



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ANA LUIZA MOREIRA CORVELO
ESTEFANNY KAURY DURANS PINHEIRO
MAO TSE TUNG LIMA DE MOURA FILHO

IMPLEMENTAÇÃO DE PLACAS SOLARES EM PARADAS DE ÔNIBUS:
Estimativas para São Luís – MA e Caminhos para uma *Smart City* Sustentável

SÃO LUÍS
2024

ANA LUIZA MOREIRA CORVELO
ESTEFANNY KAURY DURANS PINHEIRO
MAO TSE TUNG LIMA DE MOURA FILHO

IMPLEMENTAÇÃO DE PLACAS SOLARES EM PARADAS DE ÔNIBUS:

Estimativas para São Luís – MA e Caminhos para uma *Smart City* Sustentável

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Ciência e Tecnologia do Centro de Ciências
Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do
Maranhão como requisito para a obtenção do
Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia

Orientador: Prof. Dr. Thiago Prudêncio de
Oliveira

SÃO LUÍS

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Corvelo, Ana Luiza Moreira.

IMPLEMENTAÇÃO DE PLACAS SOLARES EM PARADAS DE ÔNIBUS: :
estimativas para São Luís MA e Caminhos para uma Smart
City Sustentável / Ana Luiza Moreira Corvelo, Estefanny
Kaury Durans Pinheiro, Mao Tse Tung Lima de Moura Filho. -
2024.

67 p.

Orientador(a): Thiago Prudêncio de Oliveira.

Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís, 2024.

1. Energia Solar. 2. Smart City. 3. Paradas de
Ônibus. 4. Sustentabilidade Urbana. 5. . I. Moura
Filho, Mao Tse Tung Lima de. II. Oliveira, Thiago
Prudêncio de. III. Pinheiro, Estefanny Kaury Durans. IV.
Título.

ANA LUIZA MOREIRA CORVELO
ESTEFANNY KAURY DURANS PINHEIRO
MAO TSE TUNG LIMA DE MOURA FILHO

IMPLEMENTAÇÃO DE PLACAS SOLARES EM PARADAS DE ÔNIBUS:

Estimativas para São Luís – MA e Caminhos para uma *Smart City* Sustentável

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência e Tecnologia

São Luís, 11 de setembro de 2024.

Banca Examinadora:

Prof. Thiago Prudêncio de Oliveira, Dr.
Orientador

Coordenação do Curso de Ciência e Tecnologia/CCCT
Universidade Federal do Maranhão

Prof.^a Alana Gandra Lima de Moura, Dra.
Coordenação de Projetos de Inovação/AGEUFMA
Universidade Federal do Maranhão

Prof.^a Fabiana Frazão Frazão, Dra.
Coordenação do Curso de Engenharia de Transportes/CCENGT
Universidade Federal do Maranhão

“This is for everybody going through tough times: believe me, been there, done that. But everyday above ground is a great day, remember that. Dale!” – Mr. Worldwide¹

¹ “Essa vai para todos que estão passando por um momento ruim: acreditem, eu sei como é. Mas cada dia que andamos por cima da terra é um ótimo dia, lembrem-se disso.”

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiro a Deus por nos ter mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final.

Aos nossos pais, que nos apoiaram e nos incentivaram a realizar nossos sonhos, agradecemos de coração. Ana Rosa, Denis, Giselle, Ernilson, Mayara, Jaceane e Mao Tse Tung, vocês foram nossos pilares de força e nos deram a confiança necessária para superar os desafios e alcançar nossos objetivos.

Agradecemos ao nosso orientador Thiago Prudêncio de Oliveira por aceitar conduzir o nosso trabalho de pesquisa.

Também agradecemos aos nossos amigos de curso que sempre nos acompanharam desde o início.

A todos os meus professores do curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão pela excelência da qualidade técnica de cada um.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

Agradeço à minha avó, Marilena, por me ensinar, primeiramente, o que é o amor.

Agradeço ao meu namorado e parceiro de vida, João Pedro, que acompanhou toda a trajetória de estresse e realização deste trabalho e sempre me ofereceu oxigênio quando parecia difícil respirar.

Agradeço às minhas amigas, Infinitas, por sempre me ajudarem a achar o caminho, vocês me trazem para o que eu conheço como lar.

Agradeço à Wellisson e Renata que desde o início do curso estão ao meu lado me incentivando.

RESUMO

Este trabalho investiga a viabilidade técnica, econômica e social da implementação de placas solares em paradas de ônibus em São Luís/MA, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de uma cidade inteligente e sustentável. A pesquisa abrange uma análise detalhada dos aspectos técnicos relacionados à instalação de painéis solares, bem como uma avaliação dos impactos econômicos e ambientais dessa iniciativa. Além disso, são exploradas as vantagens de integrar tecnologias de informação às paradas de ônibus, visando melhorar a qualidade dos serviços oferecidos aos usuários do transporte público. Os resultados indicam que a adoção de energia solar nas paradas de ônibus não apenas é viável, mas também pode promover a sustentabilidade urbana e reduzir os custos operacionais, fortalecendo o papel de São Luís como uma *smart city* inovadora.

Palavras-chave: Energia solar, Transporte, Paradas inteligentes, Sustentabilidade urbana, Maranhão.

ABSTRACT

This study investigates the technical, economic, and social feasibility of implementing solar panels at bus stops in São Luís/MA, aiming to contribute to the development of a smart and sustainable city. The research provides a detailed analysis of the technical aspects related to the installation of solar panels, as well as an assessment of the economic and environmental impacts of this initiative. Furthermore, the advantages of integrating information technologies into bus stops are explored, aiming to improve the quality of services offered to public transport users. The results indicate that the adoption of solar energy at bus stops is not only feasible but also can promote urban sustainability and reduce operational costs, strengthening São Luís's role as a smart and innovative city.

Keywords: Solar energy, Transport, Intelligent Bus stops, Urban sustainability, Maranhão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia para Implantação de Paradas de Ônibus na Cidade de São Luís – MA	20
Figura 2 – Desafios a enfrentar para construção de uma <i>Smart City</i>	22
Figura 3 – Processo de Captação de Energia Solar	25
Figura 4 – Subdivisão dos Tipos de Painéis Solares.....	26
Figura 5 – Camadas de um Módulo Silício Cristalino.....	27
Figura 6 – Módulos de Silício Cristalino: 1ª Geração	28
Figura 7 – Módulos de Filme Fino: 2ª Geração	28
Figura 8 – Módulos CPV, DSSC, Células orgânicas e híbridas: 3ª Geração	29
Figura 9 – Funcionamento Sistema On Grid vs. Off Grid	32
Figura 10 – Mapa Total Diário de Irradiação no Brasil (1999-2018).....	33
Figura 11 – Infográfico: Ranking Estadual de Geração Distribuída.....	35
Figura 13 – Tipos de Paradas de Ônibus	40
Figura 14 – Exemplos de Paradas Inteligentes em Londres e Barcelona	41
Figura 15 – Parada de Ônibus Inteligente: Aqui Innovo	41
Figura 16 – Arquitetura do Sistema de Integração do MUSA.....	43
Figura 17 – Mapa da Região Metropolitana de São Luís	44
Figura 18 – Interface do Aplicativo “Moovit”	45
Figura 19 – Interface do Aplicativo “Meu Ônibus”.....	45
Figura 20 – Mapa de fluxo de origem-destino de passageiros do sistema de transporte público em São Luís – MA em 2017	46
Figura 21 – Parada de Ônibus em Situação Precária na Capital: situada na área externa do Campus Dom Delgado, Cidade Universitária, UFMA.....	47
Figura 22 – Paradas de Ônibus Mal-conservadas na Capital: situadas próximas ao Museu Ferroviário do Maranhão e ao Palácio dos Leões em importantes avenidas da cidade	47
Figura 23 – Parada administrada pelo Governo do Maranhão, localizadas na região metropolitana.....	48
Figura 24 – Parada administrada pela Prefeitura de São Luís.....	48
Figura 25 – Catraca do Sistema de Bilhetagem Eletrônica em São Luís/MA	49
Figura 26 – Equipamentos Eletrônicos Internos da Parada Inteligente	50

Figura 27 – Interface do Aplicativo “RecargaPay” e processo para carga e recarga dos cartões de transporte	51
Figura 28 – Vista superior contendo 3 painéis solares, conforme dimensionado na Tabela 7	56
Figura 29 – Vista frontal apresentando a distribuição dos espaços dentro da parada, em conjunto com os equipamentos eletrônicos que a compõem.....	56
Figura 30 – Vista lateral	57
Figura 31 – Vista Lateral	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação da Eficiência dos Tipos de Painéis Fotovoltaicos.....	31
Tabela 2 – Média anual do índice de irradiação solar entre as cidades de São Luís, Barreirinhas, Bacabal e Imperatriz [kWh/m ² .dia].....	37
Tabela 3 – Quadro de Cargas: Consumo por Unidade.....	53
Tabela 4 – Quadro de Cargas: Consumo por Unidade.....	53
Tabela 5 – Consumo total por dia.....	54
Tabela 6 – Consumo total por Mês.....	54
Tabela 7 – Resumo.....	54
Tabela 8 – Dimensionamento: Quantidade de Placas Solares.....	56

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 - Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia] em algumas cidades maranhenses.....	36
---	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CPV	<i>Concentrator Photovoltaics</i>
CdTe	<i>Cadmium telluride</i> (Telureto de Cádmio)
CIS/CIGS	<i>Copper Indium Gallium Selenide</i> (Selênio de Cobre, Índio e Gálio)
CRESESB	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado do Espírito Santo
DSSC	<i>Dye-sensitized solar cell</i> (Célula solar sensibilizada por corante)
DTS	Sistema de Transporte Digitalizado
ECE	Eficiência de Energia
EVA	<i>Ethylene-vinyl acetate</i> (Etileno-vinil acetato)
GaAs	<i>Gallium arsenide</i> (Arsenieto de gálio)
GW	Gigawatt
IFPB	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraíba
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPPUR	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energias Renováveis)
kWh/m ² .dia	Quilowatt-hora por metro quadrado por dia
MA	Estado do Maranhão
MW	Megawatt
SIT	Secretaria Municipal de Trânsito e Transporte
SMTT	Secretaria Municipal de Transportes e Trânsito
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TiO ₂	<i>Titanium dioxide</i> (Dióxido de titânio)
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 METODOLOGIA.....	19
3.1 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS	19
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
4 CIDADES INTELIGENTES E PLACAS SOLARES	22
4.1 CIDADE INTELIGENTE OU SMART CITY	22
4.1.1 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E APLICAÇÕES EM URBANIZAÇÃO INTELIGENTE	23
4.2 DEFINIÇÃO DE PLACA SOLAR.....	24
4.2.1 FUNCIONAMENTO DE UMA PLACA SOLAR.....	24
4.3 PAINÉIS SOLARES NO MERCADO ATUAL	25
4.4 TECNOLOGIAS APLICADAS NA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES.....	26
4.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	29
4.5.1 EFICIÊNCIA POR TIPO DE PAINEL FOTOVOLTAICO.....	30
4.5.2 POSICIONAMENTO DAS PLACAS.....	30
4.5.3 SISTEMA ON GRID E OFF GRID	31
4.6 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA NO BRASIL	32
4.6.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA NO MARANHÃO	33
4.6.2 RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO NO CENÁRIO BRASILEIRO	37
5 ESTIMATIVAS DE IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM PARADAS DE ÔNIBUS DA CIDADE DE SÃO LUÍS – MA.....	39
5.1 DEFINIÇÃO DE PARADA DE ÔNIBUS	39
5.2 PARADAS DE ÔNIBUS INTELIGENTES: MODELOS E EXEMPLOS.....	40
5.3 DADOS ACERCA DA MOBILIDADE URBANA NA CIDADE DE SÃO LUÍS	43
5.3.1 FLUXO DE PASSAGEIROS DO TRANSPORTE COLETIVO EM SÃO LUÍS...45	
5.3.2 SITUAÇÃO ATUAL DAS PARADAS DE ÔNIBUS EM SÃO LUÍS	46
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
6.1 ESTRUTURAÇÃO DO PRÉ-PROJETO	49
6.1.1 ESTRUTURA EXTERNA	49

6.1.2 ESTRUTURA INTERNA.....	49
6.1.3 KIT SOLAR: SIMULAÇÃO PARA A PARADA INTELIGENTE	54
6.1.4 projeto 3d	55
7 CAMINHOS PARA A INSERÇÃO DE SÃO LUÍS NO CONCEITO DE SMART CITY.....	58
7.1 VISÃO ESTRATÉGICA	58
7.2 AGILIDADE E CAPACIDADES ORGANIZACIONAIS	59
7.3 DOMESTICAÇÃO TECNOLÓGICA.....	60
7.4 DESENVOLVIMENTO DO ECOSSISTEMA	62
7.5 INOVAÇÃO TRANSFRONTEIRIÇA.....	62
7.6 INTEGRAÇÃO COM SISTEMAS ATIVOS	63
7.6.1 INTEGRAÇÃO COM O SISTEMA DE RECONHECIMENTO FACIAL	64
7.6.2 INTEGRAÇÃO COM SISTEMAS DE MONITORAMENTO DE HORÁRIO DE ÔNIBUS.....	64
7.6.3 INTEGRAÇÃO COM O SISTEMA DE RECARGA “RECARGAPAY”	64
CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

O crescente interesse na inovação e melhoria da mobilidade urbana, impulsionado pela adoção de fontes de energia sustentáveis, é tendência global. Neste contexto, a energia fotovoltaica emerge como uma das alternativas a serem exploradas estrategicamente como energia renovável, com uso de placas solares fotovoltaicas.

O Brasil possui um potencial significativo de geração de energia solar, ocupando a sexta posição no ranking global de capacidade instalada de energia solar, com mais de 37 GW acumulados (IRENA, 2023). Acompanhando a constante evolução nos índices de produção de energia, no primeiro semestre de 2024 o país produziu 544,22 MW provenientes de centrais solares fotovoltaicas (ANEEL, 2024).

De acordo com NEIROTTI (2014), a expansão das áreas urbanas tem desencadeado uma série de complexidades técnicas, sociais, econômicas e organizacionais em grandes cidades que vão desde a gestão de resíduos até o congestionamento do tráfego, acarretando em desafios significativos para a sustentabilidade econômica e ambiental. Diante desse panorama, a integração da energia solar à infraestrutura urbana, particularmente ao transporte urbano, surge como uma solução promissora para promover a sustentabilidade energética e tecnológica, ao mesmo tempo em que aprimora a qualidade dos serviços prestados aos usuários do transporte público.

Este estudo de Trabalho de Conclusão de Curso visa explorar a viabilidade técnica, econômica e social da instalação de placas solares em paradas de ônibus em São Luís, não apenas para gerar energia sustentável, mas também para implementar sistemas tecnológicos que ofereçam benefícios adicionais aos cidadãos. Num contexto onde debates sobre novas soluções tecnológicas e abordagens urbanas ressoam cada vez mais, o conceito de "cidades sustentáveis" e "cidades inteligentes" assume destaque na literatura diante de cenários de crescimento populacional e mudanças climáticas.

Justifica-se, portanto, a necessidade de buscar soluções inovadoras e sustentáveis para os desafios enfrentados pelas metrópoles modernas. Este trabalho se propõe a investigar o potencial e os impactos da instalação de placas solares nas

paradas de ônibus de São Luís, visando tanto a geração de energia limpa quanto a melhoria dos serviços oferecidos aos usuários, possibilitando a instalação de sensores ligados à coleta de dados específicos. Especificamente, a pesquisa analisa os aspectos técnicos, econômicos e sociais envolvidos na integração dessas placas solares, além de identificar as demandas dos usuários em relação aos serviços tecnológicos a serem implementados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é investigar e analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implementação de placas solares em paradas de ônibus em São Luís/MA como parte de uma estratégia para promover o desenvolvimento de uma *Smart City* sustentável.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a viabilidade técnica da instalação de placas solares em paradas de ônibus em São Luís/MA com estimativas de custo energético para fornecer energia em sistemas auxiliares, tais como painéis de informação com horários de ônibus em tempo real.
- Investigar os aspectos econômicos relacionados à implementação de placas solares, incluindo análises de custo-benefício e possíveis fontes de financiamento para o projeto.
- Projetar e propor a instalação de tomadas nas paradas de ônibus para carregar dispositivos eletrônicos, como celulares, visando aumentar a comodidade e utilidade dos usuários do transporte público.
- Propor a integração de sistemas de recarga de saldo do cartão de passe nas paradas de ônibus, visando facilitar o acesso e a utilização do transporte público, contribuindo para a eficiência do sistema de transporte urbano.
- Considerar outros meios de pagamento e identificação, tais como reconhecimento biométrico para identificação do usuário e desconto de saldo, o que também possibilita um aumento na segurança de entrada e saída de usuários.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada compreende uma pesquisa básica, de natureza exploratória, por meio de revisão bibliográfica e estudo de caso. Essa abordagem proporciona uma visão abrangente sobre a viabilidade e os desafios relacionados à implementação de placas solares nas paradas de ônibus em São Luís, contribuindo para o avanço do conhecimento nessa área e fornecendo subsídios importantes para a formulação de políticas públicas e estratégias de planejamento urbano sustentável, permitindo que se tenha uma base para desenvolvimentos de protótipos e aprimoramentos tecnológicos no sentido da proposta.

3.1 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

Esta monografia está estruturada em quatro capítulos distintos, cada um com seu foco específico. O primeiro capítulo introduz o tema e delinea os objetivos gerais e específicos desta pesquisa.

No segundo capítulo, são exploradas as questões técnicas e as estimativas econômicas relacionadas à instalação de painéis solares em paradas de ônibus na cidade de São Luís, estado do Maranhão. Este capítulo analisa as características dos painéis solares, sua viabilidade, eficiência e locais ideais para instalação, além de examinar os custos e o potencial retorno financeiro associado.

O terceiro capítulo aborda os dados acerca da mobilidade urbana em São Luís e apresenta as estimativas para a implantação das placas solares nas paradas de ônibus. Além disso, aponta as inovações tecnológicas inseridas no contexto, destacam-se a disponibilização de tomadas para carregamento de celulares, a implementação de painéis informativos com horários de chegada dos ônibus em tempo real, e as melhorias na comodidade oferecida aos usuários do transporte público coletivo.

Por último, o quarto capítulo reflete sobre o impacto do projeto de implementação de placas solares em paradas de ônibus na cidade de São Luís, e como essa iniciativa contribui para a evolução da cidade rumo ao conceito de *Smart City*. São discutidas as possíveis inovações que poderiam ser observadas no contexto geral da capital maranhense.

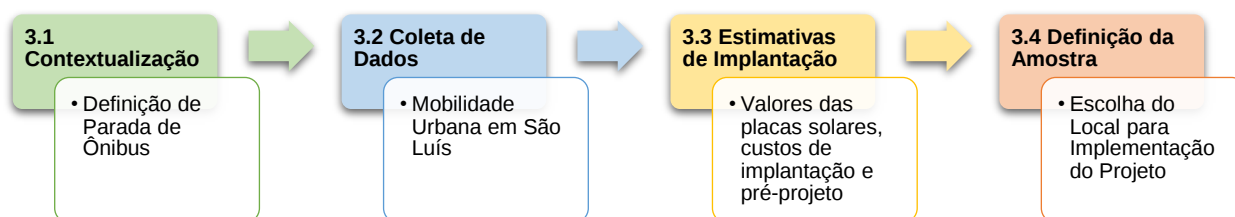
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

São Luís, capital do estado do Maranhão, está localizada na região Nordeste do Brasil, sendo conhecida por sua rica herança cultural e arquitetura colonial, que lhe rendeu o título de Patrimônio Cultural da Humanidade pela UNESCO em 1997 (UNESCO, 1997). Fundada em 1612 por franceses, a cidade ocupa uma ilha no meio da baía de São Marcos, com uma população estimada em cerca de 1,1 milhão de habitantes, conforme o censo de 2022 (IBGE, 2022). Sua posição geográfica, entre as coordenadas 2°30' de latitude sul e 44°18' de longitude oeste, confere-lhe características climáticas típicas da zona tropical úmida, com temperaturas médias anuais que variam entre 24°C e 30°C e uma estação chuvosa bem definida entre janeiro e junho (INMET, 2023).

A cidade de São Luís apresenta um grande potencial para o aproveitamento de energia solar, devido à sua localização próxima à linha do equador. De acordo com estudos de irradiação solar, a cidade tem uma média de 5,5 kWh/m² por dia de incidência solar ao longo do ano, o que coloca o Maranhão entre os estados brasileiros com melhores condições para a geração de energia fotovoltaica (EPE, 2021). Esse dado torna São Luís uma área promissora para a implementação de tecnologias sustentáveis, como placas solares, especialmente em infraestruturas públicas, como paradas de ônibus, que podem contribuir para a construção de uma cidade mais sustentável e inteligente.

As estimativas para a implantação de placas solares em paradas de ônibus em São Luís baseiam-se na metodologia ilustrada na Figura 01 (insere o fluxograma).

Figura 1 - Metodologia para Implantação de Paradas de Ônibus na Cidade de São Luís – MA



Foi realizado o registro das imagens do google, no mês de agosto de 2024, para levantar a quantidade de abrigos de pontos de ônibus existentes na avenida Beira Mar, assim como seus respectivos modelos.

Para a elaboração do projeto 3D dos abrigos das paradas de ônibus com placas solares foi desenvolvido utilizando o software *SketchUp*.

Foi necessário o auxílio da Calculadora Solar Aldo Solar para realizar simulações para determinar a quantidade ideal de painéis fotovoltaicos, visto que depende diretamente dos valores de consumo diário total e consumo mensal total calculados.

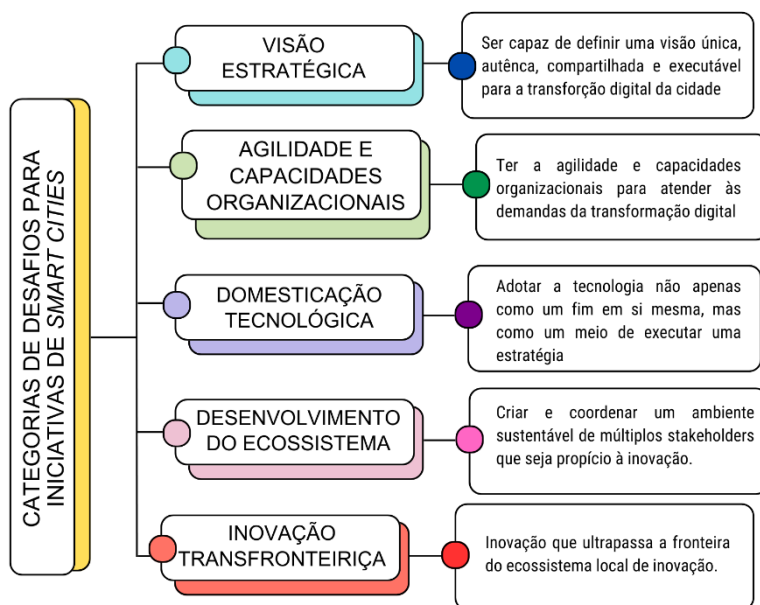
4 CIDADES INTELIGENTES E PLACAS SOLARES

4.1 CIDADE INTELIGENTE OU SMART CITY

O conceito de Cidade Inteligente ou Smart City surgiu na última década como uma fusão de ideias sobre como as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) poderiam melhorar o funcionamento das cidades, aumentando sua eficiência, melhorando sua competitividade e proporcionando novas maneiras de abordar problemas de pobreza, privação social e meio ambiente degradado (Batty et al., 2012).

Por estarem inseridas em um contexto interdisciplinar, as cidades inteligentes abrangem diversos desafios para o desenvolvimento. Esses desafios incluem a necessidade de integração de infraestrutura tecnológica, a gestão eficiente de recursos naturais, a promoção de inclusão social e digital, além da criação de políticas públicas que incentivem a inovação e a sustentabilidade, conforme observado na Figura 2.

Figura 2 – Desafios a enfrentar para construção de uma *Smart City*



Fonte: Adaptado de José, R et al. (2024)

A transição para cidades inteligentes também está diretamente ligada ao cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 11, que busca tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis (United Nations, 2015). Esse objetivo reforça a

importância de se pensar em soluções urbanas que considerem não apenas o uso de tecnologias inovadoras, mas que também promovam a sustentabilidade ambiental, a equidade social e a melhoria da qualidade de vida para todos os cidadãos.

Além disso, a transição para cidades inteligentes envolve a superação de barreiras relacionadas à segurança cibernética, privacidade de dados e resistência cultural às mudanças tecnológicas. A capacitação da população e dos gestores urbanos para utilizar e gerenciar essas novas tecnologias também é crucial. Conforme Batty et al. (2012) destacam, a essência das cidades inteligentes está na coordenação e integração de tecnologias previamente desenvolvidas de forma isolada, visando criar sinergias que resultem em melhorias significativas na qualidade de vida dos cidadãos.

Portanto, o desenvolvimento de cidades inteligentes não é apenas uma questão tecnológica, mas também social, econômica e política, exigindo uma abordagem holística e colaborativa para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades que surgem com essa transformação.

4.1.1 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E APLICAÇÕES EM URBANIZAÇÃO INTELIGENTE

Corso et.al (2024) apresenta que uma *Smart City* sustentável faz uso de tecnologias de informação para melhorar a qualidade de vida, a eficiência da operação e dos serviços urbanos e a competitividade para satisfazer as necessidades da geração atual e das gerações futuras em diversos aspectos.

As tecnologias de informação desempenham um papel fundamental na melhoria da qualidade dos serviços prestados pelo poder público nas cidades. Weiss et. al (2013) mostra que as TI podem contribuir na eficiência na prestação de serviços, transparência e acesso à informação, participação do cidadão, monitoramento e análise de dados, integração de sistemas e inovação e desenvolvimento sustentável.

Além disso, a implementação de tecnologias de informação em cidades inteligentes e sustentáveis também pode contribuir para a segurança pública. Um exemplo disso é a implantação de sistemas de reconhecimento facial em paradas de transporte público.

Segundo Zhang et al. (2020), o reconhecimento facial é uma tecnologia de visão computacional que pode ser utilizada para identificar indivíduos em tempo real, tornando-se uma ferramenta valiosa para a segurança pública. A instalação de câmeras com reconhecimento facial em paradas de transporte público pode ajudar a prevenir e combater crimes, como assaltos e vandalismo.

Além disso, o reconhecimento facial também pode ser utilizado para identificar pessoas desaparecidas ou procuradas pela justiça, como destacado por Jain et al. (2011). Isso pode ajudar a aumentar a eficiência das forças de segurança pública e a melhorar a resposta a incidentes.

4.2 DEFINIÇÃO DE PLACA SOLAR

Uma placa solar, também conhecida como painel solar, é um dispositivo que converte a energia solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. É composta por uma série de células solares, que são feitas de materiais semicondutores, como silício, que convertem a luz solar em corrente elétrica (Kalogirou, 2009).

4.2.1 FUNCIONAMENTO DE UMA PLACA SOLAR

Uma placa solar, também chamada de painel solar, é um dispositivo que captura a luz do sol e a transforma em energia elétrica.

Segundo Fraidenraich (2012) às células fotovoltaicas são compostas por semicondutores que formam um conjunto de módulos responsáveis pela conversão da luz solar em energia elétrica, quando a luz solar incide sobre esses materiais semicondutores, os elétrons são energizados e saltam para a banda de condução, criando assim a geração de energia elétrica nos condutores dos módulos.

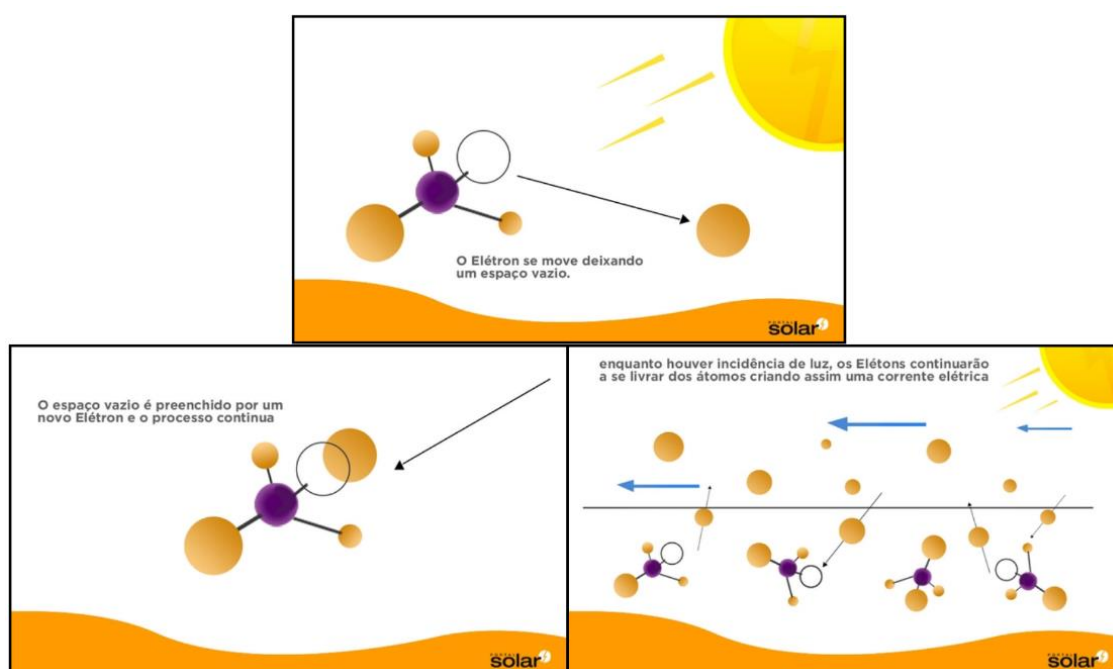
De acordo com SOLAR e conforme ilustrado na Figura 3 o processo de conversão consiste nos seguintes passos:

- **Absorção da Luz Solar:** quando a luz do sol atinge a superfície da placa solar, ela é absorvida pelo material fotovoltaico (como o silício). A energia da luz solar "agita" os elétrons dentro desse material.
- **Geração de Eletricidade:** essa agitação faz com que os elétrons se movam, criando uma corrente elétrica. Esse movimento dos elétrons é o que chamamos de eletricidade.

- **Conversão e Uso da Energia:** a corrente elétrica gerada é em corrente contínua (CC), que precisa ser convertida em corrente alternada (CA) para ser usada na maioria dos aparelhos elétricos. Um dispositivo chamado inversor faz essa conversão. Depois disso, a eletricidade pode ser usada para alimentar lâmpadas, carregar celulares, e até mesmo ser enviada para a rede elétrica da cidade.

Para melhor eficiência, a incidência direta da radiação solar nas placas fotovoltaicas é de extrema importância, portanto, deve ser levado em consideração a localização, angulação e posição da instalação das placas solares. A eficiência das placas solares é medida pela sua capacidade de converter a energia solar em energia elétrica, e é expressa em termos de Eficiência de Conversão de Energia (ECE), cuja é influenciada por fatores como a qualidade das células solares, a temperatura ambiente e a intensidade da radiação solar (Green, 2003).

Figura 3 – Processo de Captação de Energia Solar



Fonte: Adaptado de SOLAR (s.d.)

4.3 PAINÉIS SOLARES NO MERCADO ATUAL

No mercado atual, existem três tipos de painéis solares, com o silício sendo um dos componentes mais importantes em sua construção, dado que é o segundo

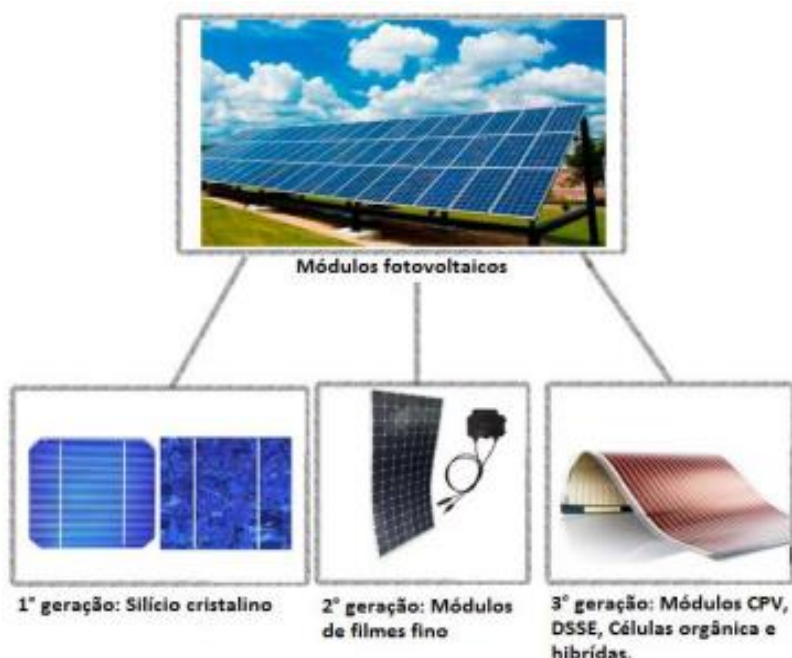
elemento mais abundante na crosta terrestre. O silício é utilizado em três métodos principais na fabricação de painéis solares, conforme ilustrado na Figura 4.

Os painéis monocristalinos são considerados os mais eficientes, assim como também os mais caros. Na fabricação, os fabricantes cortam bolachas individuais de um bloco grande de silício e as fixam nos painéis, o que garante maior qualidade e eficiência.

Por outro lado, as células solares policristalinas são fabricadas fundindo vários cristais de silício, que são colocados em massa sobre o painel. Esses painéis são reconhecíveis pela cor azul e, embora sejam mais baratos que os monocristalinos, possuem menor eficiência.

Por fim, as células de silício amorfo são menos eficientes, mas mais finas e flexíveis, o que permite sua fixação em diferentes materiais, como plástico ou vidro. É notável que os modelos de painéis atualmente em atividade no mercado tendem a perder entre 6% e 10% de sua eficiência após 10 anos de uso, enquanto após 25 anos, sua eficiência pode chegar a aproximadamente 20%.

Figura 4 – Subdivisão dos Tipos de Painéis Solares



Fonte: SOLAR (2018)

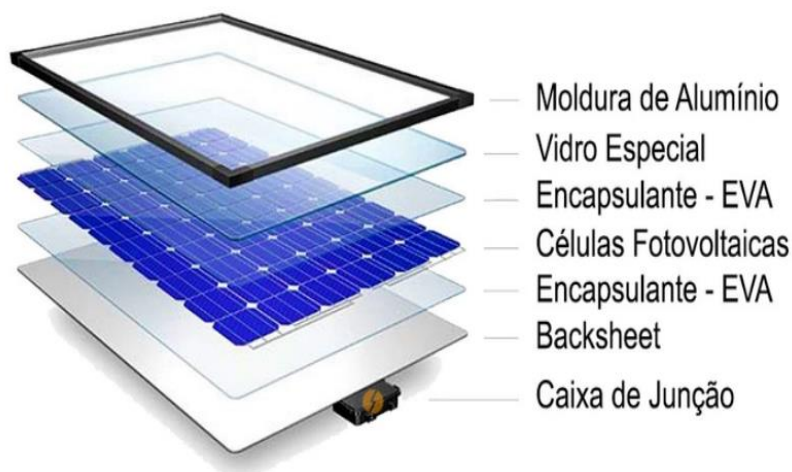
4.4 TECNOLOGIAS APLICADAS NA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES

O módulo fotovoltaico é composto por várias camadas essenciais. Na parte superior, há um vidro especial temperado para reduzir reflexões e permitir a passagem

máxima de luz através dele. Logo abaixo, o material de encapsulamento EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*) que protege contra condições adversas e maximiza a exposição solar (SOLAR, 2016). Entre as camadas de encapsulamento e os contatos, a célula fotovoltaica converte a luz solar em eletricidade. Na parte de trás, o *backsheet* atua como isolante elétrico e protege os componentes internos.

Para conferir resistência e leveza, no final do processo de fabricação ele é colocado uma moldura de alumínio ao seu redor, selada com selantes de silicone ou polibutil entre o vidro e a moldura. Por ser o semicondutor mais utilizado atualmente, a composição das diversas camadas de um módulo fotovoltaico de silício cristalino, será descrito na Figura 5 a seguir:

Figura 5 – Camadas de um Módulo Silício Cristalino



Fonte: SOLAR (2016)

Três tecnologias são empregadas na fabricação de módulos fotovoltaicos, cada uma classificada em uma das três gerações, com base em seus materiais e características. Essa classificação divide os módulos em três grupos: primeira, segunda e terceira geração (WU et al., 2005):

- Módulos de Silício Cristalino: 1ª Geração

De acordo com SANTOS (2013) a primeira geração é composta pelo silício cristalino, que se subdivide em silício monocristalino e silício policristalino. O silício monocristalino, embora mais eficiente, é também mais caro devido ao processo de fatiamento de um único cristal. Apesar de serem fabricados com o mesmo material, os módulos de silício policristalino geralmente têm uma eficiência inferior aos

monocristalinos. Tal processo se dá devido ao fato que o silício policristalino é fundido e solidificado, resultando em um concentrado com maiores imperfeições.

Figura 6 – Módulos de Silício Cristalino: 1ª Geração



Fonte: Adaptado de SOLAR (2018)

- Módulos de Filme Fino: 2ª Geração

A segunda geração é composta por uma variedade de materiais, como silício amorfo, disseleneto de cobre, índio e gálio, e telureto de cádmio. Esses materiais são aplicados em uma ou várias camadas sobre um substrato, que pode ser vidro, plástico ou aço inoxidável (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Uma vantagem significativa desses filmes é o baixo custo, resultado do menor consumo de matéria-prima e energia durante a fabricação. Além disso, o processo de fabricação é mais simples e pode ser escalonado para produção em larga escala. Porém sua eficiência será menor em comparação às células de cristais únicos de silício.

Figura 7 – Módulos de Filme Fino: 2ª Geração



Fonte: Adaptado de SOLAR (2018)

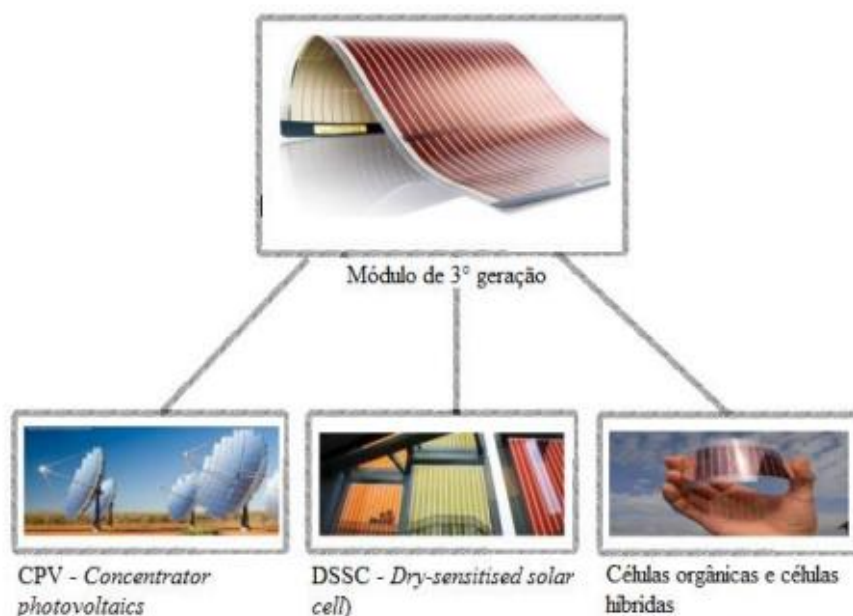
- Módulos CPV, DSSC, Células orgânicas e híbridas: 3ª geração

Conforme MONIER (2011) os módulos de terceira geração incluem os módulos CPV (*Concentrator Photovoltaics*), os módulos DSSC (*Dry-Sensitised Solar Cell*), as células orgânicas e as células híbridas. Esses módulos se destacam por uma utilização mais eficiente da luz solar, resultando em alta eficiência, baixo custo e uso de um maior número de materiais com baixa toxicidade.

O CPV utiliza lentes para concentrar a luz solar e pode empregar células de silício ou compostos do grupo III-V, como GaAs (Arsenieto de Gálio). Já os DSSC são módulos sensibilizados por corantes, compostos por materiais orgânicos e inorgânicos, como TiO_2 (Dióxido de Titânio).

As células orgânicas geralmente são compostas por materiais poliméricos ou pequenas moléculas orgânicas. Por fim, as células híbridas combinam silício cristalino e silício amorfo. A Figura 8 mostra os painéis fotovoltaicos dos módulos de terceira geração e sua subdivisão em CPV, DSSC, células orgânicas e híbridas.

Figura 8 – Módulos CPV, DSSC, Células orgânicas e híbridas: 3ª Geração



Fonte: Adaptado de SOLAR (2016)

4.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A eficiência energética dos painéis solares desempenha um papel fundamental, segundo Moraes et al. (2018), maximiza a geração de energia, reduz os custos de produção e promove a sustentabilidade ambiental. Painéis fotovoltaicos mais

eficientes conseguem converter maior quantidade de energia solar em elétrica. A melhoria da eficiência energética pode contribuir para reduzir os custos de produção de energia solar, tornando-a mais competitiva em relação a outras fontes de energia.

É possível gerar mais energia limpa e renovável, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a preservação do meio ambiente.

4.5.1 EFICIÊNCIA POR TIPO DE PAINEL FOTOVOLTAICO

Os painéis fotovoltaicos de silício mono apresentam uma alta eficiência em laboratório, sendo capazes de converter até 24,7% da energia solar em eletricidade. No entanto, em produção em série, a eficiência desses painéis geralmente fica em torno de 14%.

Além dos painéis de silício mono, os painéis de silício poly também possuem uma boa eficiência, com uma capacidade de conversão de energia solar em elétrica de até 19,8% em laboratório e cerca de 13% em produção em série.

Por outro lado, os painéis de silício amorfo têm uma eficiência menor, com aproximadamente 13% em laboratório e apenas 7,5% em produção em série.

A Tabela 1 apresenta a eficiência dos tipos de células fotovoltaicas.

Tabela 1 – Comparação da Eficiência dos Tipos de Painéis Fotovoltaicos

Material	Em Laboratório	Produção	Produção em Série
Silício Mono	24,7%	18%	14%
Silício Poly	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	13%	10,5%	7,5%
CIS, CIGS (Liga de Cobre-Índio-Gálio-Selênio)	18,8%	14%	10%
CdTe	16,4%	10%	9%

Fonte: Blue Solar (s.d.)

4.5.2 POSICIONAMENTO DAS PLACAS

Para obter a melhor eficiência das placas fotovoltaicas, o posicionamento adequado é essencial. De acordo com Moraes et al. (2018) é preciso levar em consideração inclinação, orientação, sombreamento e manutenção dessas placas.

A inclinação das placas deve ser ajustada de acordo com a latitude do local para maximizar a captação de energia solar ao longo do ano. Em regiões com latitudes

próximas a 0°, a inclinação ideal é geralmente próxima a 10-15°. Em latitudes mais altas, a inclinação pode ser maior, chegando a valores próximos à própria latitude do local.

No hemisfério sul, as placas devem ser orientadas para o norte, enquanto no hemisfério norte, a orientação ideal é para o sul. Isso garante que as placas recebam a máxima exposição solar ao longo do dia.

Evitar o sombreamento é crucial, bem como manter as placas limpas e livres de poeira, sujeira e detritos também é importante para garantir a eficiência do sistema fotovoltaico.

4.5.3 SISTEMA ON GRID E OFF GRID

Para avaliar a viabilidade técnica da instalação de placas solares em residências, comércios ou indústrias, assim como nas paradas de ônibus em São Luís – MA, é fundamental entender os tipos de geração e consumo oferecidos pelos painéis fotovoltaicos, que são: conectados à rede (*On Grid*) e autônomos (*Off Grid*).

O sistema *On Grid* ou conectado à rede refere-se aos sistemas fotovoltaicos que se integram diretamente à rede pública de distribuição de energia elétrica. Seu funcionamento envolve a detecção de momentos de baixa produção de energia solar, quando então a conexão à rede da distribuidora é acionada.

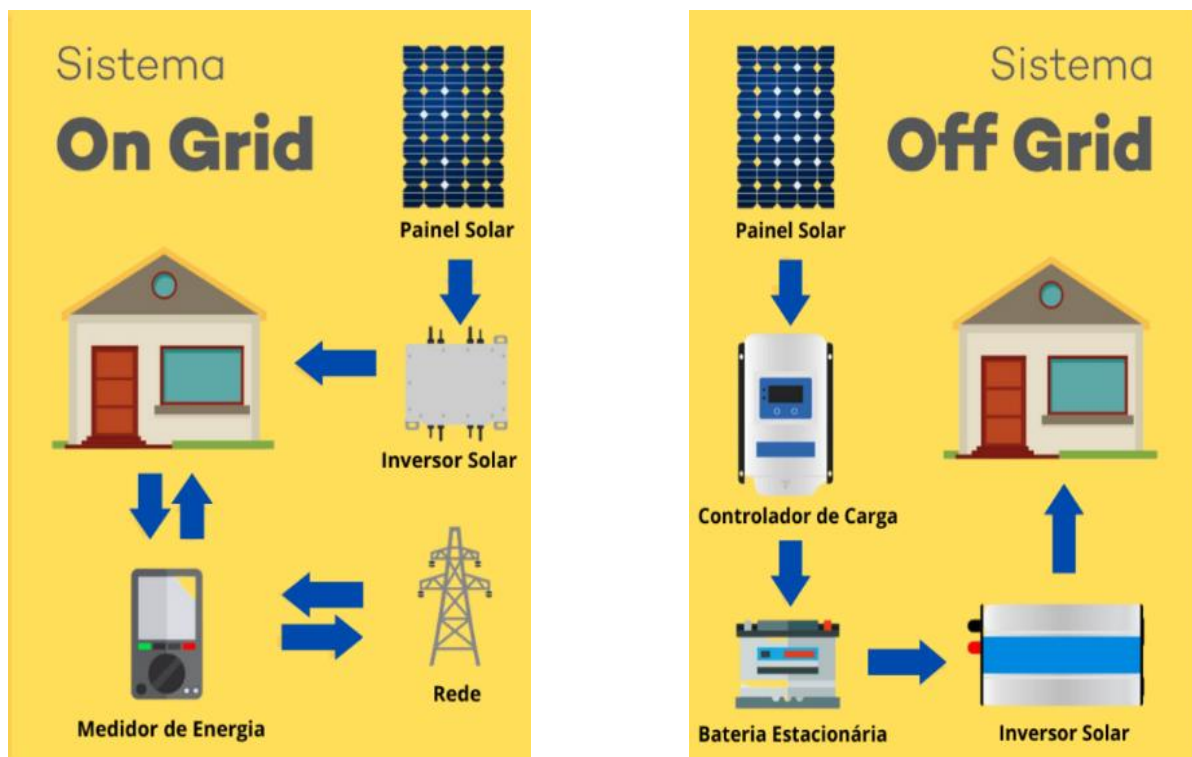
Por outro lado, quando a produção solar excede a demanda, o excedente é automaticamente injetado na rede pública, gerando créditos de energia através do sistema de compensação conhecido como *net metering*, os quais serão descontados na fatura mensal de eletricidade (SOLAR, 2024).

A instalação das placas solares que compõem esse sistema é comumente realizada em telhados ou outras áreas com exposição solar adequada. Essas placas captam a energia solar e a convertem em eletricidade por meio de inversores solares, tornando-a prontamente utilizável em residências e estabelecimentos comerciais, conforme a Figura 9.

Assim como no sistema *On Grid*, o sistema *Off Grid* (Figura 9) capta a luz solar por meio de placas solares e a converte em energia elétrica utilizável para residências e estabelecimentos comerciais. No entanto, a diferença crucial reside no destino final da energia excedente produzida.

Enquanto o sistema conectado à rede utiliza a energia da distribuidora quando a produção solar é inferior à demanda e vende o excedente para a rede quando a produção é maior, o sistema *Off Grid* opera de forma autônoma. Neste sistema, o proprietário das placas solares armazena a energia em baterias próprias e não a repassa para a rede pública, a utilizando quando a demanda surgir (WEG, 2024).

Figura 9 – Funcionamento Sistema On Grid vs. Off Grid



Fonte: EVS Energy (2022)

4.6 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

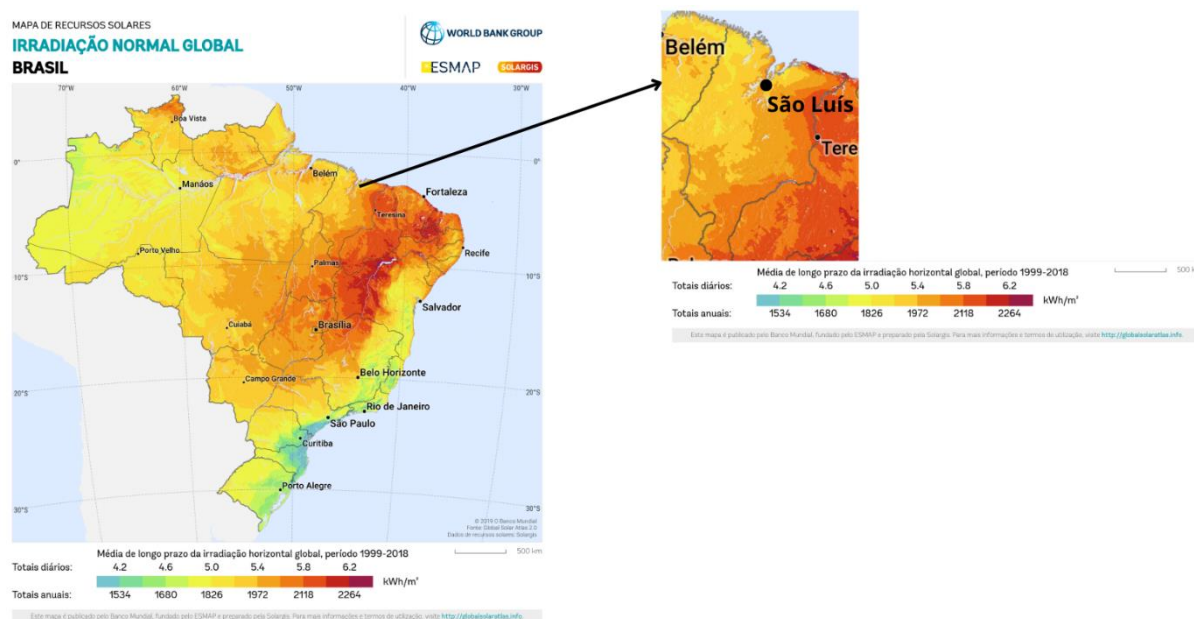
O Brasil tem buscado diversificar sua matriz energética, incluindo fontes renováveis como a energia solar fotovoltaica, que pode contribuir para a eficiência do sistema elétrico.

A eficiência energética fotovoltaica refere-se à capacidade dos sistemas de energia solar em converter a luz do sol em eletricidade utilizável. A localização próxima a Linha do Equador faz com que o tempo de incidência de luz solar não varie muito, a média anual pode variar entre 5 e 8 horas diárias. (OLIVEIRA et al., 2017). O país possui um dos maiores potenciais para geração de energia solar no mundo. De acordo com o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL, 2013), o país apresenta níveis de irradiação solar superiores aos de países onde os projetos de

aproveitamento de energia solar são mais avançados, como Alemanha, França e Itália.

Conforme ilustrado na Figura 9, segundo dados coletados pela empresa de pesquisa Solargis, a região Nordeste do Brasil, onde está situada a cidade de São Luís, é destacada como a região com o maior potencial solar no país, com valores médios diários de irradiação normal global significativos.

Figura 10 – Mapa Total Diário de Irradiação no Brasil (1999-2018)



Fonte: Solargis (2021)

Nos últimos anos, o Brasil tem testemunhado um aumento significativo na capacidade instalada de energia solar fotovoltaica. Conforme Da Silva (2020) a capacidade instalada de energia solar no país, em 2020, atingiu 4,4 GW e a previsão é que continue a crescer nos próximos anos, estimando até 887 mil sistemas de energia solar para 2024.

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica, o crescimento da geração solar fotovoltaica no Brasil, para a fonte solar centralizada, indica um crescimento de 163% de 2021 a 2030. O plano também projeta um aumento na potência instalada de geração distribuída, estimando entre 16,8 GW e 24,5 GW até 2030.

4.6.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA NO MARANHÃO

No contexto maranhense, as características climáticas favorecem a implantação de sistemas fotovoltaicos. O Estado possui altos índices de irradiação

solar, com média de 5,4 kWh/m²/dia, o que é considerado excelente para a geração de energia solar fotovoltaica (Oliveira et al., 2020). Este fator climático é crucial para a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, uma vez que a irradiação solar é diretamente proporcional à quantidade de energia que pode ser gerada por um painel solar.

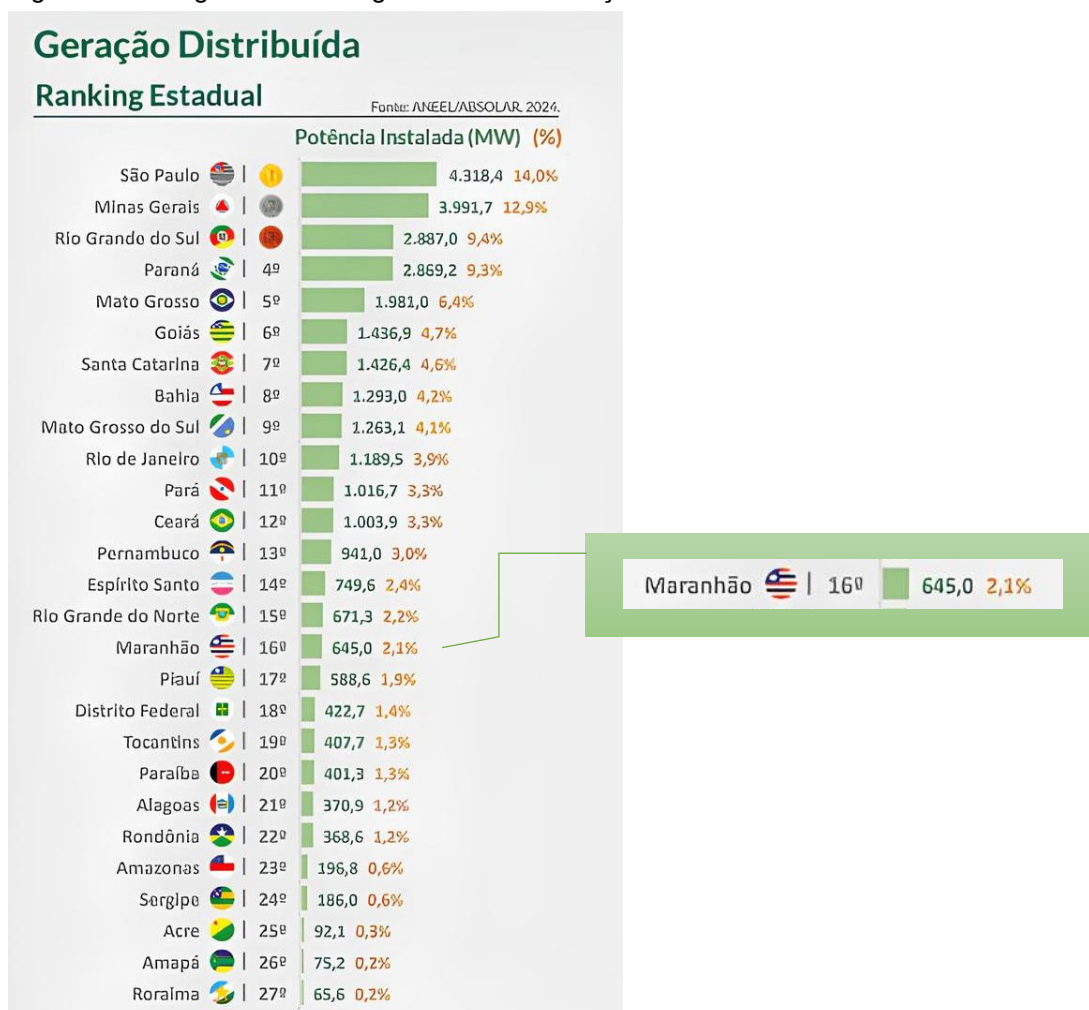
Esse potencial é refletido no ranking estadual (Figura 11) de geração distribuída da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, onde o Maranhão ocupa a 16ª posição com 645,0 MW de potência instalada (ABSOLAR, 2024).

Além disso, o Estado possui uma grande extensão territorial, que possibilita a instalação de plantas solares em larga escala. A proximidade do estado com a linha do Equador, resulta em uma distribuição relativamente uniforme de luz solar ao longo do ano, minimizando as variações sazonais e garantindo uma geração de energia mais consistente.

A eficiência de um sistema fotovoltaico é determinada não apenas pela irradiação solar disponível, mas também pela qualidade dos equipamentos utilizados e pelas condições de instalação. Estudos têm demonstrado que, com a utilização de módulos fotovoltaicos de alta eficiência e inversores de qualidade, a taxa de conversão de energia no Maranhão pode atingir até 18-22% em sistemas residenciais e comerciais (Silva et al., 2021). Como já mencionado no capítulo, esta taxa pode variar dependendo da temperatura ambiente, da orientação e inclinação dos painéis, e da manutenção dos sistemas.

Os avanços tecnológicos têm permitido o desenvolvimento de módulos mais eficientes e com maior durabilidade, aumentando a viabilidade econômica dos sistemas solares. A utilização de painéis bifaciais, que capturam luz solar tanto na face frontal quanto na traseira, é um exemplo de inovação que pode aumentar a eficiência dos sistemas instalados em regiões de alta irradiação, como o Maranhão (Costa et al., 2019).

Figura 11 – Infográfico: Ranking Estadual de Geração Distribuída



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2024)

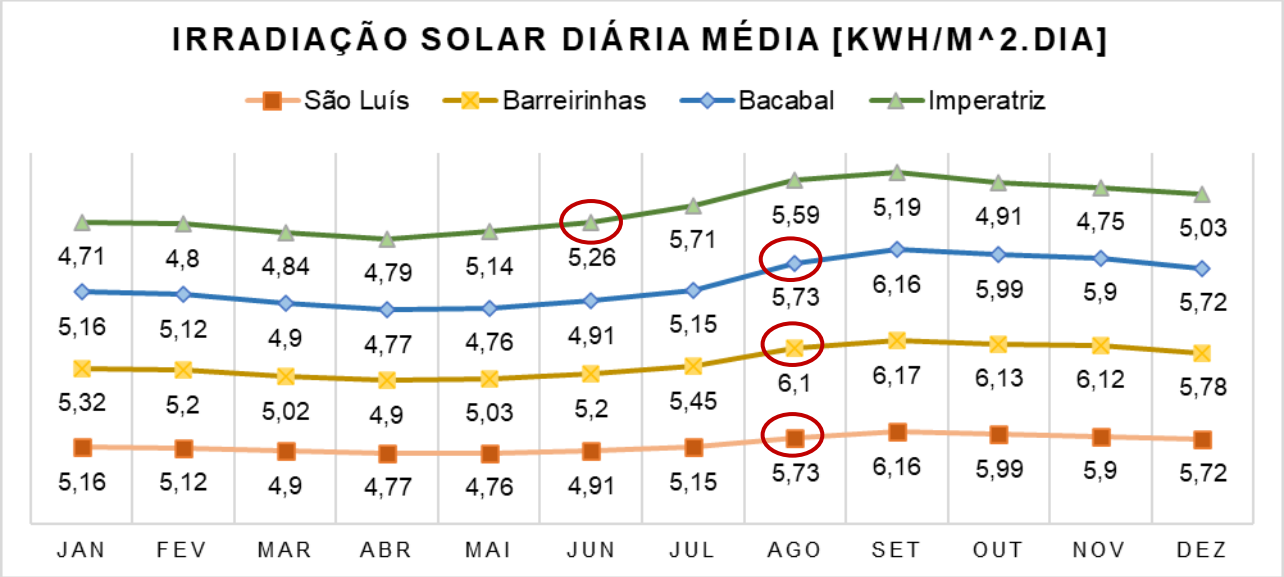
4.6.1.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA EM SÃO LUÍS/MA

A Ilha de São Luís, situada no extremo norte do Brasil, é conhecida por sua alta irradiação solar ao longo do ano. Segundo o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito - CRESESB, através do programa *SunData*, a irradiação solar média na região é de 5,36 kWh/m². dia, se consolidando como um local ideal para a geração de energia solar.

As condições climáticas, como a quantidade de horas de sol e a ausência de nebulosidade frequente, aumentam a eficiência energética dos módulos fotovoltaicos, tornando São Luís um local estratégico para a implantação de projetos de energia solar. No entanto, a cidade também enfrenta desafios, como a presença de umidade elevada e salinidade devido à proximidade com o mar, que podem influenciar a durabilidade e a eficiência dos componentes fotovoltaicos se não houver manutenção adequada (Costa et al., 2022).

O Gráfico 1 e a Tabela 2 apresentam a comparação entre o índice de irradiação solar diária de quatro cidades maranhenses relevantes e a cidade de São Luís ao longo do ano de 2024.

Gráfico 1 - Irradiação solar diária média [kWh/m².dia] em algumas cidades maranhenses



Fonte: CRESESB (2024)

Tabela 2 – Média anual do índice de irradiação solar entre as cidades de São Luís, Barreirinhas, Bacabal e Imperatriz [kWh/m2.dia]

Cidade	Média anual
São Luís	5,36
Bacabal	5,22
Imperatriz	5,03
Barreirinhas	5,53

Fonte: CRESESB (2024)

Os dados do Gráfico 1 indicam uma variação sazonal na irradiação solar para todas as cidades analisadas. São Luís, por exemplo, atinge seu pico de irradiação solar em setembro (6,16 kWh/m².dia). Estes meses representam o período de maior potencial de geração de energia solar, o que pode orientar estratégias de otimização do uso de sistemas fotovoltaicos.

Por outro lado, os meses de janeiro a março mostram valores de irradiação mais baixos em todas as cidades, indicando que o potencial de geração de energia solar é reduzido durante o início do ano. Esse padrão é comum em regiões tropicais, onde o período chuvoso tende a reduzir a disponibilidade de radiação solar direta.

Os resultados sugerem que a instalação de sistemas fotovoltaicos em São Luís e Barreirinhas tende a ser mais eficiente ao longo do ano, considerando a média de

irradiação solar superior a 5,5 kWh/m².dia. Esses dados também indicam que, durante os meses de maior irradiação (agosto e setembro), há um potencial significativo de geração de excedentes de energia que podem ser utilizados em sistemas de armazenamento ou distribuídos na rede.

4.6.2 RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO NO CENÁRIO BRASILEIRO

A análise da relação custo-benefício da implantação de placas solares é crucial para avaliar a viabilidade econômica de projetos de geração de energia solar. A instalação de placas solares pode proporcionar benefícios econômicos substanciais, como a redução dos custos de energia elétrica e a geração de receita com a venda do excedente de energia para a rede elétrica.

Diversos fatores influenciam a relação custo-benefício da energia solar, incluindo o custo inicial de implantação, a vida útil das placas solares, a quantidade de energia gerada e o preço da energia elétrica (SolarPrime, 2024).

O custo inicial de instalação de um sistema fotovoltaico é, tradicionalmente, um dos maiores obstáculos para sua adoção em larga escala. Esses custos incluem a aquisição de módulos solares, inversores, estruturas de suporte, cabos e outros componentes, além da mão de obra para instalação. Segundo a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2023), o custo dos sistemas fotovoltaicos caiu significativamente nos últimos anos devido ao avanço tecnológico, à produção em escala e à crescente competitividade do mercado global.

Segundo dados coletados por pesquisa de mercado, o preço médio de um sistema FV (Fotovoltaico) residencial de 4 kWp é de R\$12.680,00, enquanto para um sistema comercial de pequeno porte o preço médio é de R\$122.500,00.

Apesar dos altos custos iniciais, os sistemas solares fotovoltaicos oferecem uma relação custo-benefício atrativa a longo prazo. A geração de eletricidade a partir de sistemas solares pode resultar em economias substanciais na conta de energia elétrica, especialmente em regiões onde as tarifas de energia são elevadas. Segundo estudos, o retorno sobre o investimento (ROI) de um sistema fotovoltaico residencial no Brasil pode ser alcançado entre 5 a 8 anos, dependendo da localização e das condições de irradiação solar (Silva et al., 2020).

Além disso, o tempo de vida útil dos sistemas fotovoltaicos é geralmente superior a 25 anos, o que permite um período prolongado de geração de energia praticamente gratuita após o retorno do investimento inicial. A baixa necessidade de manutenção também contribui para a viabilidade econômica, pois os módulos solares requerem apenas limpeza periódica e inspeções preventivas para garantir a eficiência do sistema.

O principal benefício observado pelos consumidores ao considerarem a aplicação de energia solar, é o abatimento de créditos na conta mensal de luz nos sistemas solares On grid, com ligação com a distribuidora, a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos é revertida em saldo para a tarifa final. A Lei nº 14300 de 6 de janeiro de 2022 foi responsável por regulamentar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), o qual incentivou a adoção da energia solar através do abatimento da geração na conta mensal de luz.

O uso de placas solares não só oferece benefícios econômicos, mas também importantes vantagens ambientais. A geração de energia fotovoltaica é considerada limpa, pois não emite gases de efeito estufa durante a operação. Este aspecto é essencial na mitigação das mudanças climáticas e na redução da dependência de fontes de energia não renováveis, como o carvão e o gás natural (Oliveira et al., 2019).

Além disso, a adoção de sistemas solares contribui para a descentralização da geração de energia, o que pode reduzir perdas na transmissão e aumentar a resiliência da rede elétrica. A micro e mini geração distribuída também promove o desenvolvimento local, criando empregos e fomentando o desenvolvimento de tecnologias e capacidades locais (Lima & Almeida, 2021).

5 ESTIMATIVAS DE IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM PARADAS DE ÔNIBUS DA CIDADE DE SÃO LUÍS – MA

O resultado da proposta de implantação de placas solares em abrigo em paradas de ônibus de São Luís, caberá de uma análise minuciosa de adequação em determinados abrigos feitos por levantamentos de conceitos nacionais e internacionais, no intuito de buscar a melhor proposta que atenda de forma satisfatória o sistema de transporte público e acomode ao máximo os passageiros durante o tempo de espera.

5.1 DEFINIÇÃO DE PARADA DE ÔNIBUS

De acordo com o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IPPUR/UFRJ), um ponto de ônibus é um local específico onde os veículos do sistema de transporte público coletivo param para o embarque e desembarque de passageiros (IPPUR/UFRJ, 2019). Já a parada de ônibus é o local onde os passageiros aguardam o veículo, podendo ou não ter uma estrutura de abrigo (DFTrans, 2020).

O abrigo, por sua vez, é uma estrutura que pode estar presente no local de parada, proporcionando proteção contra intempéries e mais conforto aos passageiros. Segundo a Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), os abrigos devem ser projetados para atender às necessidades dos usuários, considerando fatores como acessibilidade, segurança e conforto (ANTP, 2018).

No Brasil, existem diferentes tipos de pontos de parada de ônibus, cada um com suas características específicas (Figura 13). Alguns exemplos incluem:

- Parada de ônibus com placa de sinalização: um local de parada simples, identificado por uma placa de sinalização;
- Ponto de parada tipo abrigo: um local de parada com uma estrutura de abrigo, que pode incluir bancos, telhado e painéis de informação;
- Parada de ônibus tubo: uma estrutura de abrigo mais complexa, utilizada em áreas periféricas.

Para garantir a segurança e o conforto dos passageiros, regras e padrões foram definidas para a criação de pontos de parada de ônibus. O Ministério das Cidades, por exemplo, estabelece que os lugares de parada devem ter largura mínima de 2,40

metros e infraestrutura adequada para pessoas com mobilidade reduzida (Ministério das Cidades, 2019).

Figura 12 – Tipos de Paradas de Ônibus



Fonte: Elaborada pelos autores.

5.2 PARADAS DE ÔNIBUS INTELIGENTES: MODELOS E EXEMPLOS

Segundo Nápoles et al. (2020), uma parada de ônibus inteligente é um ponto de acesso público a um sistema de transporte digitalizado que incorpora tecnologias avançadas para fornecer serviços interativos e acessíveis a todos os cidadãos. O conceito de parada de ônibus inteligente está, ainda, alinhado ao desenvolvimento de IP-Spaces, que são ambientes que misturam espaços físicos e virtuais, permitindo que pessoas de diferentes locais se conectem e participem remotamente de atividades culturais, físicas e sociais.

No cenário europeu, várias importantes cidades lançaram projetos-piloto de paradas de ônibus inteligentes. Esse é o caso de Londres (100 abrigos de ônibus do *Clear Channel*, usando o serviço *Google Outside* para fornecer informações) e Barcelona (cerca de 10 paradas, com sistema de pagamento baseado em dispositivos móveis) (Figura 14).

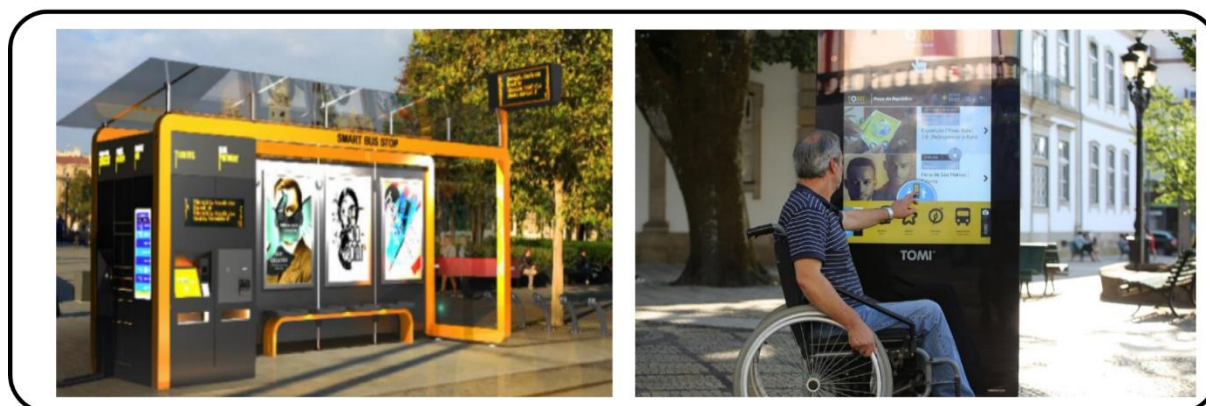
Figura 13 – Exemplos de Paradas Inteligentes em Londres e Barcelona



Fonte: Elaborada pelos autores

A empresa húngara Aqui Innovo, através de incentivos da Comissão Europeia, desenvolveu um protótipo de parada inteligente (Figura 15) que inclui venda de ingressos, entrega de encomendas, contagem de passageiros, informações para passageiros, internet sem fio, carregamento USB, aluguel de bicicletas, ar-condicionado, pedido de táxi, informações turísticas, notícias, anúncios, previsão do tempo, venda reversa, vigilância e outros serviços (Nápoles et al., 2020).

Figura 14 – Parada de Ônibus Inteligente: Aqui Innovo²



Fonte: Adaptado de Nápoles et al. (2020)

A estruturação do pré-projeto para a implantação de placas solares em paradas de ônibus na cidade de São Luís foi baseada no modelo MUSA (Mobiliário Urbano Sustentável e Avançado – Mobiliario Urbano Sostenible y Avanzado), o qual está em desenvolvimento para aplicação na cidade de Madri, na Espanha.

A característica principal do MUSA é fornecer serviços de informação com foco em aspectos de transporte inclusivo e voltado para o social. O modelo define o

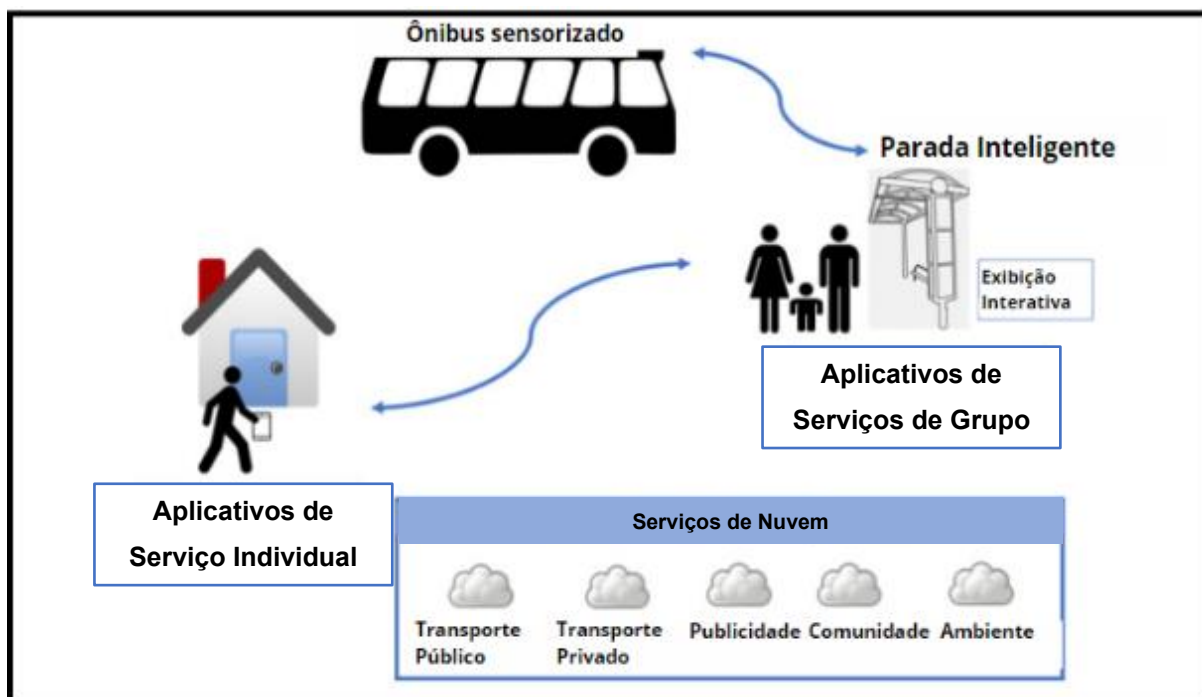
² Disponível em: https://europa.eu/investeu/projects/smart-bus-stop_es.EUInvest

necessário para construir uma parada de ônibus inteligente acessível a todos (Nápoles et al., 2020):

- a) Uma parada de ônibus interativa disponível para toda a população. É um ponto de acesso público a um Sistema de Transporte Digitalizado ou *Digitized Transport System* (DTS), que permite acesso a pessoas sem aplicativos ou até mesmo sem um smartphone.
- b) Pode funcionar como um ponto de acesso público e como um assistente de viagem para grupos de baixa renda ou desfavorecidos.
- c) Pode melhorar a acessibilidade ao DTS por meio da personalização de interfaces e da redução da demanda cognitiva.
- d) Pode melhorar o planejamento em tempo real levando em consideração eventos inesperados que podem melhorar ou interromper as operações de transporte.
- e) Por meio de uma interface atraente e personalizada, pode fomentar a penetração de aplicativos de planejamento de viagens e seu uso por diferentes grupos de usuários (idosos, imigrantes, etc.).
- f) Pode ser implementada como um móvel inteligente de tamanho reduzido, fornecendo um equipamento eletrônico robusto e essencial que converte paradas tradicionais em paradas de ônibus inteligentes acessíveis, minimizando o custo de modernização e tendo um uso amplo nas cidades e áreas rurais.
- g) Por fim, pode ser usado para introduzir pontos de espaço público interconectados da cidade. Isso é muito adequado quando a parada de ônibus inteligente está em um parque ou praça, onde as pessoas podem se envolver em esportes, atividades físicas e culturais. Compartilhar a mesma infraestrutura de TIC torna o sistema atraente do ponto de vista estético e econômico.

No modelo MUSA, a integração dos sistemas e do individual e coletivo se dá conforme ilustrado na Figura 16. Envolvendo softwares de nuvens que são responsáveis por armazenar e realizar a junção coordenada das informações, auxiliando na mobilidade urbana desde o momento que o usuário sai de casa até o momento em que se encontra na parada.

Figura 15 – Arquitetura do Sistema de Integração do MUSA



Fonte: Adaptada de Nápoles et al. (2020)

Baseadas nessas condições, as estruturas externas e internas das paradas de ônibus com placas solares na cidade de São Luís foram determinadas.

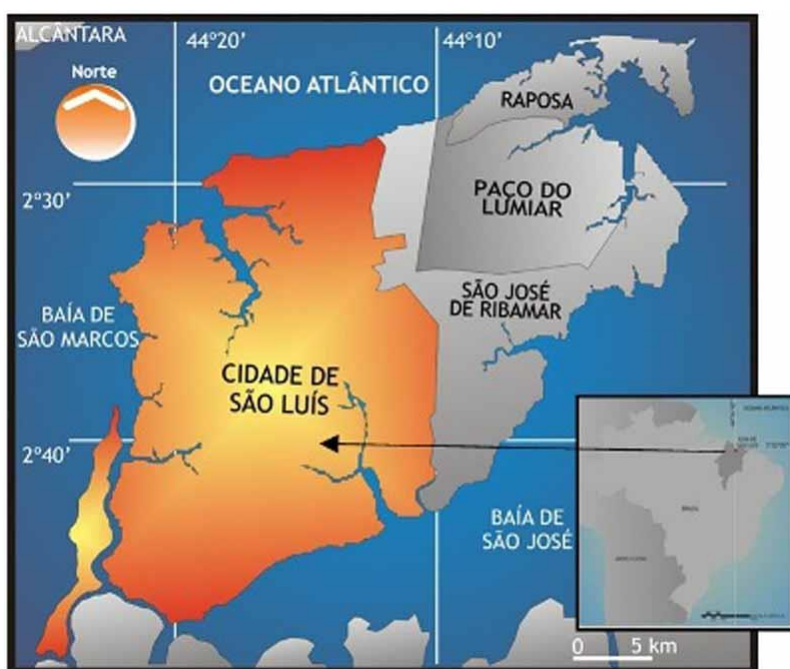
5.3 DADOS ACERCA DA MOBILIDADE URBANA NA CIDADE DE SÃO LUÍS

O Sistema Integrado de Transporte (SIT) de São Luís, capital do Maranhão, desempenha um papel crucial na mobilidade urbana da cidade, sendo o principal meio de transporte coletivo para a população. Criado em 1996 pela prefeitura municipal, o SIT foi estabelecido com a inauguração do primeiro terminal de ônibus da cidade, um marco importante na organização e gestão do transporte público local. A administração do sistema é de responsabilidade da Secretaria Municipal de Trânsito e Transporte (SMTT), que concedeu a operação e manutenção do SIT a quatro consórcios privados, divididos em lotes distintos.

De acordo com o levantamento mais recente realizado pelo Painel de Mídia e Consumo, o transporte público, com ênfase no ônibus, permanece como o principal meio de transporte utilizado pela população de São Luís. O estudo revelou que 55,69% dos 1.503 entrevistados dependem deste meio de transporte para suas deslocações diárias. Estima-se, ainda, que aproximadamente 700 mil pessoas utilizam o sistema todos os dias, destacando sua importância para o funcionamento da cidade.

Além do Sistema Integrado de Transporte (SIT), o Governo do Maranhão atua no gerenciamento do transporte público coletivo por meio da Agência Estadual de Mobilidade Urbana e Serviços Públicos (MOB), que é responsável pela gestão das linhas semiurbanas de transporte coletivo na Região Metropolitana de São Luís (Figura 17). Atualmente, a MOB administra 78 linhas semiurbanas, com uma frota de 347 veículos que atendem aos municípios de São Luís, São José de Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar (MARANHÃO, 2024).

Figura 16 – Mapa da Região Metropolitana de São Luís

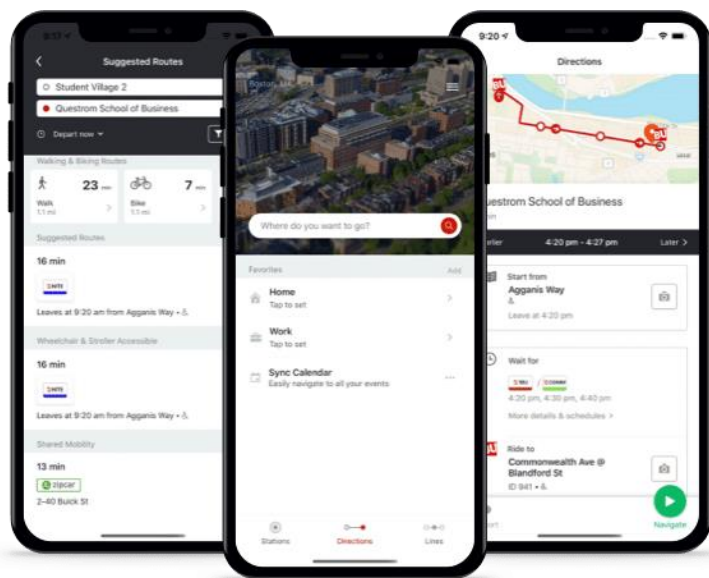


Fonte: JAIR PRANDI (2012)

Em consonância com o desenvolvimento tecnológico, o monitoramento dos horários dos ônibus em São Luís é realizado através de dois aplicativos disponíveis para os sistemas operacionais iOS e Android: Moovit (Figura 18) e Meu Ônibus (Figura 19).

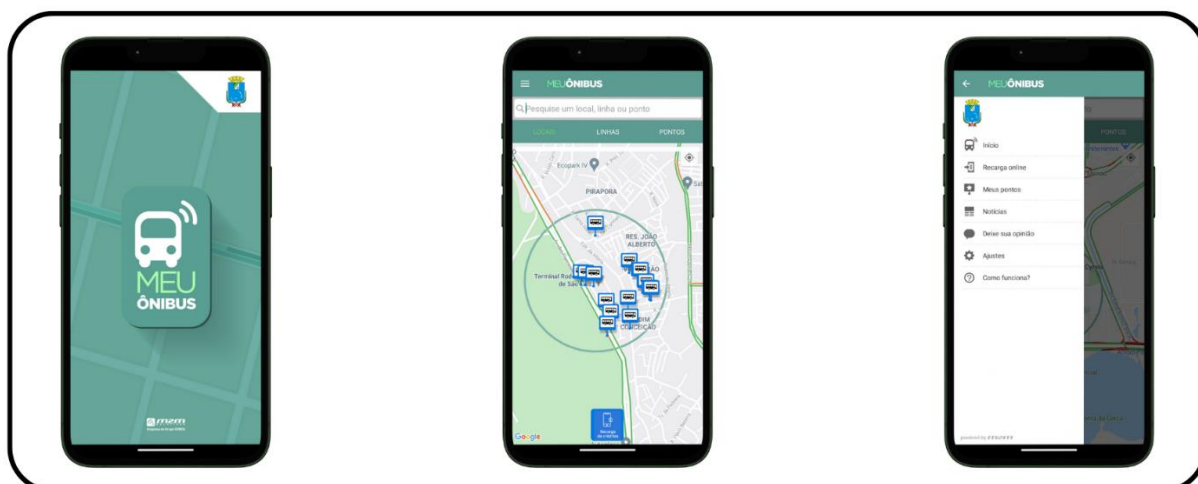
O aplicativo "Meu Ônibus", operado pela Prefeitura de São Luís e pelo Sindicato das Empresas de Transporte (SET), permite o acompanhamento em tempo real apenas dos ônibus que compõem o SIT. Por outro lado, o Moovit integra os dados dos ônibus operados pelo Governo do Estado do Maranhão, sendo responsável pelo rastreamento dos veículos que realizam a integração intermunicipal na região metropolitana da capital.

Figura 17 – Interface do Aplicativo “Moovit”



Fonte: Moovit (2024)

Figura 18 – Interface do Aplicativo “Meu Ônibus”



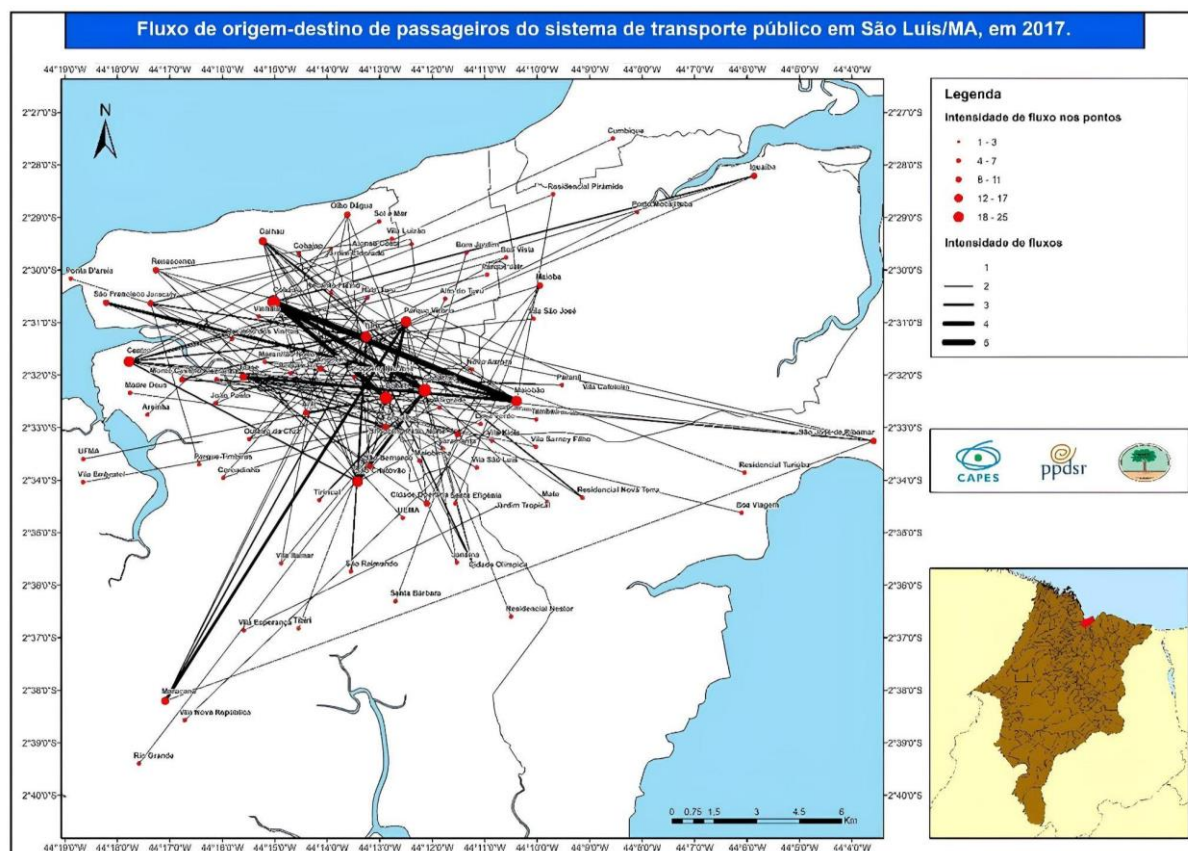
Fonte: Adaptado de Google Play

5.3.1 FLUXO DE PASSAGEIROS DO TRANSPORTE COLETIVO EM SÃO LUÍS

Segundo SIQUEIRA (2019), os pontos da cidade que concentram maior fluxo de deslocamento de passageiros estão situados na região dos bairros Cohab, Cohatrac e Cohama (Figura 20). Tais bairros são importantes centros comerciais multifacetados, abrigando órgãos públicos e bancos.

Concentrados nestes bairros estão dois dos cinco terminais de integração da cidade, acumulando assim, grande trânsito de pessoas e veículos (próprios e coletivos).

Figura 19 – Mapa de fluxo de origem-destino de passageiros do sistema de transporte público em São Luís – MA em 2017



Fonte: SIQUEIRA (2019)

5.3.2 SITUAÇÃO ATUAL DAS PARADAS DE ÔNIBUS EM SÃO LUÍS

A realidade das paradas de ônibus em São Luís, Maranhão, é marcada por uma série de desafios que afetam diretamente a experiência dos usuários do transporte público. Muitas paradas carecem de manutenção adequada, resultando em estruturas danificadas ou deterioradas (Figura 21). Os passageiros frequentemente enfrentam situações desconfortáveis, como a falta de assentos, que os obriga a esperar em pé por longos períodos. Além disso, a exposição direta às intempéries, como chuvas torrenciais e sol intenso, torna a espera ainda mais desagradável, contribuindo para a insatisfação dos usuários.

A limpeza das paradas também é uma questão crítica. O acúmulo de sujeira e lixo nas proximidades das paradas não apenas compromete a estética urbana, mas também pode representar riscos à saúde pública. A falta de lixeiras adequadas e a ausência de serviços regulares de limpeza agravam essa situação, tornando as paradas menos convidativas e seguras para os usuários (Figura 22).

Figura 20 – Parada de Ônibus em Situação Precária na Capital: situada na área externa do Campus Dom Delgado, Cidade Universitária, UFMA



Fonte: Adaptada de Google (2024).

Figura 21 – Paradas de Ônibus Mal-conservadas na Capital: situadas próximas ao Museu Ferroviário do Maranhão e ao Palácio dos Leões em importantes avenidas da cidade



Fonte: Adaptada de Google (2024)

Outro aspecto relevante a ser considerado é a distinção entre as paradas de ônibus estaduais e municipais. Essa divisão pode impactar significativamente a

manutenção e a implementação de tecnologias nas paradas. As paradas estaduais (Figura 23) que são geridas pela MOB (Governo Estadual), podem enfrentar diferentes prioridades e orçamentos em comparação com as paradas municipais (Figura 24), que estão sob a responsabilidade da Secretaria Municipal de Trânsito e Transporte (SMTT). A falta de uma abordagem integrada entre as esferas estadual e municipal pode dificultar a implementação de soluções sustentáveis e tecnológicas, como a energia solar, que poderiam beneficiar tanto os usuários quanto a cidade como um todo.

Figura 22 – Parada administrada pelo Governo do Maranhão, localizadas na região metropolitana



Fonte: Google (2023)

Figura 23 – Parada administrada pela Prefeitura de São Luís



Fonte: Google (2024)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ESTRUTURAÇÃO DO PRÉ-PROJETO

6.1.1 ESTRUTURA EXTERNA

- Cobertura: telhado projetado para suportar e abrigar as placas solares, garantindo proteção contra intempéries e eficiência na captação de energia.
- Sinalização: instalação de sinalização vertical e horizontal, identificando o local da parada de ônibus e as distâncias mínimas a serem respeitadas pelos pedestres e veículos.
- Segurança: Câmera de vigilância externa para monitoramento da área da parada, equipada com sistema de reconhecimento facial. Esse sistema pode ser adaptado do Sistema de Bilhetagem Eletrônica, que já realiza o reconhecimento facial quando os usuários passam o cartão na catraca, ajudando a identificar possíveis fraudes (Figura 25).

Figura 24 – Catraca do Sistema de Bilhetagem Eletrônica em São Luís/MA



Fonte: Sindicato das Empresas de Transporte (2023)

6.1.2 ESTRUTURA INTERNA

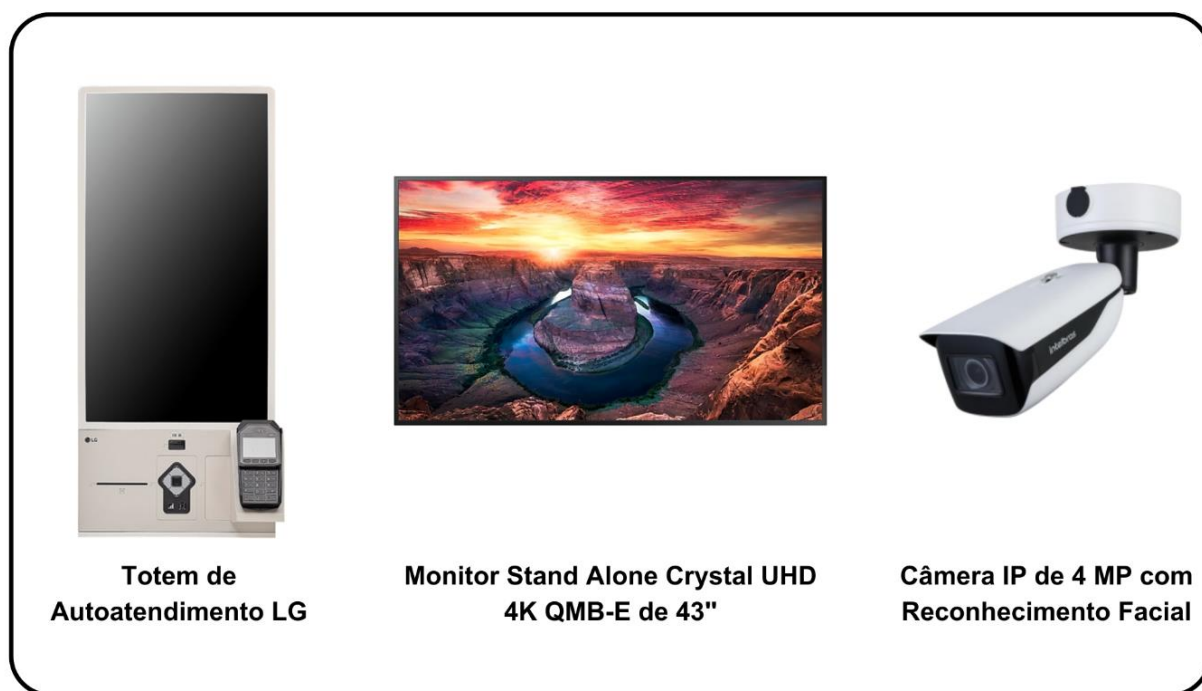
A parada de ônibus inteligente contará com os seguintes equipamentos e funcionalidades (Figura 27):

- Terminal de Autoatendimento: Equipamento para recarga de cartões de transporte e consulta de saldo, utilizando o Sistema de Bilhetagem Eletrônica atualmente implantado no transporte coletivo urbano. Este sistema permite a visualização do saldo disponível e oferece integração com a carteira digital

RecargaPay (Figura 27), possibilitando a carga e recarga dos cartões de transporte.

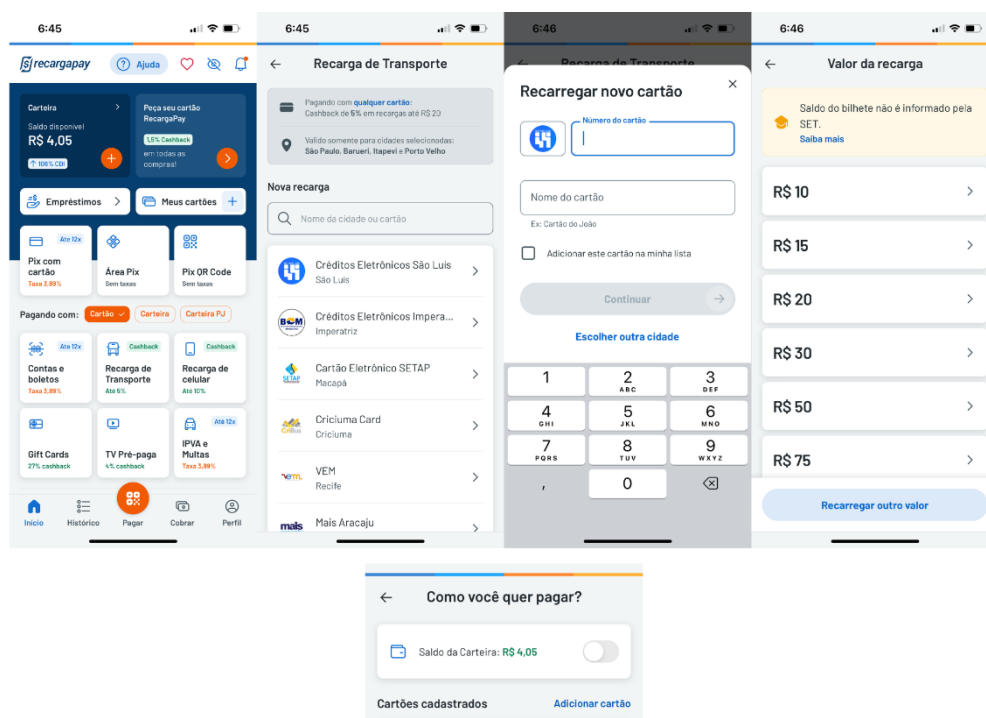
- **Monitor Informativo:** Tela de 43 polegadas que exibe, em tempo real, os horários dos ônibus por meio do espelhamento dos sistemas de monitoramento de ônibus utilizados, conforme descrito na seção 3.2. Além disso, o monitor pode ser utilizado para exibir publicidade.
- **Iluminação:** Instalação de três lâmpadas tubulares de LED para proporcionar uma iluminação eficiente e sustentável.
- **Carregamento de Dispositivos:** Três tomadas dedicadas ao carregamento de celulares e outros dispositivos eletrônicos, garantindo comodidade aos usuários.
- **Assentos:** Banco conjugado com capacidade para acomodar até três pessoas, proporcionando conforto durante a espera.
- **Segurança Interna:** Assim como a câmera de vigilância externa, a câmera de vigilância interna para monitoramento da área da parada, equipada com sistema de reconhecimento facial.

Figura 25 – Equipamentos Eletrônicos Internos da Parada Inteligente



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 26 – Interface do Aplicativo “RecargaPay” e processo para carga e recarga dos cartões de transporte



Fonte: Elaborada pelos Autores

6.1.2.1 DIMENSIONAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA

Para determinar a quantidade de placas solares necessárias para atender ao sistema elétrico a ser instalado na parada de ônibus, o primeiro passo é realizar o dimensionamento do consumo dos dispositivos. O cálculo baseia-se na seguinte fórmula:

$$E_{total} = C * \Delta t$$

E_{total} : Consumo total

C : Consumo

Δt : Intervalo de tempo em uso

Obs1: O produto é dividido por 1000 para converter a unidade para kWh.

Obs2: Fórmula utilizada também para o tempo em *standby*.

Por se tratar de um local em que há o deslocamento constante de pessoas e nem sempre as tomadas serão usadas para realizar uma carga completa em um aparelho eletrônico, foi adotado o consumo convencional de considerando os dados da Tabela 3:

Tabela 3 – Quadro de Cargas: Consumo por Unidade

42 celulares/dia	Bateria de 5000mAh	Carregador de 20W	Tempo de utilização 30 minutos (0,5h)	Em cada tomada são usados 14 celulares/dia
-------------------------	---------------------------	--------------------------	--	---

Cálculos:

$$Energia consumida por celular = P * \Delta t$$

$$Energia consumida por celular = 20W/h * 0,5h$$

$$Energia consumida por celular = 10 Wh ou 0,01 kWh$$

$$Consumo por dia nas 3 tomadas = Energia consumida por celular * Quantidade de celulares * 3$$

$$Consumo por dia nas 3 tomadas = 0,01 * 14 * 3 = 0,42 kWh$$

Assim, os Quadros de Cargas do projeto são divididos em panoramas diários individuais, consumo diário total e consumo mensal total, apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6, respectivamente.

Tabela 4 – Quadro de Cargas: Consumo por Unidade

Dispositivo	Qtde.	Consumo Ligado (kWh)	Consumo Standby (kWh)	Consumo Ligado (kWh) ₁	Consumo Standby (kWh) ₂
Monitor de 43"	1	0,110	0,005	1,98	0,09
Terminal de Autoatendimento para Recarga	1	0,040	0,005	0,72	0,09
Iluminação (Lâmpadas tubulares de LED 20W)	4	0,02	-	0,36	-
Câmera de Segurança IP	2	0,0167	-	0,4008 ³	-
Tomadas para carregamento de celulares⁴	3	0,01	-	0,01	-

¹ Para o tempo de consumo diário com os dispositivos ligados (exceto as tomadas e câmeras) foram admitidas 18 horas de duração, sendo das 5h às 23h;

² Para o tempo de consumo diário com os dispositivos em stand-by foram admitidas 6 horas de duração, sendo das 23h às 5h;

³ Ambas as câmeras instaladas funcionarão 24h/dia;

⁴ Por se tratar de um local em que há o deslocamento constante de pessoas e nem sempre as tomadas serão usadas para realizar uma carga completa em um aparelho eletrônico, foi adotado o consumo convencional de considerando o cálculo feito na Tabela 3;

Tabela 5 – Consumo total por dia

Dispositivo	Qtde.	Consumo Ligado (kWh)	Consumo Standby (kWh)
Monitor de 43"	1	1,98	0,09
Terminal de Autoatendimento para Recarga	1	0,72	0,09
Iluminação (Lâmpadas tubulares de LED)	4	1,44	-
Câmera de Segurança IP	2	0,8016	-
Tomadas para carregamento de celulares	3	0,42	-

Tabela 6 – Consumo total por Mês

Dispositivo	Qtde.	Consumo Ligado (kWh)	Consumo Standby (kWh)
Monitor de 43"	1	59,4	2,7
Terminal de Autoatendimento para Recarga	1	21,6	2,7
Iluminação (Lâmpadas tubulares de LED)	4	43,2	-
Câmera de Segurança IP	2	24,048	-
Tomadas para carregamento de celulares	3	45	-

Tabela 7 – Resumo

QUADRO RESUMO	
Consumo total por mês (kWh)	193,248
Consumo total por dia (kWh)	5,5416

6.1.2.2 LOCALIDADE ESCOLHIDA PARA IMPLANTAÇÃO

Conforme observado na Figura 20, a região central de São Luís concentra um elevado fluxo de passageiros, sendo um dos pontos de maior movimento na cidade. Nesta área está localizado o Terminal da Praia Grande, um dos cinco terminais que integram o sistema de transporte coletivo urbano. Além disso, o Centro abriga o Centro Histórico de São Luís, uma área de grande relevância para o turismo na capital. Essa confluência de fatores faz com que o Centro seja um local estratégico para a primeira implantação da parada de ônibus inteligente.

A escolha da Avenida Beira-Mar, nas proximidades do Viva Procon, como local de implantação, considera também a visibilidade e o impacto que o projeto pode alcançar. A área é rodeada por importantes edifícios governamentais do estado e do município, o que proporciona não apenas uma localização central e acessível, mas

também uma oportunidade de promover o projeto, tanto em âmbito nacional quanto internacional.

Segundo o Observatório do Turismo da cidade de São Luís do Maranhão, em janeiro de 2024, o fluxo de passageiros aéreos registrado, totalizou 134.107 pessoas, reforçando o potencial da região central como ponto estratégico de mobilidade. O alto volume de turistas e visitantes que passam pela área fortalece a demanda por infraestrutura moderna e eficiente no transporte público, alinhando-se ao objetivo da parada de ônibus inteligente de oferecer um serviço inovador e sustentável.

Dessa forma, a escolha da Avenida Beira-Mar não apenas valoriza o projeto em um cenário de grande visibilidade, mas também responde às necessidades reais de mobilidade de São Luís.

6.1.3 KIT SOLAR: SIMULAÇÃO PARA A PARADA INTELIGENTE

Nesta seção, será realizada a simulação para determinar a quantidade de painéis solares necessária para suprir o consumo energético da parada de ônibus inteligente, conforme dimensionado na seção anterior. A partir dos resultados obtidos na análise do consumo de energia dos dispositivos integrados ao sistema, como descrito nos Quadros de Cargas, torna-se possível estimar a quantidade de painéis fotovoltaicos que devem ser instalados para garantir a autonomia energética da parada.

Com base na seção 2.5 e nos objetivos para a implantação de paradas de ônibus inteligentes em São Luís, o tipo de placa solar mais indicado para o projeto é o painel fotovoltaico de silício monocristalino. Esse tipo de painel é considerado o mais eficiente no mercado atual, com uma alta taxa de conversão de energia solar em eletricidade (até 24,7% em condições de laboratório), o que é crucial para garantir a autonomia energética das paradas de ônibus.

Além disso, a durabilidade e a eficiência dos painéis monocristalinos ao longo do tempo os tornam uma escolha ideal para um projeto que visa a sustentabilidade e a redução de custos operacionais. Esses painéis são especialmente adequados para ambientes com alta incidência solar, como é o caso de São Luís, o que maximiza a geração de energia ao longo do ano.

O dimensionamento da quantidade de painéis solares depende diretamente dos valores de consumo diário total e consumo mensal total calculados na seção anterior. Com base nesses dados e com o auxílio da Calculadora Solar Aldo Solar, foram realizadas simulações para determinar a quantidade ideal de painéis fotovoltaicos necessários.

Para a presente simulação, adotou-se o valor de consumo mensal de aproximadamente 195,0 kWh. O cálculo do retorno do investimento inicial foi realizado pela seguinte fórmula:

$$\text{Tempo de retorno do investimento} = \text{Investimento realizado} / ((\text{Energia gerada} * \text{Tarifa da energia}) - \text{Taxa Mínima de Luz})$$

A Tabela 8 apresenta os resultados:

Tabela 8 – Dimensionamento: Quantidade de Placas Solares

Potência Instalada¹	1,65 kWp (0,55 kWp/placa) ²
Qtde. de Painéis	3
Área Mínima Ocupada	9,80 m ²
Produção Mensal	217,80 kWh
Produção Anual	2.613,6 kWh
Valor do Investimento	R\$ 3.049,00
Economia Anual	R\$ 2.160,00
Retorno do Investimento	17 meses

¹ kWp (quilowatt-pico) é a medida da potência máxima que o painel solar pode gerar sob condições ideais;

² A potência de cada placa foi dividida pela quantidade de painéis indicada na tabela;

Fonte: Adaptado de Aldo Solar (2024)

6.1.4 PROJETO 3D

O projeto 3D das paradas de ônibus com placas solares foi desenvolvido utilizando o software *SketchUp*, uma ferramenta de modelagem tridimensional amplamente utilizada na arquitetura e engenharia. O objetivo do projeto foi criar um modelo detalhado e visualmente representativo das novas paradas de ônibus, integrando a tecnologia de geração de energia solar e considerando aspectos de funcionalidade, estética e sustentabilidade.

O modelo 3D permite a visualização completa da estrutura da parada de ônibus, conforme citado na seção 6.1.1 e 6.1.2, destacando a instalação das placas

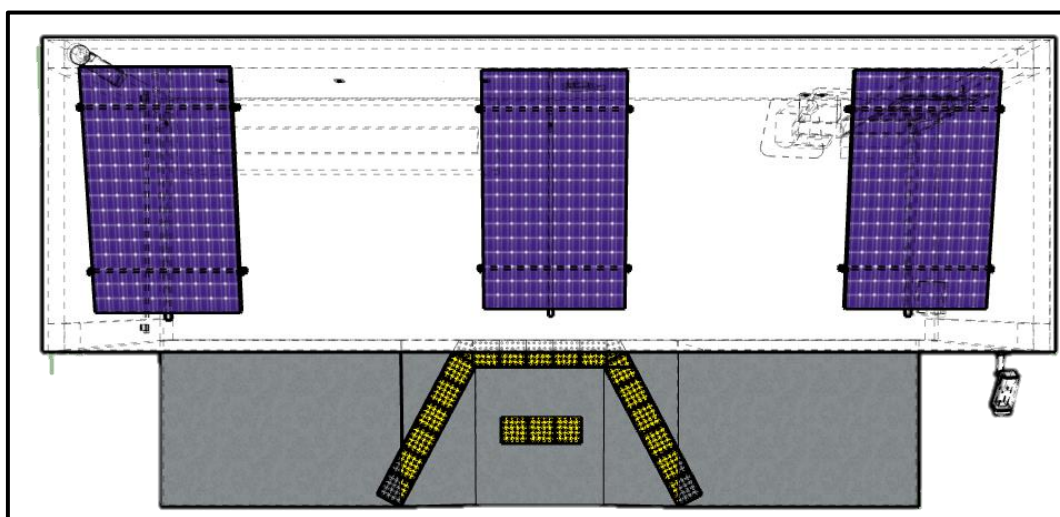
solares no teto. O projeto inclui elementos como bancos, tomadas, câmeras de segurança espaço para publicidade, área de recarga de cartão e acompanhamento do horário real dos ônibus e áreas de acessibilidade, visando atender às necessidades dos usuários e melhorar a experiência de espera pelo transporte público.

Além disso, o modelo 3D proporciona uma visão clara de como a integração das placas solares pode contribuir para um design mais sustentável e eficiente.

Por meio do *SketchUp*, foi possível criar um modelo que serve como uma base de referência para a construção real das paradas de ônibus solares, permitindo a análise e os ajustes necessários antes da implementação. O projeto 3D também facilita a comunicação com as partes interessadas, fornecendo uma representação visual clara e precisa do que será executado.

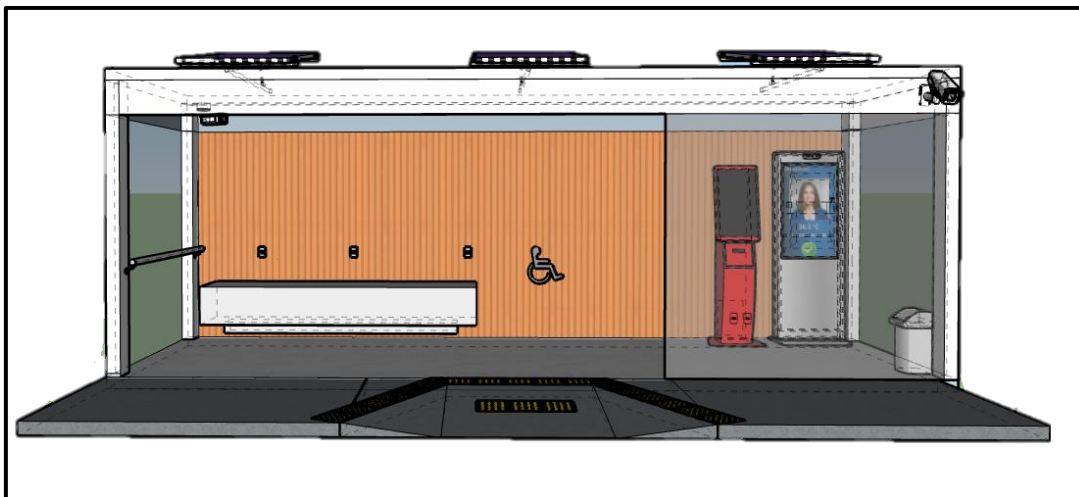
As Figuras 28 a 31 apresentam as diferentes vistas da parada de ônibus projetada, incluindo perspectivas superior, frontal, lateral, superior, e isométrica, destacando os principais elementos e características da estrutura com a instalação das placas solares

Figura 27 – Vista superior contendo 3 painéis solares, conforme dimensionado na Tabela 8



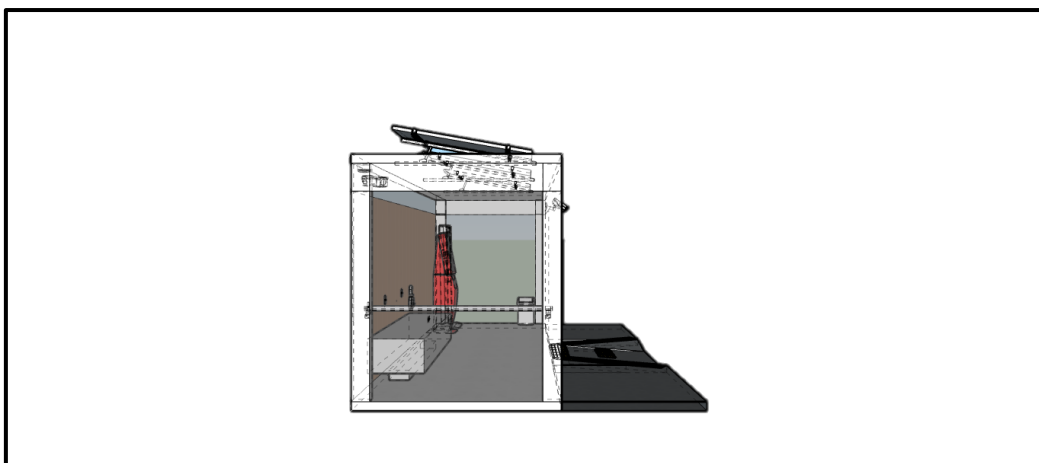
Fonte: Elaborada pelos Autores

Figura 28 – Vista frontal apresentando a distribuição dos espaços dentro da parada, em conjunto com os equipamentos eletrônicos que a compõem



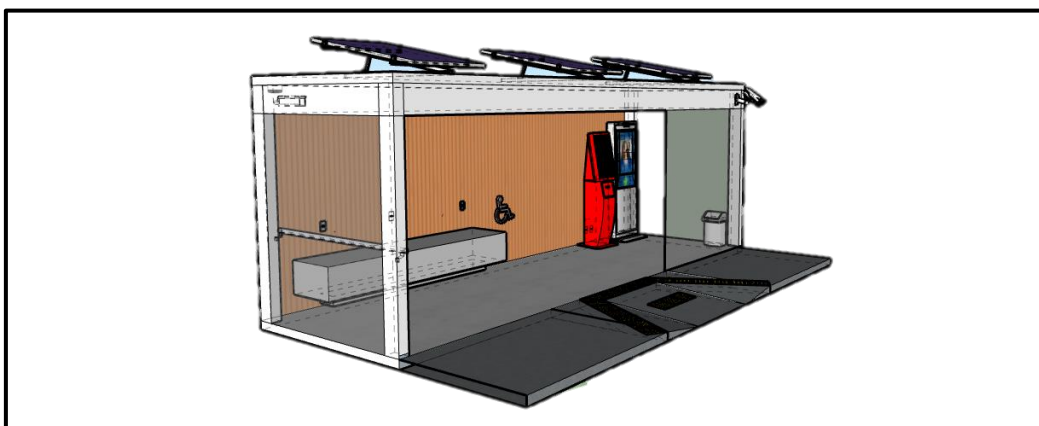
Fonte: Elaborada pelos Autores

Figura 29 – Vista lateral



Fonte: Elaborada pelos Autores

Figura 30 – Vista Lateral



Fonte: Elaborada pelos Autores

7 CAMINHOS PARA A INSERÇÃO DE SÃO LUÍS NO CONCEITO DE *SMART CITY*

Após a identificação dos principais desafios enfrentados pelas cidades na adoção de iniciativas inteligentes, conforme destacado na Figura 2, a instalação de placas solares em paradas de ônibus em São Luís surge como uma solução inovadora que aborda diretamente essas questões. A seguir, cada uma das categorias de desafios será analisada detalhadamente, demonstrando como o projeto das paradas solares contribui para superar obstáculos estratégicos, organizacionais, tecnológicos, de desenvolvimento do ecossistema e de inovação em larga escala.

Essas subseções irão explorar como a solução proposta se alinha com uma visão estratégica de transformação urbana sustentável, promove agilidade e capacidades organizacionais na implementação de tecnologias, possibilita a domesticação tecnológica ao integrar a energia solar no dia a dia dos cidadãos, apoia o desenvolvimento de um ecossistema inovador e colaborativo, e, por fim, incentiva a inovação transfronteiriça, permitindo que essa prática seja replicada em outros contextos urbanos. Cada uma dessas dimensões será aprofundada, evidenciando o potencial da infraestrutura de paradas solares para posicionar São Luís como uma cidade modelo no desenvolvimento de soluções sustentáveis e inteligentes.

7.1 VISÃO ESTRATÉGICA

A implantação das paradas de ônibus solares é parte de uma visão estratégica maior de transformar São Luís em uma cidade mais sustentável e inteligente.

A instalação de placas solares nas paradas de ônibus visa aproveitar a abundância de radiação solar em São Luís, uma cidade localizada em uma região equatorial, para gerar energia limpa e renovável. Ao substituir ou complementar fontes de energia convencionais com energia solar, o projeto contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e diminui a dependência de fontes de energia não renováveis. Essa abordagem sustentável ajuda a posicionar São Luís como uma cidade que adota práticas inovadoras para enfrentar as mudanças climáticas.

Além da geração de energia, as paradas de ônibus equipadas com placas solares podem oferecer diversos serviços de valor agregado, que melhoram a experiência do usuário, tornam o transporte público mais atraente e acessível, e incentivam a população a optar por esse meio de transporte, reduzindo, assim, o uso de veículos particulares e os congestionamentos.

A implantação de placas solares pode levar a uma significativa redução nos custos operacionais de longo prazo das paradas de ônibus. Ao gerar sua própria energia, as paradas se tornam mais autossuficientes, reduzindo gastos com eletricidade e permitindo que os recursos públicos sejam redirecionados para outras melhorias na infraestrutura urbana. Além disso, essa estratégia promove a resiliência da infraestrutura, garantindo que os serviços de transporte público possam continuar operando mesmo durante falhas na rede elétrica convencional.

A iniciativa também incentiva o desenvolvimento de um ecossistema local de inovação ao criar oportunidades para empresas e profissionais do setor de energia renovável e tecnologia. A demanda por instalação, manutenção e monitoramento das paradas solares cria novos empregos e promove a capacitação da mão de obra local. Além disso, demonstra que São Luís está comprometida em adotar práticas inovadoras, o que pode atrair investimentos e parcerias com outras cidades e instituições de

A visão estratégica também engloba a promoção da inclusão social. Paradas de ônibus bem projetadas e tecnológicas podem ser adaptadas para atender a pessoas com deficiência, com informações acessíveis, sinalização adequada e áreas de espera confortáveis. A integração de tecnologia para oferecer serviços em diferentes idiomas e interfaces amigáveis pode também atender a diversos grupos da população, tornando o transporte público mais inclusivo.

7.2 AGILIDADE E CAPACIDADES ORGANIZACIONAIS

Este conceito se refere à capacidade das organizações, especialmente no setor público, de se adaptarem rapidamente às mudanças, adotarem novas tecnologias e responderem eficientemente às demandas de uma cidade em constante crescimento e desenvolvimento. Essa agilidade é essencial para o sucesso de iniciativas de cidades inteligentes (*smart cities*), como destacado por diversos autores no campo da gestão urbana e inovação tecnológica (Nam & Pardo, 2011; Neirotti et al., 2014).

Para a efetiva implementação de paradas de ônibus solares, é necessário que as organizações municipais demonstrem agilidade na adaptação às novas tecnologias e na integração dessas inovações em sua infraestrutura existente. Segundo Neirotti et al. (2014), a capacidade de uma cidade de adotar rapidamente novas tecnologias é um dos fatores críticos de sucesso para o desenvolvimento de uma cidade

inteligente. A instalação de placas solares requer coordenação entre diferentes departamentos municipais, fornecedores de tecnologia e concessionárias de energia, além de agilidade para superar possíveis barreiras burocráticas e operacionais.

O projeto de paradas de ônibus solares envolve uma colaboração multissetorial que exige agilidade organizacional para alinhar os objetivos de diversas partes interessadas, incluindo a prefeitura, empresas de transporte público, fornecedores de tecnologia solar, e a comunidade local. Como apontado por Silva e Moussalem (2020), a colaboração e a flexibilidade nas operações das cidades são determinantes para a eficiência dos sistemas inteligentes e para a resposta rápida às mudanças no ambiente urbano.

Além de infraestrutura física e tecnológica, a implantação de um projeto como este requer que as organizações desenvolvam competências internas para gerenciar novos sistemas e tecnologias. Isso inclui a capacitação de servidores e funcionários em áreas como gestão de energia renovável, monitoramento de sistemas de IoT (Internet das Coisas) e análise de dados em tempo real. Segundo Nam e Pardo (2011), uma das chaves para a transformação digital das cidades é a capacidade organizacional de treinar e capacitar recursos humanos para operar e manter as novas tecnologias, promovendo assim um ciclo de inovação contínua.

Conforme Neirotti et al. (2014) discutem, a eficiência e a flexibilidade na gestão de recursos urbanos são fundamentais para o desenvolvimento sustentável de cidades inteligentes.

A capacidade organizacional de inovar continuamente e escalar projetos é outra faceta crítica do conceito de agilidade. Uma vez que a infraestrutura de paradas solares seja implementada com sucesso, a cidade pode expandir o projeto para incluir mais áreas e até mesmo integrar outras tecnologias, como sistemas de recarga para veículos elétricos. Conforme sugerido por Silva e Moussalem (2020), a escalabilidade das soluções é uma prova de uma cidade inteligente bem-sucedida, e é possibilitada por uma base organizacional ágil e bem estruturada.

7.3 DOMESTICAÇÃO TECNOLÓGICA

A domesticação tecnológica vai além da simples implementação de inovações; ela requer uma assimilação cultural e operacional das tecnologias, de modo que estas

se tornem parte integrante das práticas e rotinas urbanas (Silverstone & Hirsch, 1992; Berker et al., 2006).

Para que a instalação de placas solares em paradas de ônibus seja efetiva, é essencial que a tecnologia seja apropriada e adaptada ao contexto específico de São Luís. Isso significa considerar as características climáticas locais, a infraestrutura urbana existente, e as necessidades dos usuários do transporte público. Como apontam Berker et al. (2006), a domesticação tecnológica envolve a "reconfiguração" das inovações para atender às condições locais. Nesse caso, a adaptação da tecnologia solar para as paradas de ônibus implica ajustes no design dos painéis, no sistema de armazenamento de energia e na interface de usuário dos dispositivos de informação e segurança instalados nas paradas.

A domesticação tecnológica também exige que a nova tecnologia seja integrada de forma harmoniosa com a infraestrutura e os serviços urbanos já existentes. Conforme Berker et al. (2006), essa domesticação envolve não apenas a introdução da tecnologia, mas a transformação das práticas cotidianas de maneira que as inovações se tornem parte integral da vida urbana. A implantação de placas solares em paradas de ônibus em São Luís considera a compatibilidade com a rede elétrica da cidade, os sistemas de transporte público e os serviços de comunicação urbana já existentes, conforme mencionado no capítulo 3.

A integração eficiente desses sistemas é fundamental para que a nova tecnologia seja aceita e utilizada de forma contínua pela população e pelas autoridades locais. Segundo Silverstone & Hirsch (1992), a tecnologia deve ser "domesticada" de maneira que sua presença se torne natural e indispensável no ambiente urbano.

A aceitação social da tecnologia é um dos componentes centrais da domesticação tecnológica. Para que as placas solares nas paradas de ônibus sejam vistas como uma inovação bem-sucedida, é necessário promover uma conscientização e educação pública sobre os benefícios da energia solar e a importância da sustentabilidade. Isso inclui campanhas educativas, envolvimento comunitário e feedback dos usuários para ajustar a tecnologia conforme as necessidades e expectativas locais.

7.4 DESENVOLVIMENTO DO ECOSISTEMA

A criação de paradas de ônibus sustentáveis contribui para o desenvolvimento de um ecossistema de inovação local. A criação de um ecossistema onde a inovação é incentivada e apoiada pode levar ao surgimento de novas soluções e modelos de negócios que beneficiem toda a região metropolitana (OECD, 2020).

O projeto envolve múltiplos stakeholders, incluindo o setor público, a comunidade local, empresas privadas de tecnologia e fornecedores de energia renovável, criando um ambiente colaborativo que é essencial para a inovação urbana. Algumas ações incentivadas pelo desenvolvimento do ecossistema sustentável são:

- a) Redução de Custos: Como já citado anteriormente, a energia solar reduz os custos operacionais do transporte público, liberando recursos para investimentos em outras áreas, como tecnologia e infraestrutura, contribuindo para a criação de um ambiente mais atrativo para a inovação.
- b) Atração de Talentos: O uso de tecnologias inovadoras em espaços públicos, como paradas de ônibus, atrai talentos e profissionais qualificados que buscam trabalhar em empresas com foco em sustentabilidade e tecnologia.
- c) Criação de Novos Negócios: A implementação de placas solares abre portas para a criação de novas empresas e startups que desenvolvem soluções inovadoras para o gerenciamento de energia solar, monitoramento, otimização e integração com outras tecnologias.
- d) Laboratório Vivo: As paradas de ônibus com placas solares se tornam um "laboratório vivo" para testar novas tecnologias, como sensores de monitoramento, gerenciamento de dados, e comunicação sem fio.
- e) Parcerias Acadêmicas: A implementação de projetos inovadores como este permite a colaboração entre universidades, empresas e o setor público, promovendo pesquisa e desenvolvimento de tecnologias inovadoras.

7.5 INOVAÇÃO TRANSFRONTEIRIÇA

A inovação transfronteiriça, conceito que se refere à colaboração e ao intercâmbio de conhecimentos e tecnologias entre diferentes regiões e jurisdições, assume um papel crucial no desenvolvimento urbano e regional, especialmente em áreas metropolitanas como a de São Luís.

Esta cidade, capital do Maranhão, possui uma forte interconexão com os municípios da sua região metropolitana, com muitos residentes desses municípios utilizando o transporte público fornecido pela Prefeitura e pelo Governo Estadual. A integração dessas áreas não só facilita a mobilidade, mas também cria oportunidades significativas para a implementação de soluções inovadoras que beneficiem a todos.

São Luís e seus municípios vizinhos formam um ecossistema urbano onde a mobilidade eficiente é essencial para o desenvolvimento econômico e social. A forte interligação entre essas áreas exige uma abordagem integrada para o transporte público, onde inovações como a implantação de placas solares em paradas de ônibus podem desempenhar um papel transformador. Essas soluções sustentáveis não apenas melhoram a qualidade do transporte público, mas também promovem a inclusão e a acessibilidade para todos os usuários, contribuindo para uma maior coesão regional (OECD, 2021).

A inovação transfronteiriça é impulsionada pela colaboração entre diferentes entidades e jurisdições. Em São Luís, a integração de tecnologias verdes, como a energia solar, no sistema de transporte público não apenas promove a sustentabilidade, mas também serve como um catalisador para parcerias entre a cidade e os municípios vizinhos.

A aplicação de tecnologias sustentáveis em São Luís, como as placas solares em paradas de ônibus, pode gerar uma série de benefícios socioeconômicos e ambientais para a região metropolitana. A disseminação desses projetos para os municípios vizinhos pode fortalecer o compromisso regional com a sustentabilidade e criar um modelo de desenvolvimento urbano que integra inovação e responsabilidade ambiental.

A implementação de projetos inovadores em São Luís pode fomentar uma cultura regional de inovação. A visibilidade e o sucesso dessas iniciativas sustentáveis podem inspirar outros municípios e regiões a adotar práticas semelhantes, promovendo um ambiente mais colaborativo e inovador.

7.6 INTEGRAÇÃO COM SISTEMAS ATIVOS

Atualmente, conforme discutido no Capítulo 3, a cidade de São Luís já dispõe de um Sistema de Bilhetagem Eletrônica, o qual serve como base para a adaptação e aprimoramento das paradas de ônibus inteligentes. Esse sistema não só facilita a

gestão eficiente do transporte público, como também oferece um ponto de partida robusto para a integração de novas tecnologias que visam melhorar a experiência dos usuários e a eficiência operacional.

7.6.1 INTEGRAÇÃO COM O SISTEMA DE RECONHECIMENTO FACIAL

O sistema de reconhecimento facial, já utilizado nas catracas dos ônibus para a identificação de passageiros, poderá ser integrado às paradas de ônibus inteligentes. Essa tecnologia não apenas facilitará o reconhecimento dos usuários do transporte público, mas também desempenhará um papel crucial na segurança das paradas.

As câmeras instaladas nas paradas estarão equipadas com o mesmo sistema de reconhecimento facial, permitindo a coleta de imagens e identificação de rostos em tempo real. Esses dados poderão ser compartilhados com a Secretaria de Segurança Pública e as forças policiais, fortalecendo a segurança pública ao monitorar e identificar rapidamente indivíduos suspeitos ou procurados. Essa integração tornará as paradas de ônibus não apenas mais seguras para os usuários, mas também uma ferramenta estratégica na prevenção e combate ao crime na cidade.

7.6.2 INTEGRAÇÃO COM SISTEMAS DE MONITORAMENTO DE HORÁRIO DE ÔNIBUS

Os sistemas de monitoramento de horários de ônibus, como o Moovit e o Meu Ônibus, já utilizados em São Luís, podem ser integrados aos totens disponíveis nas paradas inteligentes.

Esses totens contarão com monitores informativos que exibirão, em tempo real, a localização e os horários de chegada dos ônibus. Essa integração permitirá que os usuários tenham acesso imediato às informações de transporte, facilitando o planejamento de suas viagens e reduzindo o tempo de espera. A sincronização direta desses sistemas com os totens garante a precisão das informações, tornando a experiência dos usuários mais eficiente e confiável.

7.6.3 INTEGRAÇÃO COM O SISTEMA DE RECARGA “RECARGAPAY”

Além disso, os totens de autoatendimento nas paradas de ônibus inteligentes podem ser equipados com o sistema de recarga já utilizado pelo aplicativo RecargaPay. Esse sistema permitirá que os usuários recarreguem seus cartões de transporte diretamente nos totens, utilizando a mesma interface familiar do aplicativo.

A incorporação do RecargaPay facilita o acesso ao transporte público, permitindo a recarga rápida e segura, sem a necessidade de deslocamento a outros pontos de recarga e podendo realizar a aquisição dos créditos por meio de cartão. Essa funcionalidade é especialmente útil para usuários que desejam recarregar seus cartões de forma imediata, garantindo uma maior comodidade e contribuindo para a eficiência do sistema de bilhetagem eletrônica.

CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a viabilidade técnica, econômica e social da implementação de placas solares em paradas de ônibus em São Luís, com vistas a promover o conceito de *Smart City* na capital maranhense. A análise realizada evidenciou que a energia solar, além de ser uma fonte renovável e sustentável, pode contribuir significativamente para a redução de custos operacionais e para a melhoria da infraestrutura urbana.

A implementação das paradas solares, conforme detalhado no projeto, não só traz benefícios ambientais pela redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também melhora a qualidade dos serviços prestados aos cidadãos, como a disponibilidade de energia para a iluminação, a segurança e o carregamento de dispositivos móveis. Ademais, a integração de tecnologias de informação, como o monitoramento em tempo real de horários de ônibus e sistemas de recarga de cartões de transporte, contribui para a modernização do transporte público na cidade.

O desenvolvimento do projeto também destacou a importância da domesticação tecnológica e do desenvolvimento de um ecossistema de inovação local, com potencial para atrair novos talentos e fomentar a criação de startups focadas em soluções sustentáveis e tecnológicas.

Conclui-se que a adoção de tecnologias sustentáveis e a integração de energia solar na infraestrutura urbana são passos cruciais para a evolução de São Luís em direção a uma cidade inteligente e sustentável, capaz de atender às demandas do presente e do futuro. O projeto piloto nas paradas de ônibus da cidade poderá servir como modelo para outras iniciativas semelhantes em todo o Brasil, contribuindo para o desenvolvimento urbano sustentável em nível nacional.

REFERÊNCIAS

ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Diretrizes para o Projeto de Abrigos de Ônibus**. [S.l.]: 2018.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Primeiro trimestre de 2024 tem expansão de 2,6 GW na matriz elétrica**. [S.l.]: 12 abr. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/primeiro-trimestre-de-2024-tem-expansao-de-2-6-gw-na-matriz-eletrica>. Acesso em: 10 de abril 2024.

Batty, Michael et al. **Smart cities of the future**. The European Physical Journal Special Topics 214: 481 - 518. [S.l.]: 2012

Berker, T., Hartmann, M., Punie, Y., & Ward, K. J. **Domestication of Media and Technology**. McGraw-Hill Education. [S.l.]: 2006.

Calculadora Solar. Disponível em: <<https://calculadorasolar.aldo.com.br/>>. Acessado em: 11 ago. 2024.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **A energia solar no Brasil**. [S.l.]: 2013.

Corso, Márcia Regina Martins Martinez; Paseto, Luísa; Carvalho, Andre Carlos Ponce de Leon Ferreira de. **Inteligência artificial, urbanização e cidades**. Revista USP, n. 141, p. 81-90, 2024.

Costa, A. F., et al. **Análise do Potencial dos Módulos Bifaciais na Geração de Energia Solar no Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, 8(2), 101-114. [S.l.]: 2019.

Costa, R. P., Silva, A. F., & Melo, J. A. **Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos em Ambientes Costeiros: Um Estudo de Caso em São Luís – MA**. Revista Brasileira de Energia Solar, 8(1), 85-97. [S.l.]: 2022.

Da Silva, M. S. et al. **Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica**. Mythos (Interdisciplinary), 14(2), 51-61. [S.l.]: 2020.

DFTTrans. **Pontos de Parada de Ônibus**. Transporte Urbano de Brasília. Brasília: 2020.

EKKOGREEN. **Quanto Custa Instalar Energia Solar? (Preço 2023)**. Disponível em: <https://ekkogreen.com.br/energia-solar-preco/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

Entenda a relação custo-benefício da energia solar - Solarprime. Disponível em: <<https://solarprime.com.br/entenda-a-relacao-custo-beneficio-da-energia-solar/>>. Acesso em: 26 jun. 2024.

European Commission. (s.d.). **Study on Photovoltaic Panels Supplementing the Impact Assessment for a Recast of the WEEE Directive**. Disponível em:

<https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/weee/Study%20on%20PVs%20Bio%20final.pdf>. Acesso em: 9 maio 2024.

Fraidendraich, N. & Lyra, F. (s.d.). **Energia solar: fundamentos e tecnologias de conversão heliotérmica e fotovoltaica**. Recife: Ed. Universitária da UFPE. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/9286/1/arquivo2701_1.pdf.

GREEN COAST. **5 Key Differences Between On-Grid, Off-Grid, and Hybrid Solar Systems**. Disponível em: <https://greencoast.org/on-grid-vs-off-grid-solar-systems/>. Acesso em: 15 março 2024.

GREENER. **ESTUDO ESTRATÉGICO 2024 – Referente ao ano de 2023 – GERAÇÃO DISTRIBUÍDA** – Mercado Fotovoltaico – março de 2024. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudos/>. Acesso em: 27 jun. 2024.

IPPUR/UFRJ (2019). Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Glossário de Transportes. 2019.

IRENA (2023). International Renewable Energy Agency. Renewable energy statistics 2023. Abu Dhabi.

Jain, A. K. et al. (2011). **Face Recognition: A Survey**. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 33(10), 1746-1765.

Jasanoff, S., & Kim, S.-H. (2015). **Dreamscapes of Modernity: Sociotechnical Imaginaries and the Fabrication of Power**. University of Chicago Press.

José, R.; Rodrigues, H. A. **Review on Key Innovation Challenges for Smart City Initiatives**. *Smart Cities* 2024, 7, 141–162. 2024

Máquinas para recarga de cartões da Riocard nos terminais agora aceitam cartão de débito e moedas | Tribuna de Petrópolis. Disponível em: <https://tribunadepetropolis.com.br/noticias/maquinas-para-recarga-de-cartoes-da-riocard-nos-terminais-agora-aceitam-cartao-de-debito-e-moedas/>. Acesso em: 27 jun. 2024.

MME - Ministério de Minas e Energia; **Empresa de Pesquisa Energética – EPE. (2021). Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Brasília: MME/EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em: 20 mar. 2024.

Moovit: Aplicativos Personalizados. Disponível em: <<https://moovit.com/pt/maas-solutions-pt/branded-apps/>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

Moraes, F. F. & Gomes Silva, J. P. **Estudo de eficiência energética de painéis fotovoltaicos fixos e móveis**. [S.l.]: 2018.

Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). **Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions**. *Proceedings of the 12th Annual International*

NEIROTTI, Paolo et al. **Current trends in smart city initiatives: some stylised facts.** Cities, v. 38, p. 25-36, jun. 2014.

NEOELECTRIC. **Sistema off grid: o que é, como funciona e vale a pena?** Disponível em: <https://www.neoelectric.com.br/post/sistema-off-grid#:~:text=Em%20m%C3%A9dia%2C%20voc%C3%AA%20pode%20gastar%20cerca%20de%20R%24>. Acesso em: 27 jun. 2024.

Oliveira, M. R., et al. (2020). **Potencial Solar Fotovoltaico no Estado do Maranhão.** Revista de Energia Solar do Brasil, 5(1), 45-67.

OLIVEIRA, Othon Garcia; OLIVEIRA, Rafael Henrique; GOMES, Renato Oliveira. **Energia solar: um passo para o crescimento.** REGRAD-Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM-ISSN 1984-7866, v. 10, n. 01, p. 377-389, 2017.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020). **Innovating Together: Regional Development and Innovation Policies.** OECD.

Oudshoorn, N., & Pinch, T. (2003). **How Users Matter: The Co-Construction of Users and Technology.** MIT Press.

PRANDI, J. **Mapas de São Luis - MA.** Disponível em: <https://mapasblog.blogspot.com/2012/06/mapas-de-sao-luis-ma.html>. Acesso em: 29 ago. 2024.

Qual a diferença entre um sistema OFF GRID e ON GRID? Disponível em: <https://www.evs.eng.br/noticias/qual-a-diferenca-entre-um-sistema-off-grid-e-on-grid/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

Rogers, E. M. (2003). **Diffusion of Innovations (5th ed.).** Free Press.

Santos, A. C. S. et al. (2010). **Os benefícios do uso de painéis solares para o meio ambiente.** **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense,** 1, 373-376. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/1848/1026>. Acesso em: 9 maio 2024.]

Silva, E. B., & Moussalem, R. D. (2020). **A gestão de cidades inteligentes: desafios e oportunidades.** Revista de Gestão Pública e Inovação, 7(2), 243-257.

Silva, T. C., et al. (2021). **Eficiência e Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos em Regiões Tropicais.** Journal of Renewable Energy Research, 9(3), 233-249.

Silverstone, R., & Hirsch, E. (1992). **Consuming Technologies: Media and Information in Domestic Spaces.** Routledge.

SIQUEIRA, J. G. COSTA. **O TRANSPORTE PÚBLICO E OS IMPACTOS NA MOBILIDADE URBANA NA ILHA DO MARANHÃO.** IV JORNADA INTERNACIONAL DE POLÍTICAS PÚBLICAS, 2019.

SMTT (Linhas Urbanas), **São Luís – ônibus Horários, Rotas e Atualizações**. Disponível em: <https://moovitapp.com/index/pt-br/transporte_p%C3%BAblico-lines-Sao_Luis-4043-909237>. Acesso em: 17 jun. 2024.

SOLAR. **Energia solar on-grid ou off-grid? Qual devo escolher?**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-on-grid-ou-off-grid-qual-devo-escolher>. Acesso em: 15 março 2024.

SOLAR. **Painel solar: preços e custos de instalação | Portal Solar – orçamento de energia solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-precos-custos-de-instalacao.html>.

SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acesso em: 10 fevereiro 2024.

Solar resource maps & GIS data for 200+ countries | Solargis. Disponível em: <<https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=brazil>>. Acesso em: 30 jul. 2024.

SOPRANO. **Placa solar: entenda suas funções e principais vantagens. Soprano.com.br**. Disponível em: <https://www.soprano.com.br/blog/placa-solar-entenda-suas-funcoes-e-principais-vantagens#:~:text=Tamb%C3%A9m%20conhecida%20como%20painel%20ou,concession%C3%A1rias%20por%20meio%20das%20hidrel%C3%A9tricas>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SOUSA, Bruno Leonardo Maciel de. **Transporte coletivo público na cidade de São Luís - MA: comparações pré e pós-implantação do SIT - Sistema Integrado de Transportes**. São Carlos: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

Souza, R. D. (2014). **Os sistemas de energia solar fotovoltaica**. Ribeirão Preto: Blue Sol.

United Nations. (2015). **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Acesso em: 13 set. 2024.

United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). **Sustainable Urban Development: Innovations and Best Practices**. UNEP.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.

WEISS, Marcos Cesar; BERNARDES, Roberto Carlos; CONSONI, Flavia Luciane. **Cidades inteligentes: a aplicação das tecnologias de informação e comunicação para a gestão de centros urbanos**. Revista Tecnologia e Sociedade, v. 9, n. 18, 2013.

WEG. **Sistema Fotovoltaico on-grid e off-grid: saiba as diferenças e as vantagens de cada tipo**. Disponível em: <https://www.weg.net/solar/blog/sistema->

fotovoltaiico-on-grid-e-off-grid-saiba-as-diferencas-e-as-vantagens-de-cada-tipo/.
Acesso em: 15 março 2024.

Wu, L. et al. (2005). **Silicon-based solar cell system with a hybrid PV module**. Solar Energy Materials & Solar Cells, 87,