

ETEC GUARACY SILVEIRA

ELETROELETRÔNICA

JULIO CESAR MENDES VELOZO

RM 224584

MARCOS DA SILVA ALENCAR

RM 224648

REGINALDO BISPO DE PAULA

224549

RODRIGO AZEVEDO FERNANDES DA SILVA

224296

ENERGIA SOLAR EM ESTÁDIO DE FUTEBOL E ESTACIONAMENTOS

SÃO PAULO – SP

2025

JULIO CESAR MENDES VELOSO

RM 224584

MARCOS DA SILVA ALENCAR

RM 224648

REGINALDO BISPO DE PAULA

224549

RODRIGO AZEVEDO FERNANDES DA SILVA

RM 224296

ENERGIA SOLAR EM ESTÁDIO DE FUTEBOL E ESTACIONAMENTOS

Trabalho apresentado a ETEC GUARACY
SILVEIRA como requisito para a conclusão
do curso de ELETROELETRÔNICA.

Orientador: Prof. Luis e Eduardo Diniz.

SÃO PAULO – SP

2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. (ASSINATURA)

Prof. (ASSINATURA)

Prof. (ASSINATURA)

Prof. (ASSINATURA)

DEDICATÓRIA

DEDICO ESTE TRABALHO PARA AS
FAMILIAS DE TODOS OS PARTICIPANTES
DO GRUPO, AOS NOSSOS AMIGOS
PRÓXIMO E AOS PROFESSORES QUE
AJUDARAM NA CONCLUSÃO DO MESMO.

AGRADECIMENTO

AGRADECEMOS PRIMEIRAMENTE A DEUS POR NOS DAR SABEDORIA, FORÇA, FOCO E ÂNIMO DURANTE ESSE 1 ANO E MEIO DE CURSO, AOS PROFESSORES DA ETEC POIS SEM ELES NÃO TERIAMOS CHEGADO ATÉ AQUI E A DIREÇÃO DA ESCOLA, POIS SE NÃO FOSSEM ELES O CURSO NÃO SERIA CONTINUADO.

RESUMO

A crescente busca por sustentabilidade tem impulsionado a adoção de energias renováveis em grandes infraestruturas, como estádios de futebol e seus estacionamentos. Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) analisa a viabilidade da aplicação da energia solar fotovoltaica nessas duas áreas, utilizando a maquete do Estádio Nilton Santos (Engenhão) como prova de conceito didática de um sistema off-grid. O trabalho revisa os conceitos fundamentais da tecnologia fotovoltaica, abordando sua aplicação tanto nas coberturas dos estádios quanto na forma de carports solares nos estacionamentos, que além de gerarem energia, fornece sombra para os veículos. Para a prova de conceito, foram dimensionados os componentes da maquete (placa, bateria 12V, regulador de tensão, arduino, matriz de led servo motor e LEDs), demonstrando que o sistema off-grid é tecnicamente viável para fins didáticos. A análise discute a transição para um sistema on-grid em escala real, destacando a alta viabilidade técnica e os significativos benefícios ambientais e de imagem institucional. Conclui-se que a maquete cumpre seu papel de introduzir os princípios da tecnologia, enquanto a aplicação em escala real, combinando a geração no estádio e no estacionamento, representa uma solução sustentável e estratégica para o consumo energético do complexo.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica; Estádio de Futebol; Sustentabilidade; Sistema Off-Grid; Maquete Didática;

ABSTRACT

The growing pursuit of sustainability has driven the adoption of renewable energy in large infrastructures, such as football stadiums and their parking lots. This Final Course Project (TCC) analyzes the feasibility of applying photovoltaic solar energy in these two areas, using a scale model of the Nilton Santos Stadium (Engenhão) as a didactic proof of concept for an off-grid system. The work reviews the fundamental concepts of photovoltaic technology, addressing its application both in stadium roofs and in the form of solar carports in parking lots, which, in addition to generating energy, provide shade for vehicles. For the proof of concept, the components of the model (panel, 12V battery, voltage regulator, Arduino, LED matrix, servo motor, and LEDs) were dimensioned, demonstrating that the off-grid system is technically feasible for didactic purposes. The analysis discusses the transition to a real-scale on-grid system, highlighting the high technical feasibility and the significant environmental and institutional image benefits. In conclusion, the scale model fulfills its role of introducing the principles of the technology, while the full-scale application, combining generation in the stadium and in the parking lot, represents a sustainable and strategic solution for the complex's energy consumption.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy; Football Stadium; Sustainability; Off-Grid System; Didactic Model;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 OBJETIVOS GERAIS	11
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	12
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ENERGIA SOLAR	12
2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICOS (ON-GRID E OFF-GRID)	12
2.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA OFF-GRID	13
2.4 APLICAÇÕES DE ENERGIA SOLAR EM ESTÁDIOS E SEUS ESTACIONAMENTOS	14
3. ESTUDO DE CASO: O COMPLEXO ESTÁDIO NILTON SANTOS E A MAQUETE.....	15
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTÁDIO E SEU POTENCIAL ENERGÉTICO	15
3.2 DESCRIÇÃO DA MAQUETE	15
3.3 DIMENSIONAMENTO E JUSTIFICATIVAS DOS COMPONENTES	16
3.3.1 CARGAS (SERVO MOTOR E LEDS)	16
3.3.2 BATERIA 12V.....	17
3.3.3 PLACA FOTOVOLTAICA	18
3.3.4 REGULADOR DE TENSÃO	19
3.4 METODOLOGIA DE MONTAGEM E TESTES	19
4. ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1 PROVA DE CONCEITO	20

4.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA APLICAÇÃO EM ESCALA REAL	21
4.3 BENEFÍCIOS DA SUSTENTABILIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS	22
4.4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DO PROJETO	22
5. CONCLUSÃO	24
5.1 RETOMADA DOS OBJETIVOS E SÍNTESE DOS RESULTADOS	24
5.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	24
REFERÊNCIAS.....	25

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação global com as mudanças climáticas e a busca por fontes de energia limpa têm impulsionado a adoção de práticas sustentáveis em diversos setores da sociedade. O esporte, com sua alta capacidade de mobilização e visibilidade, emerge como um campo estratégico para a promoção da sustentabilidade. Grandes infraestruturas, como os complexos esportivos que incluem estádios e seus amplos estacionamentos, possuem um alto consumo energético. Ao mesmo tempo, oferecem vastas áreas tanto nas coberturas das arenas quanto nos espaços para veículos que podem ser aproveitadas para a instalação de sistemas de geração de energia renovável, como a solar fotovoltaica.

A implementação de carports solares nos estacionamentos, por exemplo, não só gera energia limpa, mas também oferece sombra para os veículos e pode alimentar estações de carregamento para carros elétricos, criando um ecossistema energético completo e inteligente.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Neste contexto, o presente trabalho busca responder à seguinte questão: Como a energia solar fotovoltaica pode ser aplicada em estádios de futebol e seus estacionamentos, e qual o papel de um sistema off-grid didático na demonstração dos princípios básicos dessa tecnologia?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

Analisar a viabilidade da aplicação da energia solar fotovoltaica em estádios de futebol e seus estacionamentos, utilizando a maquete do Estádio Nilton Santos (Engenhão) como prova de conceito didática de um sistema off-grid.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1 - Revisar os conceitos fundamentais da energia solar fotovoltaica, incluindo a aplicação de carports solares, e as diferenças entre sistemas on-grid e off-grid.

2 - Dimensionar e justificar os componentes (placa, bateria, regulador, cargas) do sistema off-grid da maquete, representando a geração combinada do complexo.

3 - Demonstrar o funcionamento do ciclo de geração, armazenamento e consumo de energia solar por meio da maquete.

4 - Discutir os benefícios ambientais, econômico e as limitações da aplicação da energia solar em larga escala em complexos esportivos (estádio e estacionamento).

1.3 JUSTIFICATIVA

A relevância deste trabalho reside em sua dupla contribuição. Academicamente, ele integra a teoria do dimensionamento de sistemas fotovoltaicos com uma aplicação prática e didática, o que é valioso para a formação em áreas de engenharia e sustentabilidade. Socialmente, ao utilizar o Estádio Nilton Santos como por exemplo e propor a otimização do estacionamento, o trabalho contribui para a

conscientização sobre a importância da transição energética e do uso de tecnologias limpas em grandes centros urbanos, transformando áreas de grandes circulações em usinas de energia limpa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ENERGIA SOLAR

A energia solar fotovoltaica é a conversão direta da luz solar em eletricidade, utilizando o efeito fotovoltaico. Este fenômeno ocorre em materiais semicondutores, como o silício, que compõem as células fotovoltaicas. Quando a luz solar (fótons) atinge a célula, ela libera elétrons, gerando uma corrente elétrica contínua (CC). A quantidade de energia gerada depende diretamente da irradiância solar (potência da radiação solar por unidade de área) e da insolação (tempo de exposição ao sol) na região de instalação.

A quantidade de energia gerada depende diretamente da irradiância solar (potência da radiação solar por unidade de área) e da insolação (tempo de exposição ao sol) na região de instalação.

2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICOS (ON-GRID E OFF-GRID)

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em dois tipos principais, dependendo de sua conexão com a rede elétrica da concessionária:

Característica	Sistema On-Grid (Conectado à Rede)	Sistema Off-Grid (Isolado)
Conexão	Conectado à rede pública de distribuição.	Não conectado à rede pública.
Armazenamento	Não utiliza baterias. A rede funciona como “banco de energia” (Net Metering).	Utiliza baterias para armazenar o excedente de energia.
Componentes Chave	Painéis, Inversor On-Grid, Medidor Bidirecional.	Painéis, Controlador de Carga , Banco de Baterias , Inversor Off-Grid (opcional).
Aplicação Típica	Residências, comércios e indústrias urbanas.	Locais remotos, sistemas de emergência, maquetes didáticas .
Vantagem	Maior eficiência, menor custo inicial.	Autonomia total, ideal para locais sem acesso à rede.

O sistema off-grid é o mais adequado para aplicações onde a autonomia energética é essencial ou onde a conexão à rede é inviável, como é o caso da maquete proposta neste trabalho.

2.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA OFF-GRID

Um sistema fotovoltaico isolado (off-grid) é composto por três elementos principais, além dos painéis solares:

1 - **Painel Fotovoltaico**: Responsável por captar a luz solar e convertê-la em energia elétrica.

2 - **Controlador de Carga**: Dispositivo essencial que regula a tensão e a corrente que saem do painel para carregar a bateria, protegendo-a contra sobrecarga e descarga profunda, o que prolonga sua vida útil.

3 - **Banco de Baterias**: Armazena a energia elétrica gerada para uso posterior, especialmente durante a noite ou em períodos de baixa irradiação solar. A bateria de 12V mencionada no projeto da maquete é o componente central de armazenamento.

4 - Inversor (Opcional): Converte a corrente contínua (CC) armazenada na bateria em corrente alternada (CA), necessária para alimentar a maioria dos eletrodomésticos. No caso da maquete, se os LEDs e o servo motor operarem em CC, o inversor pode ser dispensado.

2.4 APLICAÇÕES DE ENERGIA SOLAR EM ESTÁDIOS E SEUS ESTACIONAMENTOS

A aplicação de energia solar em grandes estruturas, como complexos esportivos, tem se tornado uma tendência global, impulsionada pela busca por sustentabilidade e redução de custos operacionais. Essa abordagem aproveita de forma inteligente duas áreas distintas: as coberturas dos estádios e as vastas extensão dos estacionamentos.

Estádios como o Maracanã (Rio de Janeiro) e diversas arenas na Europa e nos Estados Unidos já implementaram sistemas fotovoltaicos, geralmente do tipo on-grid, para suprir parte de sua demanda energética. De forma complementar, a instalação de carports solares nos estacionamentos transforma essas áreas, antes subutilizadas, em usinas de energia. Esses projetos demonstram que a combinação das grandes coberturas dos estádios com as estruturas de sombreamento fotovoltaico nos estacionamentos otimiza potencial de geração, transformando toda a infraestrutura esportiva em um ativo energético.

A relevância do tema reside na capacidade de transformar o complexo (estádio e estacionamento) em um símbolo de sustentabilidade, alinhando o esporte, que atrai grandes públicos, com a conscientização ambiental e a inovação tecnológica.

3. ESTUDO DE CASO: O COMPLEXO ESTADIO NILTON SANTOS E A MAQUETE

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTÁDIO E SEU POTENCIAL ENERGÉTICO

O Estádio Olímpico Nilton Santos, popularmente conhecido como Engenhão, é a arena onde o Botafogo Futebol e Regatas manda seus jogos. Localizado no Rio de Janeiro, o complexo possui duas áreas com enorme potencial para a geração de energia solar: a grande área de cobertura da arena e o amplo estacionamento adjacente. Em um projeto de escala real, a cobertura representaria um local ideal para a aplicação de painéis fotovoltaico, enquanto o estacionamento seria perfeito para a implementação de carports solares, que geram energia ao mesmo tempo que fornecem sombra para os veículos.

A escolha do Estádio Nilton Santos como base para a maquete didática serve para contextualizar a aplicação da tecnologia em uma infraestrutura esportiva de grande visibilidade. Embora o projeto real de um estádio e seu estacionamento envolva um sistema on-grid de grande porte, a maquete foca na demonstração do princípio de funcionamento de um sistema off-grid (isolado). Este modelo simplificado é fundamental para a compreensão dos componentes básicos de geração e armazenamento de energia solar, representando de forma didática o potencial energético de todo o complexo.

3.2 DESCRIÇÃO DA MAQUETE

O sistema da maquete é composto pelos seguintes elementos:

- 1 - Geração: Placa Fotovoltaica (Miniatura):
- 2 - Controle: Regulador de Tensão (Controlador de Carga em miniatura).
- 3 - Armazenamento: 1 Bateria 12V.

4 - Cargas: Servo Motor (simulando, um sistema de abertura/fechamento de cancelas do estacionamento) e LEDs (simulando a iluminação interna e externa do estádio).

5 – Arduino: Programado para exibir informações na Matriz de LED.

6 – Matriz de LED: Exibindo informações em forma escrita para o público.

7 – Complexo esportivo Nilton Santos (Engenhão).

O objetivo principal da maquete é ilustrar o ciclo completo de geração, controle e armazenamento, destacando a função de cada componente.

3.3 DIMENSIONAMENTO E JUSTIFICATIVAS DOS COMPONENTES

O dimensionamento de um sistema off-grid, mesmo em escala reduzida, segue a lógica de equilibrar a energia gerada (placa) com a energia consumida (cargas) e a capacidade de armazenamento (bateria).

3.3.1 CARGAS (SERVO MOTOR E LEDS)

Para o dimensionamento, é necessário estimar o consumo total das cargas (servo motor e LEDs). Em projetos didáticos, o consumo é geralmente baixo, mas serve como base para o cálculo.

1 - LEDs: Um LED de baixo consumo (típico em maquetes) consome cerca de 10 mA (0,01A). Assumindo que a maquete utilize LEDs para iluminação, o consumo total seria de $10 \times 0,01 \text{ A} = 0,1 \text{ A}$.

2 - Um servo motor de pequeno porte pode consumir até 1000 mA (1A) em pico de operação. No entanto, como ele opera de forma intermitente, o consumo médio é menor.

Cálculo da Carga Total Estimada (em Ampère-hora - Ah):

Assumindo um tempo de operação diário de horas para os LEDs e, hora para o servo motor (em pico):

Componente	Corrente (A)	Tempo de Uso Diário (h)	Consumo Diário (Ah)
LEDs (10 unidades)	0,1 A	2 h	0,2 Ah
Servo Motor	1,0 A	0,5 h	0,5 Ah
Carga Total Diária	-	-	0,7 Ah

3.3.2 BATERIA 12V

A bateria deve ter capacidade suficiente para suprir a carga diária e oferecer autonomia em dias sem sol. Em maquetes, a autonomia pode ser simplificada.

Justificativa: A bateria de 12V é a tensão padrão mais comum em sistemas off-grid de pequeno porte, sendo facilmente encontrada e compatível com a maioria dos componentes eletrônicos didáticos.

Dimensionamento Simplificado da Bateria:

Para garantir uma autonomia de 3 dias sem sol e limitar a descarga da bateria a 50% (para prolongar sua vida útil), o cálculo seria:

$$C_{bateria} = \frac{\text{Carga Diária} \times \text{Autonomia}}{\text{Profundidade de Descarga (PD)}}$$

$$C_{bateria} = \frac{0,7 \text{ Ah} \times 3 \text{ dias}}{0,5} = 4,2 \text{ Ah}$$

Uma bateria de 5 Ah a 7 Ah (12V) seria adequada para o projeto, garantindo a operação contínua da maquete para fins de demonstração.

3.3.3 PLACA FOTOVOLTAICA

A placa fotovoltaica deve gerar energia suficiente para recarregar a bateria e suprir a carga diária.

Justificativa: A placa fotovoltaica é o elemento que converte a luz solar em eletricidade, sendo o coração do sistema.

Dimensionamento Simplificado da Placa:

A potência da placa (Wp) é calculada com base na carga diária e no número de horas de sol pleno (HSP) da região (assumindo 4 horas de HSP para o Rio de Janeiro):

$$P_{placa} = \frac{\text{Carga Diária} \times V_{sistema}}{\text{HSP} \times \text{Fator de Perda}}$$

$$P_{placa} = \frac{0,7 \text{ Ah} \times 12 \text{ V}}{4 \text{ h} \times 0,7} \approx 3 \text{ Wp}$$

Uma mini-placa fotovoltaica com potência entre 5 Wp e 10 Wp (12V) seria mais do que suficiente para recarregar a bateria e demonstrar o funcionamento do sistema com eficiência.

3.3.4 REGULADOR DE TENSÃO

Justificativa: O regulador de tensão (controlador de carga) é crucial para proteger a bateria, evitando sobrecarga e descarga excessiva, o que é um ponto didático importante sobre a gestão de energia em sistemas off-grid.

Dimensionamento do Regulador:

O regulador deve suportar a corrente máxima gerada pela placa. Para uma placa de 10 Wp em 12V, a corrente máxima é de $I = P/V = 10 \text{ W}/12 \text{ V} \approx 0,83 \text{ A}$. Um regulador de carga de 5 A é facilmente encontrado e oferece uma margem de segurança adequada.

3.4 METODOLOGIA DE MONTAGEM E TESTES

A montagem da maquete deve seguir a sequência lógica de um sistema off-grid:

- 1 - Conexão da Placa Fotovoltaica ao Regulador de Tensão.
- 2 - Conexão da Bateria V ao Regulador de Tensão.
- 3 - Conexão das Cargas (LEDs e Servo Motor) à saída de carga do Regulador.

Os testes devem incluir a medição da tensão da bateria em diferentes condições (sol pleno, sombra) para demonstrar a função do regulador de carga e a capacidade do sistema de alimentar as cargas.

4. ANÁLISE DE RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 PROVA DE CONCEITO

O sistema fotovoltaico off-grid da maquete foi projetado para operar de forma autônoma, demonstrando o ciclo completo de geração, armazenamento e consumo de energia solar.

Resultados Esperados:

1 - Geração e Armazenamento: Durante a exposição à luz solar, a mini-placa fotovoltaica deve gerar corrente contínua (CC), que será regulada pelo controlador de carga e armazenada na bateria 12V. O regulador deve proteger a bateria contra sobrecarga, interrompendo o fluxo de energia quando a carga máxima for atingida.

2 - Funcionamento das Cargas: O sistema deve ser capaz de alimentar as cargas (LEDs e Servo Motor) diretamente da bateria, mesmo na ausência de luz solar (noite ou dias nublados), comprovando a função de armazenamento do sistema off-grid.

3 - Demonstração Didática: O acionamento dos LEDs (iluminação) e do servo motor (movimento) a partir da energia solar armazenada serve como uma prova de conceito eficaz, ilustrando como a energia limpa pode ser utilizada para suprir demandas elétricas específicas em uma estrutura, mesmo que em escala reduzida.

A maquete, portanto, cumpre seu papel didático ao validar o princípio de funcionamento de um sistema fotovoltaico isolado, essencial para a compreensão da tecnologia.

4.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA APLICAÇÃO EM ESCALA REAL

A transição do conceito demonstrado na maquete para a aplicação em escala real no complexo esportivo exige uma mudança de paradigma do sistema off-grid para o on-grid (conectado à rede).

Característica	Maquete (Off-Grid)	Estádio (Escala Real - On-Grid)
Objetivo	Demonstração didática e autonomia de cargas específicas.	Geração de energia para consumo próprio e injeção de excedente na rede.
Componentes	Placa, Bateria, Regulador, Cargas CC.	Painéis de alta potência, Inversores On-Grid, Medidor Bidirecional.
Tensão	12V (CC)	220V/380V (CA)
Potencial	Baixo (Wp)	Alto (MWp)
Viabilidade	Alta (para fins didáticos)	Alta (devido à grande área de cobertura e alto consumo)

A viabilidade técnica para a instalação de um sistema fotovoltaico no Estádio Nilton Santos é alta, seguindo o exemplo de outras arenas no Brasil e no mundo. A análise deve considerar duas frentes de geração de energia que operam em sinergia:

1 – A cobertura do estádio: A grande área de cobertura do estádio é um ativo subutilizado que pode ser transformado em uma usina geradora de energia.

2 – O estacionamento: A área do estacionamento é ideal para a instalação de carports solares, estruturas que, além de gerar uma quantidade significativa de energia, que proporcionam sombra para os veículos e podem alimentar futuras estações de recarga para carros elétricos.

A implementação de um sistema on-grid integrado permitiria que toda energia gerada tanto pela cobertura do estádio quanto pelos carports do estacionamento fosse consumida diretamente pelo complexo, reduzindo drasticamente a conta de luz. O

excedente energético seria injetado na rede da concessionária, gerando créditos através do sistema de compensação de energia elétrica. Essa abordagem de geração dupla não apenas maximiza o aproveitamento do espaço, mas também fortalece a resiliência e autossuficiência energética do estádio.

4.3 BENEFÍCIOS DA SUSTENTABILIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS

A adoção da energia solar em estádios de futebol vai além da economia financeira, posicionando a instituição (Botafogo) e o local como promotores da sustentabilidade.

1 - Redução da Pegada de Carbono: A geração de eletricidade a partir do sol é limpa e não emite gases de efeito estufa, contribuindo diretamente para a mitigação das mudanças climáticas.

2 - Marketing Verde e Imagem Institucional: Complexos esportivos servem como modelos de responsabilidade ambiental, melhorando a imagem do clube e atraindo patrocinadores alinhados com valores ecológicos.

3 - Conscientização Pública: A visibilidade da tecnologia em um local de grande afluência de público (o estádio) aumenta a conscientização sobre a importância das energias renováveis.

4 - Uso Eficiente de Recursos: O aproveitamento da área de cobertura para geração de energia é um exemplo de uso eficiente do espaço e dos recursos naturais disponíveis (luz solar).

4.4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DO PROJETO

A principal limitação do projeto da maquete é a sua escala e tipologia. O sistema off grid é adequado para a demonstração didática, mas não representa a solução ideal para a demanda energética de um estádio real, que requer um sistema on-grid de alta potência.

Outros desafios na aplicação em escala real incluem:

1 - **Custo Inicial:** O investimento inicial para a instalação de um sistema fotovoltaico de grande porte é elevado, embora o retorno financeiro (payback) seja garantido a médio e longo prazo.

2 - **Manutenção:** A manutenção e limpeza dos painéis em uma área de cobertura tão extensa exigem planejamento e logística específicos.

3 - **Integração Estrutural:** A estrutura do telhado deve ser avaliada para suportar o peso adicional dos painéis e garantir a segurança da instalação.

Apesar das limitações, a maquete cumpre a função de introduzir os conceitos básicos e justificar a relevância da energia solar como uma solução viável e sustentável para o Estádio Nilton Santos.

5. CONCLUSÃO

5.1 RETOMADA DOS OBJETIVOS E SÍNTESE DOS RESULTADOS

O objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso foi analisar a viabilidade da aplicação da energia solar fotovoltaica em estádios de futebol, utilizando a maquete do Estádio Nilton Santos como prova de conceito didática.

Os objetivos específicos foram plenamente alcançados:

1 - A revisão teórica estabeleceu a base conceitual, diferenciando os sistemas on-grid e off-grid e detalhando os componentes essenciais para o projeto da maquete.

2 - O dimensionamento técnico demonstrou que os componentes fornecidos (placa, bateria V, regulador, servo motor e LEDs) são adequados para criar um sistema off-grid funcional, com uma carga diária estimada de 0,7 Ah e a necessidade de uma mini-placa de aproximadamente 3 Wp para recarga.

3 - A análise de resultados confirmou que a maquete cumpre o papel de prova de conceito, ilustrando o ciclo de energia solar.

4 - A discussão validou a alta viabilidade técnica da aplicação em escala real no estádio, ressaltando que a solução ideal seria um sistema on-grid, e destacou os significativos benefícios ambientais e de imagem institucional.

5.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

A principal contribuição deste TCC é a integração de um projeto prático de engenharia (a maquete off-grid) com a discussão de um tema de grande relevância para a sustentabilidade urbana (a aplicação em estádios). O trabalho serve como um material didático que simplifica a complexidade dos sistemas fotovoltaicos, tornando-os acessíveis para demonstração e estudo.

REFERENCIAS

1. WEG. Sistema Fotovoltaico on-grid e off-grid: saiba as diferenças [Online]. Disponível em: [https://www.weg.net/solar/blog/sistema-fotovoltaico-on-grid-e-off grid-saiba-as-diferencas-e-as-vantagens-de-cada-tipo/](https://www.weg.net/solar/blog/sistema-fotovoltaico-on-grid-e-off-grid-saiba-as-diferencas-e-as-vantagens-de-cada-tipo/). Acesso em: 01/09/2025.
2. IEE. Sistema Fotovoltaico: o que é e como funciona na prática. [Online]. Disponível em: [https://www.iee.usp.br/noticia/sistema-fotovoltaico-o-que-e-e-como-funciona-na pratica/](https://www.iee.usp.br/noticia/sistema-fotovoltaico-o-que-e-e-como-funciona-na-pratica/). Acesso em: 12/092025.
3. Sunergia: oque é sistemas isolados e conectados à rede. [Online]. Disponível em: <https://sunergia.com.br/blog/o-que-e-sistemas-iisolados-e-conectados-a-rede/>. Acesso em: 17/09/2025.
4. Portal Solar. Energia solar on-grid ou off-grid? Qual devo escolher? [Online]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-on-grid-ou-off-grid-qual-devo-escolher>. Acesso em: 30/09/2025.
5. BYD Energia. Sistema Solar Off Grid: como funciona e principais vantagens. [Online]. Disponível em: <https://bydenergia.com/sistema-off-grid-energia-solar/>. Acesso em: 04/102025.
6. HCC Energia Solar. Descubra como a energia solar funciona em estádios de futebol [Online]. Disponível em: <https://hccenergiasolar.com.br/ descubra-como-a-energia-solar funciona-em-estadios-de-futebol/>. Acesso em: 10/10/2025.

7. LA Solar. Instalações esportivas abastecidas por energia solar. [Online]. Disponível em: <https://lasolar.com.br/de-paris-e-pequim-aos-estadios-brasileiros-7-instalacoes-esportivas-abastecidas-por-energia-solar/>. Acesso em: 15/10/2025.
8. Canal Solar. Metade dos estádios da Eurocopa contam com energia solar. [Online]. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/metade-estadios-eurocopa-energia-solar/>. Acesso em: 28/10/2025.
9. Wikipedia. Estádio Nilton Santos. [Online]. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Estádio_Olímpico_Nilton_Santos](https://pt.wikipedia.org/wiki/Est%C3%A1dio_Ol%C3%ADmpico_Nilton_Santos) Acesso em: 31/10/2025.
10. SINAENCO. A energia solar nos estádios de futebol do Brasil. [Online]. Disponível em: <https://sinaenco.com.br/noticias/energia-solar-nos-estadios-de-futebol-do-brasil/>. Acesso em: 02/11/2025.
11. Solar dos Pomares. Como Dimensionar Sistema Off Grid: Guia Completo. [Online]. Disponível em: <https://solardospomares.com.br/como-dimensionar-sistema-off-grid/>. Acesso em: 07/11/2025.
12. Arduino Docs. Power Consumption on Arduino Boards. [Online]. Disponível em: [<https://docs.arduino.cc/learn/electronics/power-consumption/>. Acesso em: 8/11/2025.
13. Portal Energia. Dimensionamento do controlador de carga para um [Online]. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/controlador-carga-sistema-solar/>. Acesso em: 15/11/2025.

14. Blog Minha Casa Solar. estádios no Brasil com energia solar. [Online]. Disponível em: <https://blog.minhacasasolar.com.br/estadios-no-brasil-energia-solar/>. Acesso em: 20/11/2025.