse estudo ficou evidente no sistema de intercampi a necessidade de carregadores mais potentes para uma recarga mais rápida. Porém a viabilidade econômica se dá em grande parte devido ao aumento dos preços dos combustíveis e a possibilidade de edificações que utilizam energia solar tornarem ainda mais atrativa essa mudança para a mobilidade elétrica através da compensação de energia sendo injetada na rede.

O estudo também apresentou um esboço de como projetos fotovoltaicos podem considerar o acréscimo de energia mensal causado por um veículo elétrico para o dimensionamento do tamanho do sistema. Os modelos apresentaram que embora os veículos elétricos ainda possuam um valor de aquisição elevado em comparação com os veículos a combustão, para o estudo residencial um veículo elétrico é cerca de seis vezes mais barato, e para o sistema de intercampi, cerca de três e cinco vezes mais barato para manter com combustível do que um veículo a combustão.

O presente trabalho pode ser utilizado como uma base para um estudo mais aprofundado por pesquisas futuras, com o intuito de avaliar a possibilidade de implantar o modelo de ônibus elétricos.

Dessa forma a eletrificação da frota mundial de veículos é uma realidade cada vez mais próxima, e faz-se necessário estruturar a rede elétrica e a matriz energética mundial visto que a introdução cada vez maior desses veículos no cotidiano das pessoas, trará consigo um grande acréscimo de consumo de energia elétrica.

6. Referências

ABNT. BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10899**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16690**. 2019. Disponível em: <https://www.solarize.com.br/downloads/manual-energia-solar/NBR-16690-2019-consulta-publica.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2022.

ABVE. Associação brasileira de veículos elétricos. **Brasil já tem 114 modelos de veículos eletrificados**. Disponível em: <http://www.abve.org.br/brasil-ja-tem-114-modelos-de-veiculos-eletrificados/> Acesso em 26/12/2022.

ABVE. Associação brasileira de veículos elétricos. **Brasil preparado para produzir ônibus elétricos**. Disponível em: <http://www.abve.org.br/brasil-preparado-para-produzir-onibus-eletricos/> Acesso em 26/12/2022.

AYRÃO, Vinicius. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: conceitos, aplicações e estudos de caso**. Rio de Janeiro: Cooper Alliance, 2018.

BOSSCHE, P.V.; VERGELS, F.; MIERLO, J.V.; MATHEYS, J.; AUTENBOER, W. V. SUBAT: **An assessment of sustainable battery technology**. *Journal of Power Sources*. 2006.

BRASIL. Aneel. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482**. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 21 nov. 2022.

BRASIL. Aneel. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Veículos elétricos**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/veiculos-eletricos> acesso em 26/12/2022.

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A.. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade**. O instalador, Porto, jan. 2006.

CALISE, Francesco; CAPPIELLO, Francesco Liberato; CARTENÌ, Armando; D'ACCADIA, Massimo Dentice; VICIDOMINI, Maria. **A novel paradigm for a sustainable mobility based on electric vehicles, photovoltaic panels and electric energy storage systems: case studies for naples and salerno (italy)**. *Renewable And Sustainable Energy*

Reviews, [S.L.], v. 111, p. 97-114, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.022>.

CEPEL; CRESSES. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014.

CHEN, H; CONG, T.N.; YANG, W.; TAN, C.; LI, Y. e DING, Y. **Progress in electrical energy storage system: A critical review**. Progress in Natural Science. 2009.

FETCENKO, M.A.; OVISHINSKY, S.R.; REICHMAN, B.; YOUNG, K.; FIERRO, C.; KOCH, J.; ZALLEN, A.; MAYS, W.; OUCHI, T. **Recent advances in NiMH battery technology**. Journal of Power Sources. 2007.

FGV (Rio de Janeiro). **Carros elétricos**. Rio de Janeiro: Accenture, 2017.

GARCÍA, Irene Illescas; JEFFREY, Michael. **Recharging of electric cars by solar photovoltaics**. Electric Vehicles: Prospects and Challenges, [S.L.], p. 415-487, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803021-9.00012-4>.

GESEL. UFRJ. **Observatório de Hidrogênio**. Rio de Janeiro. UFRJ, 2021.

HOARAU, Quentin; PEREZ, Yannick. **Interactions between electric mobility and photovoltaic generation: a review**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 94, p. 510-522, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.039>.

<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2017/08/07/para-especialista-rio-92-levou-brasil-ao-protagonismo-em-questoes-ambientais>. Acesso em 25/10/2022.

<https://www.cnnbrasil.com.br/business/edp-faz-parceria-com-graal-para-instalar-postos-de-recarga-de-veiculos-eletricos/>. Acesso em 25/12/2022.

<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/fim-dos-motores-a-combustao-ja-tem-data-revela-executivo-da-stellantis/>. Acesso em 20/12/2022.

<http://www.eletrabus.com.br/eletrico-puro/eletrico-puro-15m/>. Acesso em 09/01/2023.

<https://blog.bluesol.com.br/placas-fotovoltaicas> Acesso em 20/06/2022.

<https://blog.otthydromet.com/en/albedo-measurement-for-bifacial-pv-modules/>. Acesso em 20/06/2022.

<https://climainfo.org.br/2021/02/22/o-arco-iris-do-hidrogenio/>. Acesso em 27/12/2022.

https://ibrap.com.br/foto_carport_monopilar. Acesso em 20/06/2022.

<https://www.bmw.com.br/pt/all-models/bmw-i/bmw-ix/2021/bmw-ix.html>. Acesso em 11/01/2023.

<https://www.capitalreset.com/guias/hidrogenio-verde/>. Acesso em 27/12/2022.

<https://www.enel.com.br/content/dam/enel-br/megamenu/taxas,-tarifas-e-impostos/Tarifas-ENEL-CE-bandeira-VERDE-Julho22.pdf>. Acesso em 08/01/2023.

<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> Acesso em 15/06/2022.

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource> Acesso em 15/06/2022.

<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>. Acesso em 26/12/2022.

<https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/leaf.html>. Acesso em 08/01/2023.

<https://www.opovo.com.br/noticias/economia/2022/12/16/primeira-molecula-de-hidrogenio-verde-e-produzida-no-ceara-veja-detalhes.html> Acesso em 27/12/2022.

<https://www.portaldotransito.com.br/noticias/mobilidade-e-tecnologia/energia-limpa-veja-contribuicao-para-o-carregamento-de-carros-eletricos/>. Acesso em 26/12/2022.

<https://www.renault.com.br/veiculos-eletricos/zoe/ficha-tecnica.html>. Acesso em 10/01/2023.

IEA, EVI. **Global EV Outlook 2022**. Paris. 2022.

IEA, **Global CO2 emissions from transport by sub-sector in the Net Zero Scenario, 2000-2030**, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-transport-by-sub-sector-in-the-net-zero-scenario-2000-2030>, IEA. Licence: CC BY 4.0. Acesso em 25/12/2022.

IEA. Paris. **World Energy Transitions Outlook**. 2022

INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO. Instituto de Energia da Puc-Rio. **O sol vai voltar amanhã: um espectro de análises sobre a energia fotovoltaica**. Rio de Janeiro: Lexikon, 2021.

IRENA. **World Energy Transitions Outlook**. 2022

JONES, P. **The Evolution of urban Mobility: the interplay of academic and policy perspectives**. IATSS Research. 2014.

MCKINSEY&COMPANY. **HYDROGEN COUNCIL**. 2021. Disponível em: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/02/Hydrogen-Insights-2021.pdf>

MOREIRA, José Roberto Simões. **Energias Renováveis, Geração Distribuída E Eficiência Energética**. Rio de Janeiro: Ltc, 2017.

PEREIRA JUNIOR, Luiz Carlos. **A INTERAÇÃO ENTRE GERADORES SOLARES FOTOVOLTAICOS E VEÍCULOS ELÉTRICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA PÚBLICA**. Florianópolis: Ufsc, 2011.

PORTUGAL, Licínio da Silva (org.). **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

SEDDIG, Katrin; JOCHEM, Patrick; FICHTNER, Wolf. **Two-stage stochastic optimization for cost-minimal charging of electric vehicles at public charging stations with photovoltaics**. Applied Energy, [S.L.], v. 242, p. 769-781, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.036>.

SILVA, G., ROMERO, M. **Sustentabilidade urbana aplicada: análise dos processos de dispersão, densidade e uso e ocupação do solo para a cidade de Cuiabá, Estado de Mato Grosso**. Brasil. EURE. (2015).

VIERA, J.C.; GONZALES, M.; ANTON, J.C.; CAMPO, J.C.; FERRERO, F.J.; VALLEDOR, M. **NiMH vs NiCd Batteries under high charging rates**, in Proc. 28th Annual Telecommunications Energy Conference. 2006.

7. Anexos

- Anexo I memorial descritivo da micro usina de 7,0kWp

**Memorial descritivo: Projeto Solar Fotovoltaico – Geração
Distribuída:
Instalação de uma planta solar fotovoltaica de potência de
5,00kWp conectada a rede**

Francisco de Paula Aguiar Silva: Caucaia-CE

Empresa: TARP Engenharia

Município: Caucaia – CE

Responsável Técnico: Nestor Rocha Monte Fontenele – Engenheiro Eletricista – CREA: 061560761-6.

1- INTRODUÇÃO

O presente relatório técnico tem por objetivo apresentar o memorial descritivo para implantação de um Gerador Fotovoltaico (GF) de 5,00 kWp, onde é utilizado 16 módulos de geração e 1 inversor. Este modelo e quantidade de gerador foram previamente aprovados pelo proprietário da residência.

A previsão de ligação do sistema elétrico é para 06 de janeiro de 2021. A modalidade de geração é de geração distribuída junto a carga.

1.1 – Identificação do Cliente

1.1.1 – Unidade geradora:

Unidade Consumidora (UC): 50338092

Número do medidor: 4960360

Padrão: Monofásico

Nome: Francisco de Paula Aguiar Silva

Localização: RUA 10 TABAPUA, 00134, CURICACA, 61600-004, CAUCAIA.

Cep: 61635-290

CPF/CNPJ: 122.630.103-78

1.2 – Características do projeto:

Tipo de geração: Microgeração Distribuída.

Classe: Residencial.

Tipo de geração: Geração distribuída junto a carga.

2- LOCALIZAÇÃO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

2.1 – Planta de Situação da Residência

A figura 1 apresenta a planta de situação da residência onde será implantado o Gerador Fotovoltaico. Esta casa situa-se na RUA 10 TABAPUA, 00134, CURICACA, 61600-004, CAUCAIA.



Figura 1 - Planta de situação da residência.

A tabela 1 mostra o georreferenciamento da residência.

Tabela 1 – Localização da residência.

COORDENADAS – UTM – WGS-84		
Zona	Long.	Lat.
24 M	-38.613411°	-3.740431°

3.2 – Cálculo de Potência

Conforme o § 1º do art. 4º da Resolução Normativa nº 482/2012, a potência instalada da microgeração distribuída fica limitada à potência disponibilizada para a unidade consumidora onde a geração será conectada.

Por potência disponibilizada (inciso LX, art. 2º da Resolução Normativa nº 414/2010), considera-se a potência que o sistema elétrico da distribuidora deve dispor para atender aos equipamentos elétricos da unidade consumidora. Para unidade consumidora do grupo B é calculada como a resultante da multiplicação da capacidade nominal de condução de corrente elétrica do dispositivo de proteção geral da unidade consumidora pela tensão nominal, observado o fator específico referente ao número de fases, expressa em quilovolt-ampère (kVA). Sendo a capacidade nominal do dispositivo de proteção de 32A, então a potência disponibilizada será:

$$P_{disp} = 1x220x32 = 7,04kVA$$

A potência instalada de sistemas de geração fotovoltaicos é definida na Resolução Normativa nº 676/2015 como a "potência nominal elétrica, em kW, na saída do inversor, respeitadas limitações de potência decorrentes dos módulos, do controle de potência do inversor ou de outras restrições técnicas". Trata-se, portanto, do menor valor entre a potência nominal do inversor e a potência dos módulos.

Sendo assim, a potência instalada na unidade consumidora é a soma das potências de saída do inversor, calculado da seguinte forma:

$$P_{disp} = 1x5000W = 5,00kW$$

A potência gerada não excede a potência disponibilizada à unidade consumidora, estando de acordo com a norma NT – 010, item 6.2.1.

4- GERADOR FOTOVOLTAICO

O Gerador Fotovoltaico escolhido para compor a geração de autoconsumo remoto, alvo deste projeto, é composto de 16 módulos fotovoltaicos de 440 Wp da empresa Longi, modelo LR4-72HPH-440M e 1 inversor da empresa Solis, 1-P5K-4G, com especificações apresentadas na figura 5.

O módulo solar fotovoltaico (440 Wp) possui as características técnicas apresentadas na figura 6. Considerando que serão instalados os módulos de 440 Wp e o inversor previsto permitem a conexão dos módulos, todos os módulos serão conectados ao inversor. A potência total do sistema é de $16 \times 440 = 7,04$ kWp.

4.1 – Cálculo da Energia Média Gerada

Considerando a potência média disponível de 7,04 kWp, os dados de irradiação solar média e as informações sobre os equipamentos que serão utilizados no sistema, foi calculado, com auxílio de software específico para este fim, que a energia média gerada é de 864 kWh/mês.

Considerando a energia demandada pela UC, que teve como valor médio 840 kWh/mês, resulta então que este Gerador Fotovoltaico suprirá mais de 100% da unidade geradora.

5- DIAGRAMAS BÁSICOS

A figura 7 apresenta o esquema básico de ligação de um gerador fotovoltaico. Nesta figura pode se observar todas as partes que compõem o sistema, desde o gerador fotovoltaico até a conexão à residência.

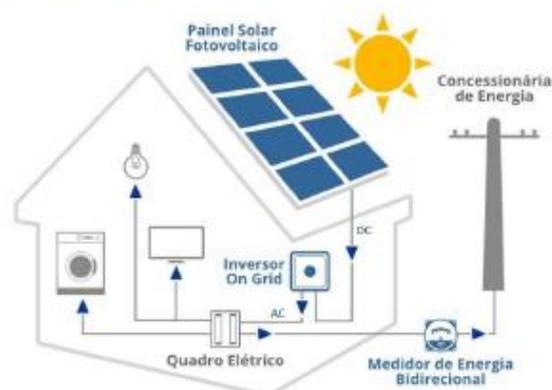


Figura 7 - Esquema básico de ligação para um gerador fotovoltaico.

- Anexo II Datasheet Renault ZOE



Autonomia para quem vai mais longe

Graças à bateria de 52 kWh, o Novo Renault ZOE E-TECH garante uma autonomia de até 385 km, para você pegar a estrada sem se preocupar.

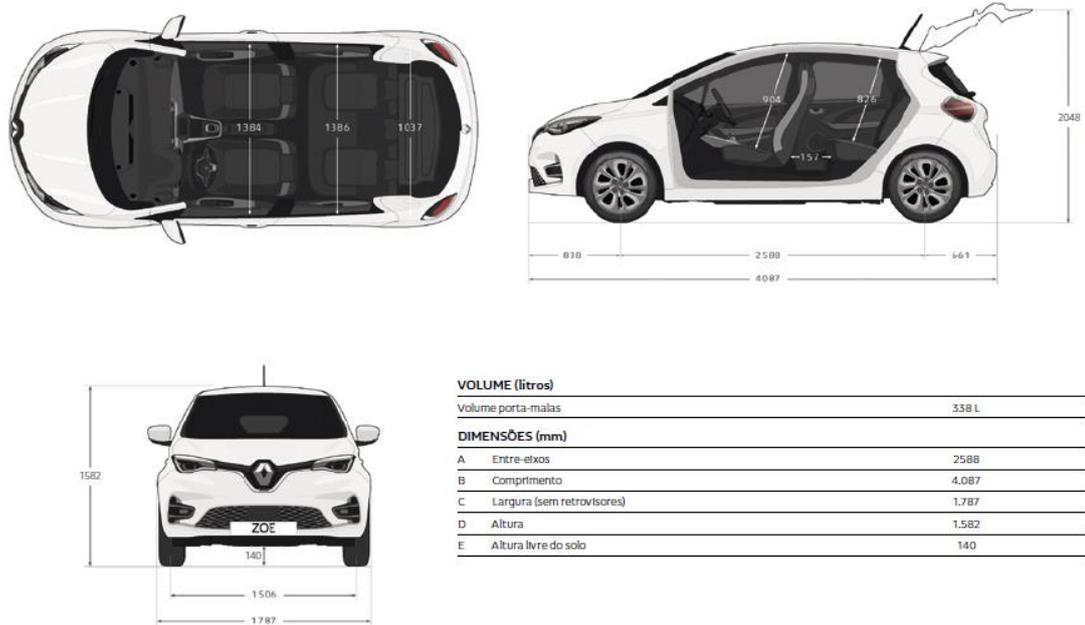
Os freios regenerativos (B-mode) ajudam a prolongar o alcance enquanto você dirige, carregando as baterias a cada desaceleração.



Chameleon Charger™

Seu carregador se adapta a diferentes níveis de potência, otimiza a captação de energia e economiza tempo em cada carregamento.

ZOE Dimensões



ZOE Ficha técnica

	Zen R135	Intense R135
Arquitetura	Carroceria monobloco, monovolume, 5 passageiros, 5 portas	
Motor	Elétrico	
Tração	Dianteira (4x2)	
Potência máxima (ABNT)	135 cv/4.200 a 11.163 rpm	
Torque máximo (ABNT)	245 Nm/1.500 a 3.600 rpm	
Rodas	Alumínio 16"	Alumínio diamantada 16"
Freios	Freio a disco	
Direção	Elétrica	
Câmbio	Caixa de câmbio com redutor com uma única marcha	
Carga útil	438 kg	425 kg
Peso (em ordem de marcha)	1.542 kg	1.555 kg
Aceleração 0 a 100 km/h	9,5 s	
Velocidade máxima	140 km/h	
Bateria	52 kWh	
Combustível	Elétrico	
Autonomia	385 km (WLTP)*	

- Anexo III Inversor/carregador Solar Edge SE6000H

**Inversor Monofásico
Carregador de Carro
Elétrico**

Para o Brasil
SE3680H, SE6000H, SE9200H

**12-25
ANOS DE
GARANTIA**

INVERSORES

Inversor Solar e Carregador de Carro Elétrico 2 em 1. Maximize o Autoconsumo com uma Solução Pronta para Carro Elétrico

- // Combina energia solar e da rede para carregamento de carro elétrico mais rápido
- // Maximiza o autoconsumo e otimiza o uso de energia renovável
- // Uma solução pronta para carro elétrico, à prova do futuro para novas aquisições ou trocas de carros elétricos
- // Pequeno, leve e fácil de instalar em ambientes internos ou externos
- // Suporta conexão com a internet e é totalmente integrado com a plataforma de monitoramento SolarEdge
- // Eficiência superior (99%), com tecnologia HD-Wave
- // Projetado para operar com os otimizadores de potência SolarEdge
- // Monitoramento embutido a nível de módulo
- // Flexível quanto aos modelos e comprimento dos cabos do carregador (cabo e suporte encomendados separadamente)

solaredge.com



solaredge

/ Inversor Monofásico Carregador de Carro Elétrico Para o Brasil

SE3680H, SE6000H, SE9200H

ESPECIFICAÇÕES DO INVERSOR:

	SE3680H	SE6000H	SE9200H	
SAÍDA — CA (CARGAS / REDE)				
Potência Nominal de Saída CA	3680	6000	9200	VA
Potência Máxima de Saída CA	3680	6000	9200	VA
Tensão de Saída CA (Nominal) ⁽¹⁾	220 / 230			Vac
Faixa de Tensão de Saída CA	184 - 264.5			Vac
Frequência CA (Nominal)	50 / 60 ± 5			Hz
Corrente Contínua de Saída Máxima	16	27.5	42	A
Proteção de sobrecorrente contínua máxima	16	27.5	42	A
Detector de corrente residual / Detector de nível de corrente residual	300 / 30			mA
Corrente de Entrada CA (pico/duração)	2.8 / 20			Aac (rms) / ms
Fator de Potência	1 (ajustável das -0.9 as +0.9)		1 (ajustável de -0.8 to +0.8)	
Distorção Harmônica Total (THD)	< 3			%
Classe de proteção	Classe I			
Monitoramento das Utilidades, Proteção antiilhamen- to, Limite de Configuração do País	Sim			
Categoria de sobretensão	III			
ENTRADA - CC				
Potência Máxima de Entrada CC	7360	12000	18400	W
Sem transformador, não aterrado	Sim			
Tensão Máxima de Entrada	480			Vcc
Tensão Nominal de Entrada	380		400	Vcc
Corrente Máxima de Entrada	10.5	16.5	23.5	Acc
Proteção contra Inversão de Polaridade	Sim			
Deteção Isolamento Falha Aterramento	600kΩ Sensibilidade			
Eficiência Máxima do Inversor	99.2			%
Eficiência Ponderada Europeia	99			%
Consumo Noturno de Energia	< 2.5			W
CARACTERÍSTICAS ADICIONAIS				
Interfaces de Comunicação Suportadas	RS485, Ethernet, Wi-Fi ⁽²⁾ , ZigBee (opcional), GSM (opcional)			
Gerenciamento Smart Energy ⁽³⁾	Limitação de Exportação e Carregamento com Excesso de Solar			
Comissionamento do Inversor	Com o aplicativo móvel SetApp usando ponto de acesso Wi-Fi integrado para conexão local			
Proteção contra Falha de Arco	Integrado, Configurável pelo usuário (De acordo com UL1699B)			
CONFORMIDADE AS NORMAS				
Segurança - Inversor	IEC-62109-1/2			
Padrões de Conexão de Rede	UTE C15-712, G83/2, G59/3, CEI-021, EN 50438, IEC 61727, IEC 62116, ÖNORM, TF3.2.1, C10-11, NRS 097-2-1, VDE-AR-N-4105, VDE 0126-1-1, AS-4777			
Emissões	IEC61000-6-2, IEC61000-6-3, IEC61000-3-11, IEC61000-3-12, FCC Part 15 Class B			
RoHS	Sim			
ESPECIFICAÇÕES DA INSTALAÇÃO				
Cabo de Saída CA – diâmetro suportado	9 - 16			mm
CA – Seção transversal suportada	1 - 13			mm ²
Entrada CC ⁽⁴⁾	1 x MC4 par	2 x MC4 par	3 x MC4 par	
Dimensões com Unidade de Conexão (AxLxP)	450 x 370 x 174		540 x 370 x 185	mm
Peso com Unidade de Conexão	10	11.9	17.6	kg
Ruído	<25		< 50	dB(A)
Resfriamento	Convecção Natural			
Alcance de temperatura da Operação	-40 to +60 ⁽⁵⁾			°C
Pressão atmosférica ambiente	mínimo 860hPa - 1060hPa			
Classificação de Proteção	IP65 — Interno e Externo (inversor com unidade de conexão)			

/ Inversor Monofásico Carregador de Carro Elétrico Para o Brasil

SE3680H, SE6000H, SE9200H

ESPECIFICAÇÕES DO CARREGADOR VE E DO CABO DO CARREGADOR:

SAÍDA – CA (CARREGADOR VE)		
Modo de Carregamento	Modo 3 CA - Conexão com a plataforma de monitoramento SolarEdge é necessária para o primeiro carregamento VE	
Faixa de carga mínima ⁽⁹⁾	1.5	kW
Potência Nominal de Saída CA (rede e FV)	7400	W
Tensão de Saída CA (Nominal)	230	Vac
Frequência CA (Nominal)	50 / 60	Hz
Corrente Contínua de Saída Máxima @230V (rede e FV)	32	Aac
Disjuntor Diferencial (CA)	30	mA rms
CARACTERÍSTICAS ADICIONAIS		
Status dos LEDs do Carregador VE, Indicador de Falhas	Sim	
Monitoramento de Conexão do Aterramento do Carregador VE	Sim, contínuo	
Configuração do Carregador VE	Via app de monitoramento; conexão Ethernet, Wi-Fi ou ZigBee é necessária ⁽⁹⁾	
Deteção de Desconexão do Carregador VE	Sim, em conformidade com IEC62196	
CONFORMIDADE AS NORMAS		
Segurança	IEC 61851, IEC 62752:2016	
Carregador VE	IEC 62196	
ESPECIFICAÇÕES DA INSTALAÇÃO		
Conector de Carregador VE	IEC 62196 Tipo 1 ou Tipo 2	
Comprimento do Cabo Carregador VE ⁽⁹⁾	7.6 (opção 4.5)	m
Peso do Cabo Carregador VE	5.7 (3.5 para opção 4.5m)	kg
Alcance de temperatura da Operação do Cabo Carregador VE	-30 até +50	°C
Classificação de Proteção (conectado ao VE ou com proteção contra depósito de poeira)	IP54	

- Anexo IV memorial descritivo usina AURORAS I

PROJETO ELÉTRICO DE IMPLANTAÇÃO
DE CENTRAL GERADORA
FOTOVOLTAICA – UNILAB CAMPUS DAS
AURORAS – 9009466-2



*Reservamos todos os direitos deste documento e de seu conteúdo. São proibidas reprodução, uso ou revelação para terceiros sem prévia autorização.
© PULISO Engenharia e Serviços Técnicos Ltda, 2017.*

PMS – UNILAB CAMPUS DAS AURORAS	Revisão:	Título:	Página:
	01-16/10/2017	Projeto Elétrico de Implantação de Central Geradora Fotovoltaica – UC: 9009466-2	2 / 23



1. Apresentação

O presente memorial tem como objetivo estabelecer os critérios de dimensionamento da Central Geradora Solar Fotovoltaica de 254,21 kWp que será instalado na UNILAB – Campus das Auroras - UC: 9009466, de modo a retratar a instalação realizada de acordo com regulamentos e normas vigentes. O memorial também visa estabelecer as principais condições técnicas e de segurança da instalação solar fotovoltaica para o processamento correto da legalização da minigeração solar junto aos órgãos competentes.

2. Informações Detalhadas da Central Geradora

2.1. Identificação do Empreendimento

- Denominação: *Universidade*
- Razão Social: *Unilab Campus das Auroras*
- Endereço da unidade: *Rua José Franco de Oliveira*
- Município e Unidade da Federação: *Acarape/CE*
- CNPJ ou CPF: *12.397.930/0001-00*
- Telefone/Telefax/E-mail: *(085) 3032.4200 / rannier@pulsoengenharia.com.br*
- Finalidade (descrever): *A central geradora tem por finalidade redução da conta de energia.*

2.2. Caracterização do Local do Empreendimento:

- Endereço: *Rua José Franco de Oliveira*
- Município e Unidade da Federação: *Acarape/CE*
- Telefone/Telefax/E-mail: *(085) 3032.4200 / rannier@pulsoengenharia.com.br*
- Número da Unidade Consumidora (UC): *9009466-2*
- Coordenadas geográficas (latitude e longitude): *4°13'5.71"S, 38°42'50.23"O*
- Temperatura ambiente média anual: *30,18°C.*
- Umidade relativa média anual: *64%.*



Figura 1 - Mapa de localização da central solar fotovoltaica. Fonte: Google Maps.

PMS – UNILAB CAMPUS DAS AURORAS	Revisão:	Título:	Página:
	01-16/10/2017	Projeto Elétrico de Implantação de Central Geradora Fotovoltaica – UC: 9009466-2	3 / 23



Figura 2 - Localização da central solar fotovoltaica - Visão de satélite. Fonte: Google Maps.

PMS – UNILAB CAMPUS DAS AURORAS	Revisão:	Título:	Página:
	01-16/10/2017	Projeto Elétrico de Implantação de Central Geradora Fotovoltaica – UC: 9009466-2	4 / 23



4. Dados Central Geradora:

Os Módulos fotovoltaicos convertem de forma silenciosa e sem partes móveis, a luz solar em energia elétrica. Nos sistemas conectados à rede eles geram corrente contínua (DC) que é convertida por meio de inversores em corrente alternada (AC) que então pode ser conectada e utilizada pela rede elétrica e/ou para consumo próprio. A figura 3 mostra um fluxograma de processo de uma instalação fotovoltaica.

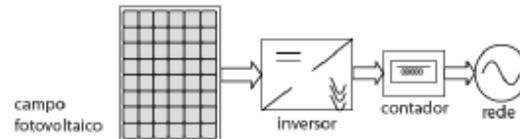


Figura 3 – Fluxograma de processo de uma instalação solar fotovoltaica.

4.1. Dados gerais da minigeração fotovoltaica:

- Potência instalada total: 254,21 kWp
- Número de arranjos total do sistema: 41 (quarenta e um)
- Número total de placas do sistema: 772 (setecentos e setenta e duas)
- Área total da central geradora: 1922 m²
- Energia total produzida: 451,69 MWh/ano

4.1.1 Módulos da central (Inversor 01)

- N.º de placas por arranjo: 20 (vinte)
- Número de arranjos: 7 (sete)
- Número total de placas neste inversor: 140 (cento e quarenta)
- Área do arranjo: 366 m²
- Potência de pico: 42900 Wp
- Fabricante: ABB
- Operação da corrente contínua (CC), para cada módulo:
 - Tensão de operação: 37,20 V
 - Tensão de circuito aberto: 45,60 V
 - Corrente de curto-circuito: 9,45 A
- Potência do Inversor (W), para cada módulo: 306,43 W
- Tensão do Inversor (V), para cada módulo: 400 V
- Rendimento (%), para cada módulo: 98,3%
- Tensão de Conexão (kV), para cada módulo: 320/480 V
- Data de entrada em operação, para cada módulo: 05/05/2018

PMS – UNILAB CAMPUS DAS AURORAS	Revista:	Título:	Página:
	01-16/10/2017	Projeto Elétrico de Implantação de Central Geradora Fotovoltaica – UC: 9009466-2	5 / 23



4.1.2 Módulos da central (Inversor 02)

- *N.º de placas por arranjo: 19 (dezenove)*
- *Número de arranjos: 7 (sete)*
- *Número total de placas neste inversor: 133 (cento e trinta e três)*
- *Área do arranjo: 338,00 m²*
- *Potência de pico: 42900 Wp*
- *Fabricante: ABB*
- *Operação da corrente contínua (CC), para cada módulo:*
 - *Tensão de operação: 37,20 V*
 - *Tensão de circuito aberto: 45,60 V*
 - *Corrente de curto-circuito: 9,45 A*
- *Potência do Inversor (W), para cada módulo: 322,56 W*
- *Tensão do Inversor (V), para cada módulo: 400 V*
- *Rendimento (%), para cada módulo: 98,3%*
- *Tensão de Conexão (kV), para cada módulo: 320/480 V*
- *Data de entrada em operação, para cada módulo: 05/05/2018*

4.1.3 Módulos da central (Inversor 03)

- *N.º de placas por arranjo: 20 (vinte)*
- *Número de arranjos: 7 (sete)*
- *Número total de placas neste inversor: 140 (cento e quarenta)*
- *Área do arranjo: 366 m²*
- *Potência de pico: 42900 Wp*
- *Fabricante: ABB*
- *Operação da corrente contínua (CC), para cada módulo:*
 - *Tensão de operação: 37,20 V*
 - *Tensão de circuito aberto: 45,60 V*
 - *Corrente de curto-circuito: 9,45 A*
- *Potência do Inversor (W), para cada módulo: 306,43 W*
- *Tensão do Inversor (V), para cada módulo: 400 V*
- *Rendimento (%), para cada módulo: 98,3%*
- *Tensão de Conexão (kV), para cada módulo: 320/480 V*
- *Data de entrada em operação, para cada módulo: 05/05/2018*

PMS – UNILAB CAMPUS DAS AURORAS	Revizão:	Título:	Página:
	01-16/10/2017	Projeto Elétrico de Implantação de Central Geradora Fotovoltaica – UC: 9009466-2	6 / 23



4.1.4 Módulos da central (Inversor 04)

- N.º de placas por arranjo: 19 (dezenove)
- Número de arranjos: 7 (sete)
- Número total de placas neste inversor: 133 (cento e trinta e três)
- Área do arranjo: 338,00 m²
- Potência de pico: 42900 Wp
- Fabricante: ABB
- Operação da corrente contínua (CC), para cada módulo:
 - Tensão de operação: 37,20 V
 - Tensão de circuito aberto: 45,60 V
 - Corrente de curto-circuito: 9,45 A
- Potência do Inversor (W), para cada módulo: 322,56 W
- Tensão do Inversor (V), para cada módulo: 400 V
- Rendimento (%), para cada módulo: 98,3%
- Tensão de Conexão (kV), para cada módulo: 320/480 V
- Data de entrada em operação, para cada módulo: 05/05/2018

4.1.5 Módulos da central (Inversor 05)

- N.º de placas por arranjo: 18 (dezoito)
- Número de arranjos: 6 (seis)
- Número total de placas neste inversor: 108 (cento e oito)
- Área do arranjo: 257,00 m²
- Potência de pico: 42900 Wp
- Fabricante: ABB
- Operação da corrente contínua (CC), para cada módulo:
 - Tensão de operação: 37,20 V
 - Tensão de circuito aberto: 45,60 V
 - Corrente de curto-circuito: 9,45 A
- Potência do Inversor (W), para cada módulo: 397,22 W
- Tensão do Inversor (V), para cada módulo: 400 V
- Rendimento (%), para cada módulo: 98,3%
- Tensão de Conexão (kV), para cada módulo: 320/480 V
- Data de entrada em operação, para cada módulo: 05/05/2018

PMS – UNILAB CAMPUS DAS AURORAS	Revizão:	Título:	Página:
	01-16/10/2017	Projeto Elétrico de Implantação de Central Geradora Fotovoltaica – UC: 9009466-2	7 / 23



4.1.6 Módulos da central (Inversor 06)

- N.º de placas por arranjo: 18 (dezoito)
- Número de arranjos: 6 (seis)
- Número total de placas neste inversor: 108 (cento e oito)
- Área do arranjo: 257,00 m²
- Potência de pico: 42900 Wp
- Fabricante: ABB
- Operação da corrente contínua (CC), para cada módulo:
 - Tensão de operação: 37,20 V
 - Tensão de circuito aberto: 45,60 V
 - Corrente de curto-circuito: 9,45 A
- Potência do Inversor (W), para cada módulo: 397,22 W
- Tensão do Inversor (V), para cada módulo: 400 V
- Rendimento (%), para cada módulo: 98,3%
- Tensão de Conexão (kV), para cada módulo: 320/480 V
- Data de entrada em operação, para cada módulo: 05/05/2018

5. Memorial Descritivo

5.1. Características dos Equipamentos

5.1.1. Módulo Fotovoltaico

- Modelo: CS6U-330P - POLI
- Potência de Saída Nominal: 330 Wp
- Tipo da Célula: Polycristalino
- Eficiência Mínima do Módulo: 16,97%
- Temperatura Ambiente de Operação: -40°C ~ + 85°C
- Diodos de Passagem já Incorporados na Caixa de Conexão do Módulo: Sim
- Garantia de Potência Nominal após os Primeiros 10 anos: 97,00%
- Garantia de Potência Nominal após os Primeiros 25 anos: 80,20%

5.1.3. Inversor

- Modelo: ABB PRO-33.0-TL-OUTD-SX-400
- Temperatura Máxima de Operação sem Perda de Potência: - 25°C... + 60°C
- Máxima Umidade Relativa do Ar: 0-100%
- Tipo de Proteção IP mínimo: IP65
- Tipo de Rede (Conexão): Trifásico
- Tensão da Rede: 380V fase-fase e 220V fase-neutro
- Reconexão depois de uma "desconexão" devido a uma condição anormal da rede: 20 s
- Quantidade mínima de entradas MPPT: 1
- Faixa de Tensão de operação contínua: 580-950 Vdc
- Faixa de frequência de operação contínua: 60Hz ±5Hz
- Fator de Potência: 0,99
- Medições obrigatórias do sistema de monitoramento do inversor
- Monitoramento remoto e monitoramento local via Wireless VSN700 Wifi Logger Card (opt.)

5.1.5. Estrutura e Fixação

- Tipo do material: Alumínio

5.1.6. Cabos CC

- Tipo do material de isolamento: XLPE
- Tipo do material de cobertura: Halogen-free
- Resistência: Contra radiação UV, ozônio e à absorção de água
- Temperatura de operação (em regime contínuo): -15°C a +90°C

5.1.7. Cabos CA

- Tipo: Cabo coaxial com isolamento extrudada de cloreto de polivinila (PVC)
- Resistência: Altas temperaturas, chama e produtos químicos
- Temperatura de operação: - 40°C a 120°

5.1.8. Painel

- Classe de proteção: IP65
- Tipo do material do corpo do painel: Chapa de aço adonizado ABNT 1010 a 1020.

5.1.9. Proteção e Interligação do Sistema

- Será instalado um quadro de proteção (quadro dos inversores) com disjuntores termomagnético após os inversores do sistema de Minigeração e antes da conexão com o QGBT (quadro geral de baixa tensão). No ponto de conexão do sistema com o QGBT será instalado um disjuntor termomagnético em caixa moldada para interligação do sistema com a unidade consumidora (UC).
- As demais proteções exigidas pela Norma NT-010/2016 R-01 da ENEL/CE são garantidas pelos inversores da ABB (Declaração de Conformidade em Anexo A e Anexo B).
- A seletividade de proteção da Minigeração é feita através das proteções iniciais dos inversores ABB UNO-33.0-TL-OUTD dos disjuntores de 80A trifásicos (na saída do inversor) sequenciados do disjuntor trifásico de 400A no QGBT da UC.

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

MODELO	ELÉTRICO PURO – ELETRA
Tamanho (m)	15
Propulsão	Motor elétrico
Fonte de energia	Baterias
Freio elétrico com regeneração	Tipo Kers
Autonomia (km)	220 - 250
Consumo Médio (kWh/km)	1,8
Velocidade máxima (Kmh)	60
Rampa máxima (%)	17
Capacidade de passageiros sentados	38
Capacidade de passageiros em pé	60
PPD	1
Motorista / Cobrador	2
Direção	Hidráulica
Suspensão	Pneumática
Freios	Elétrico e Pneumático
Air-condicionado	Sim

CHASSI PRODUZIDO NO BRASIL

Fabricante	Scania do Brasil
Modelo/Tipo	K310 -6x2-LE / Piso Baixo
Comprimento (mm)	15000
Largura (mm)	2.094
Capac. Máxima do 1º eixo PBT (kg)	7229
Capac. Máxima do 2º e 3º eixo PBT (kg)	18983
Capac. Máxima PBT Total (kg)	26212
Redução do eixo trator	7,18:1
Rodas	Aço
Pneus	Radial - 295/80 R 22,5
Suspensão	Pneumática integral
Sistema de direção	Hidráulica
Freios de serviço	Pneumático
Sistema elétrico (V-DC)	24
Baterias auxiliares	12 V/150 Ah (02 unidades)

CARROCERIA PRODUZIDA NO BRASIL

Fabricante	Caio Brasil
Modelo/Tipo	Millennium IV
Comprimento (mm)	15.000
Largura (mm)	2.500
Altura (mm)	3.550
Balanço dianteiro (mm)	2.900
Balanço traseiro (mm)	3.540
Capacidade de passageiros/cadeirante	101
Nº de portas	3 Direito e 2 Esquerdo
Peso PBT (kg)	26212
Sistema elétrico (Vcc)	24

MOTOR ELÉTRICO PRODUZIDO NO BRASIL

Fabricante	WEG Brasil
Tipo	Trifásico de Indução / Central
Potência máxima (kW)	400
Voltagem (V-AC)	440
Torque Máximo (Nm)	3260
Rotação Máxima (RPM)	2600
Transmissão	Sem transmissão, acoplado ao diferencial com eixo <u>cardan</u>
Localização	Balanço traseiro entre longarinas
Refrigeração	água

BATERIAS DE LÍCIO PRODUZIDA NO BRASIL

Fabricante	WEG Brasil
Tipo	LFP
Tensão - Nominal (V-DC)	600
Potência nominal (kW)	480
Energia mínima do banco (kWh)	480

- Anexo VII datasheet carregador tipo totem EVLINK (Schneider)

Folha de dados do produto EVF2S22P44R

Características

EVlink PARKING Floor Standing 22KW 2xT2 with Shutter RFID EV CHARGING STATION



Principal

Gama	EVlink
Nome do produto	Estacionamento EVlink
Tipo de produto ou componente	Estação para carregar
Nome abreviado do dispositivo	EVF2
Descrição de polos	3P + N of circuito de potência 1P + N of circuito de controle
Modo de montagem	De chão
Tipo de oferta	Padrão
Rated supply voltage	230 V CA 50/60 Hz circuito de controle 380...415 V CA 50/60 Hz circuito de potência
Esquema de aterramento	TT IT TN
Socket-outlet number	2
Socket-outlet type	Direita: T2 with shutter / contatos banhados a prata
Maximum supply current	32 A of T2 with shutter
Max power	22 kW of T2 with shutter
Sistema de controle de acesso	Crachá RFID para ISO/IEC 14443 Crachá RFID para ISO/IEC 15693

Complementar

Tipo de controle	2 vermelho Botão, Função: Pare 2 verde Botão luminoso, Função: start/unlock flap
Sinalização local	Carregando: 2 LED (verde) (piscando) Ligar lado Disponível: 2 LED (verde) Ligar frontal Reservado: 2 LED (laranja) Ligar frontal Não operacional: 2 LED (vermelho) Ligar frontal
Protocolo da porta de comunicação	OCPP 1.6
Configuration /Architecture	Clustured architecture Standalone

01/09/2020

Operation and maintenance	Postponed charge Load management User privilege configuration Diagnosis capabilities Charge detail records Circuit breaker status
Servidor web	Incorporado
Serviço Ethernet	Configuração via servidor Web
Padrões	IEC 61851-22 IEC 61851-1
Certificações do produto	CE CB ZE Ready EV Ready
Altura	1146 mm
Largura	413 mm
Profundidade	220 mm
Peso do produto	50 kg
Cor	Frontal: RAL 9003 (RAL 9003) Lado: cinza (RAL 7016)

Meio ambiente

Grau de proteção IP	IP54 off load para IEC 61851-1 IP54 em carga para IEC 61851-1
Grau de proteção IK	IK10 estação para carregar para IEC 61851-22 IK10 tomada-saída para IEC 61851-22
Temperatura ambiente do ar para funcionamento	-30...50 °C para IEC 61851-22
Temperatura ambiente do ar para armazenamento	-40...80 °C
Altitude de funcionamento	0...2000 m para IEC 61851-22
Umidade relativa	0...95 %

Oferta sustentável

Situação da oferta sustentável	Produto Green Premium
Regulamento REACh	Declaração REACh
REACh sem SVHC	Sim
Diretiva RoHS da UE	Conforme Declaração RoHS da EU
Sem mercúrio	Sim
Informações das isenções RoHS	Sim
Regulamento RoHS China	Declaração RoHS China Produto fora do âmbito da RoHS China. Declaração de substâncias para sua informação.
Divulgação Ambiental	Perfil ambiental do produto
Perfil de Circularidade	Informação sobre o fim da vida útil

Garantia contratual

Garantia	18 meses
----------	----------