

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO (CTU)**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE DE CAPACIDADE DE GERAÇÃO E DE APROVEITAMENTO DE  
MICROREDE BASEADA EM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL EM TERESINA - PI**

**Marcos Gabriel Rebelo Carvalho e Matheus dos Santos Oliveira**

**ORIENTADOR(A): PROF. ME. ATOS APOLLO SILVA BORGES**

Teresina – PI  
2025

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO (CTU)**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE DE CAPACIDADE DE GERAÇÃO E DE APROVEITAMENTO DE  
MICROREDE BASEADA EM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL EM TERESINA - PI**

**Marcos Gabriel Rebelo Carvalho e Matheus dos Santos Oliveira**

Trabalho apresentado ao Bacharelado de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual do Piauí, como requisito necessário à conclusão do Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientador: Prof. Me. Atos Apollo Silva Borges.

Teresina – PI

2025

**ANÁLISE DE CAPACIDADE DE GERAÇÃO E DE APROVEITAMENTO DE  
MICROREDE BASEADA EM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL EM TERESINA - PI**

**Marcos Gabriel Rebelo Carvalho e Matheus dos Santos Oliveira**

Trabalho apresentado ao Bacharelado de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual do Piauí, como requisito necessário à conclusão do Trabalho de Conclusão de Curso.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

Membros da Banca:

---

Prof(a). Dr(a). xxxxxx  
(Presidente da Banca – UESPI)

---

Prof(a). Dr(a). xxxxxx  
(Membro Titular – UESPI)

---

Prof(a). Dr(a). xxxxxx  
(Membro Titular – UESPI)

---

Prof(a). Dr(a). xxxxxx  
(Membro Suplente – UESPI)

Teresina – PI

2025

*Dedicatória*

## **AGRADECIMENTOS**

---

- ❖ Agradecemos aqui nossos familiares, amigos e cônjuge pelo apoio referente ao tema escolhido, bem como o professor orientador.
- ❖ Deve-se também agradecer à empresa Matssa Soluções Sustentáveis por ter disponibilizado equipamento para o levantamento de dados para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho apresenta a análise da capacidade de geração e do aproveitamento de uma microrede fotovoltaica off-grid destinada a um edifício residencial em Teresina-PI. A motivação do estudo decorre das mudanças regulatórias introduzidas pela Lei nº 14.300/2022, que aumentam os custos de sistemas conectados à rede, tornando soluções autônomas alternativas tecnicamente e economicamente atrativas. A metodologia adotada incluiu o levantamento aerofotogramétrico realizado com o drone DJI Mini 3, permitindo a modelagem tridimensional do telhado no software Agisoft Metashape Professional para definição das áreas disponíveis para instalação. Com base em dados de irradiação do CRESESB, utilizando 5 h de HSP, dimensionou-se um sistema com 24 módulos de 550 Wp, totalizando 13,2 kWp e estimando geração diária de 66 kWh. Foram avaliados os principais componentes da microrede, incluindo controladores MPPT e PWM, baterias chumbo-ácido e LiFePO<sub>4</sub>, inversores off-grid e dispositivos de proteção. A análise comparativa das tecnologias de armazenamento indicou que a autonomia de um dia exige cerca de 15 módulos LiFePO<sub>4</sub> de 5,12 kWh ou 56 baterias chumbo-ácido de 12 V e 200 Ah, evidenciando a superioridade técnica das baterias LiFePO<sub>4</sub> em desempenho, vida útil e menor ocupação física. Os resultados mostram que a energia produzida é suficiente para atender cargas essenciais dos apartamentos, como iluminação e tomadas de baixo consumo, não sendo adequada para cargas de alta potência, como ar-condicionado e chuveiro elétrico. Conclui-se que sistemas off-grid compartilhados configuram uma solução viável para edifícios residenciais, desde que acompanhados de correto dimensionamento, gerenciamento energético e aplicação de normas de proteção elétrica.

**Palavras-chave:** : energia fotovoltaica; off-grid; microgeração; baterias; microredes.

## ABSTRACT

This work presents an analysis of the generation capacity and energy utilization of an off-grid photovoltaic microgrid designed for a residential building in Teresina, Brazil. The study is motivated by the regulatory changes introduced by Law No. 14.300/2022, which increase the operational costs of grid-connected systems, making autonomous configurations technically and economically attractive. The methodology included an aerophotogrammetric survey using a DJI Mini 3 drone, followed by 3D roof modeling in Agisoft Metashape Professional to define the available area for module installation. Based on solar irradiation data from CRESESB and assuming 5 peak sun hours, a system composed of 24 modules of 550 Wp (totaling 13.2 kWp) was dimensioned, estimating a daily generation of 66 kWh. The study evaluated key components of the microgrid, including MPPT and PWM controllers, LiFePO<sub>4</sub> and lead-acid batteries, off-grid inverters and electrical protection devices. The storage analysis showed that one day of autonomy requires approximately 15 LiFePO<sub>4</sub> modules of 5.12 kWh or 56 lead-acid batteries of 12 V and 200 Ah, highlighting the superior performance and lower physical footprint of LiFePO<sub>4</sub> technology. The generated energy is suitable for supplying essential household loads, such as lighting and low-power appliances, but insufficient for high-power equipment such as air conditioners and electric showers. The results indicate that shared off-grid microgeneration is a technically viable solution for residential buildings, provided that proper energy management, electrical protection and adequate component sizing are implemented.

**Keywords:** photovoltaic energy; off-grid systems; microgeneration; batteries; microgrids.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema off-grid fotovoltaico.	17
<b>Figura 2.</b> Paineis fotovoltaicos.Fonte: Portal energia(2025)	19
<b>Figura 3.</b> Célula Silício Monocristalina.Fonte: Almeida(2012)	19
<b>Figura 4.</b> Célula Silício Policristalina.Fonte: CEPEL (2010)	19
<b>Figura 5.</b> Controlador de carga em sistema.Fonte:Make Sky blue(2025)	20
<b>Figura 6.</b> Controlador de carga Mppt.Fonte:VILLALVA(2015)	21
<b>Figura 7.</b> Controlador PWM.Fonte: Moreira (2015)	22
<b>Figura 8.</b> Bateria Fox ess.Fonte: Foxess (2025)	23
<b>Figura 9.</b> Inversor off-grid Growatt.Fonte: Meu gerador solar(2025)	25
<b>Figura 10.</b> Diagrama inversor off-grid com controlador acoplado.Fonte: Adaptado de Growatt.	25
<b>Figura 11.</b> Modelo de string box.Fonte : string box clamper	26
<b>Figura 12.</b> Drone modelo DJI Mini 3.Fonte: site oficial DJI	28
<b>Figura 13.</b> Interface Agisoft Metashape Professional.Fonte: acervo pessoal	29
<b>Figura 14.</b> Imagens organizadas no Agisoft Metashape Professional.Fonte: acervo pessoal	29
<b>Figura 15.</b> Aba “Fluxo de Trabalho” no Agisoft Metashape Professional.Fonte: acervo pessoal	30
<b>Figura 16.</b> Resultado da modelagem no Agisoft Metashape Professional.Fonte: acervo pessoal	30
<b>Figura 17.</b> Medidas das áreas úteis do telhado.Fonte: acervo pessoal	31
<b>Figura 18.</b> Irradiação solar diária média.Fonte: CRESESB	31
<b>Figura 19.</b> Irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas.Fonte: CRESESB	32
<b>Figura 20.</b> Planta elétrica padrão.Fonte: anexo do manual do proprietário	33



## LISTA DE TABELAS

---

<b>Tabela 1.</b> Comparação entre Tecnologias de Baterias para o Sistema Off-Grid.	37
<b>Tabela 2.</b> Comparação dos Cenários de Consumo por Apartamento.	39

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

---

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;**
- ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica;**
- AC – Corrente Alternada;**
- CA – Corrente Alternada;**
- CC – Corrente Contínua;**
- CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica;**
- CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito;**
- DJI – Da-Jiang Innovations (fabricante do drone);**
- DoD – Depth of Discharge (Profundidade de Descarga);**
- DPS – Dispositivo de Proteção contra Surtos;**
- EMS – Energy Management System (Sistema de Gerenciamento de Energia);**
- GTES – Grupo de Treinamento em Sistemas Elétricos;**
- HSP – Horas de Sol Pleno;**
- LED – Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz);**
- LiFePO<sub>4</sub> (LFP) – Fosfato de lítio ferro (Lítio, Ferro, Fosfato);**
- MPPT – Maximum Power Point Tracking (Rastreamento do Ponto de Máxima Potência);**
- NMC – Níquel-Manganês-Cobalto;**
- NBR – Norma Brasileira;**
- ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável;**
- PB – Placa Baterias (do texto sobre chumbo-ácido, Pb = Chumbo);**
- PWM – Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso);**
- TUG – Tomada de Uso Geral;**
- VRLA – Valve Regulated Lead Acid (Bateria de Chumbo-Ácido Regulada por Válvula);**

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1 Introdução	13
1.2 Objetivos	14
1.4.1 Gerais .....	14
1.4.2 Específicos .....	14
<b>CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>15</b>
2.1 Conceitos Gerais de Sistemas Fotovoltaicos Off-Grid	15
2.2 Componentes de um Sistema Fotovoltaico Off-Grid	15
2.2.1 Módulos Fotovoltaicos	16
2.2.2 Controlador de Carga	18
2.2.2.1 Controlador MPPT	19
2.2.2.2 Controlador Eletrônico com PWM	20
2.2.3 Banco de Baterias	20
2.2.3.1 Baterias de Chumbo Ácido	21
2.2.3.2 Baterias de Lítio	22
2.2.4 Inversor Off-Grid	22
2.2.4.1 Inversor Híbrido	23
2.2.5 Dispositivos de Proteção	24
2.2.6 Cabos	25
2.3 Funcionamento do Sistema – Da Geração ao Consumo	25
<b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL</b>	<b>26</b>
3.1 Levantamento aerofotogramétrico e modelagem 3D	26
3.2 Dados meteorológicos e parâmetro de dimensionamento	29
3.3 Dimensionamento da geração	30
3.4 Caracterização das cargas por apartamento	30
3.5 Premissas para o dimensionamento do banco de baterias	31
3.6 Assunções para contagem de módulos de baterias	32
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>33</b>
4.1 Capacidade de armazenamento necessária (autonomia 1 dia)	33
4.2 Quantidade estimada de baterias (unidades) — resultados numéricos	33
4.2.1 LiFePO <sub>4</sub>	33
4.2.1 Chumbo-ácido	33
4.3 Peso e ocupação	34

4.4	Estratégia de strings e MPPT (orientação)	36
4.5	Cenários de uso (resumo prático com lâmpadas de 10W )	36
4.6	Riscos e impactos operacionais	36
	<b>CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>38</b>
	<b>CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>39</b>

## **1.1 Introdução**

Com a aprovação da Lei 14.300/22, que determina que, a partir de 2025, sistemas fotovoltaicos homologados pelas concessionárias de energia desde a data 7 de janeiro de 2023, deverão pagar 45% da componente Fio B, e que em 2028 esse valor irá chegar a 80% da energia injetada na rede de distribuição da concessionária pela unidade consumidora.

Uma alternativa para não entrar nesta taxação é a adoção de sistemas de microgeração fotovoltaicos off-grid, onde se faz uso de baterias para armazenar a energia gerada por painéis fotovoltaicos e de equipamentos de condicionamento de potência como inversores e controladores de carga (GTES; CEPEL-CRESESB, 2006).

Outro fator que colabora para o uso de sistemas desconectados das redes das concessionárias é a inversão de fluxo. Em simulações feitas por Leonardo Machado de Brito e outros, mostram que na medida que mais sistemas conectados nas redes de distribuição, há um aumento na tensão da rede devido ao fluxo reverso de potência ativa proveniente dos inversores utilizados, o que pode gerar um cenário de sobrecarregamento dos transformadores da rede.

Essa questão já é um problema real, em um levantamento feito entre julho e agosto de 2023 pela ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), 3,1 mil projetos foram cancelados ou suspensos devido a problemas relacionados à inversão de fluxo, gerando mais de três bilhões de reais em prejuízos para as concessionárias.

Nesse contexto, a microgeração solar off-grid com sistema compartilhado pode ser uma alternativa aos modelos tradicionais ligados a rede, visto que este modelo permite a geração local de energia elétrica mediante sistemas fotovoltaicos independentes da rede convencional, com distribuição comunitária entre diferentes residências (VILLALVA, 2015).

O Brasil possui um grande potencial solar energético devido a sua elevada incidência solar durante todo o ano, e as regiões Norte e Nordeste são as mais privilegiadas, segundo Mauricio Tiomno Tolmasquim (2016). E esse potencial

pode ser aproveitado para suprir essas áreas necessitadas e a utilização do modelo de sistema off-grid promove a inclusão energética de fontes limpas diferente de fontes poluentes como geradores a diesel. Estudos de caso como o apresentado por Silva, Belchior e Fonseca (2025) mostram que, apesar do custo inicial mais elevado, os sistemas off- grid apresentam viabilidade econômica a médio e longo prazo. Esses sistemas também reduzem significativamente a emissão de gases poluentes e contribuem com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (WWF-Brasil, 2022).

Sistemas off grid, de acordo com matéria publicada pela INTELBRAS, são comumente usados em áreas isoladas, com difícil acesso à rede elétrica, para manter o funcionamento de máquinas e equipamentos relacionados ao agronegócio e em situações onde o sistema não pode ter seu acesso à energia cessado. Mas neste trabalho será abordado a possibilidade de usar esses sistemas, de forma compartilhada entre os condôminos, em edifícios residenciais, pois como citado pela EDP, empresa privada voltada para o setor elétrico, em um edifício, geralmente, quando é usado um sistema convencional conectado a rede da distribuidora de energia, o mesmo é usado apenas para atender áreas de acesso compartilhado do local, como iluminação de área externa, de escadas e corredores. A EDP também mostra a questão de que não há espaço o suficiente para que cada apartamento tenha um sistema convencional conectado à rede.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Geral**

Avaliar a capacidade de geração de sistema de microgeração fotovoltaica off-grid compartilhados em edifício residencial;

Analisar como essa capacidade de geração pode ser aproveitada e distribuída entre os apartamentos do edifício.

### **1.2.2 Específico**

Investigar os principais componentes e configurações técnicas utilizadas em sistemas fotovoltaicos off-grid com armazenamento e distribuição compartilhada em um edifício residencial.

## 2.1 Conceitos Gerais de Sistemas Fotovoltaicos Off-Grid

Sistemas fotovoltaicos off-grid são instalações elétricas autônomas, não conectadas à rede de distribuição, capazes de suprir cargas específicas por meio da energia solar convertida em eletricidade. Esses sistemas são amplamente aplicados em locais remotos, residências isoladas e, mais recentemente, em condomínios que buscam autonomia energética para circuitos específicos, como iluminação de áreas comuns ou acionamento de circuitos específicos para determinadas áreas. E esses sistemas são dimensionados usando a carga e o índice solarimétrico da região onde está sendo instalado(CRESESB, 2014).

Sendo uma fonte de energia sustentável, com esses sistemas se disponibilizando a partir do uso de energia solar fotovoltaica, onde se baseia na conversão da radiação solar em eletricidade, através de materiais semicondutores, resultando em um fenômeno conhecido por Efeito Fotovoltaico. A principal característica dos sistemas off-grid é a utilização de baterias, que armazenam a energia produzida durante o dia e permitem o funcionamento das cargas no período noturno ou em baixa irradiação, como o modelo a seguir na figura 1.

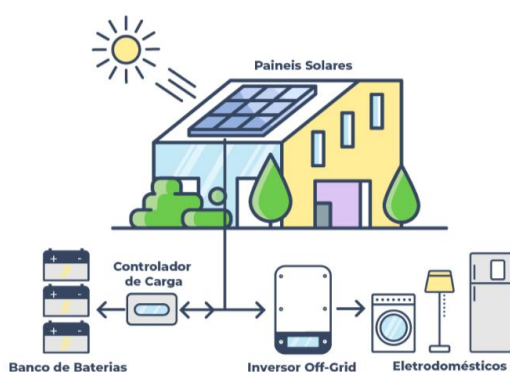


Figura 1: Sistema off-grid fotovoltaico

Fonte: Minha Casa Solar(2025)

## 2.2 Componentes de um Sistema Fotovoltaico Off-Grid

Um sistema off-grid completo, é composto por:

### 2.2.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos realizam a conversão da radiação solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico, exemplificado na figura 2.pág 17. A tensão e corrente produzidas variam conforme a tecnologia, temperatura e irradiação solar (CRESESB, 2014).

É nos painéis onde ocorre o Efeito Fotovoltaico, esse efeito foi observado por Edmond Becquerel, um físico francês. Com uma solução de selênio, ele notou o aparecimento de tensão entre os eletrodos, quando este era iluminado pela luz solar. Segundo Nascimento (2004, p. 7), baseando-se no relato de Edmond Becquerel em 1839, a energia solar fotovoltaica ocorre “quando nos extremos de uma estrutura de matéria semicondutora surge o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico, devido à incidência de luz. No processo de conversão da energia radiante em energia elétrica, a célula é a unidade fundamental”.

Wendling (2011), descreve que as células são fabricadas com material semicondutor, ou seja, um material com condutividade elétrica intermediária entre condutores e isolantes. O semicondutor mais utilizado é o Silício. Seus átomos possuem quatro elétrons que se ligam aos átomos vizinhos, formando uma rede cristalina. Porém, devido à falta de elétrons livres, o silício puro não é um bom condutor. Por este motivo, costuma-se acrescentar, por processo de dopagem, certa porcentagem de fósforo e boro ao mesmo, onde o fósforo é um dopante doador de elétrons, denominando-se dopante n ou impureza n e o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante p (CEPEL, 2016).





Figura 2: Instalação de Paineis Fotovoltaicos

Fonte: Portal energia(2025)

De acordo com Almeida (2012), o que mais se destacam entre os diversos materiais utilizados para a fabricação das células fotovoltaicas são o silício monocristalino, descrito na figura 3, e o silício policristalino, conforme a figura 4. As monocristalinas são feitas a partir de um único cristal de silício ultra-puro e têm maior eficiência. E por células de silício policristalino, onde são mais baratas que as de silício monocristalino pois exigem um processo de separação de células menos rigoroso, portanto a eficiência é um pouco menor em comparação com as de monocristalino (CEPEL. 2016).

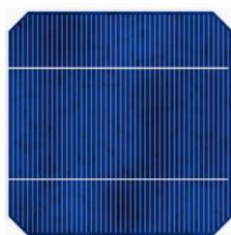


Figura 3: Célula Silício Monocristalina

Fonte: Almeida(2012)

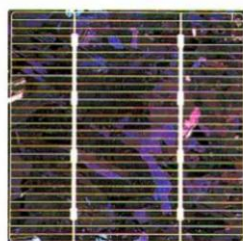


Figura 4: Célula Silício Policristalina

Fonte: CEPEL (2010)

Os módulos são conectados em série para elevar a tensão e em paralelo para aumentar a corrente, conforme a necessidade do banco de baterias e do controlador de carga.

### 2.2.2 Controlador de Carga

Esse dispositivo monitora a carga da bateria e impede que ela descarregue completamente, aumentando sua vida útil. Os sistemas fotovoltaicos com baterias devem, obrigatoriamente, empregar um controlador de carga. O controlador de carga é o dispositivo que faz a correta conexão entre o painel fotovoltaico e a bateria, evitando que a bateria seja sobrecarregada ou descarregada excessivamente (VILLALVA, 2015). Já em períodos de grande insolação e pequeno consumo de energia, a bateria tende a carregar em excesso, aumentando sua tensão e diminuindo sua vida útil. O controlador interfere e desconecta os módulos que alimentam a bateria. Sua localização está exemplificada na figura 5( Charge Controller).

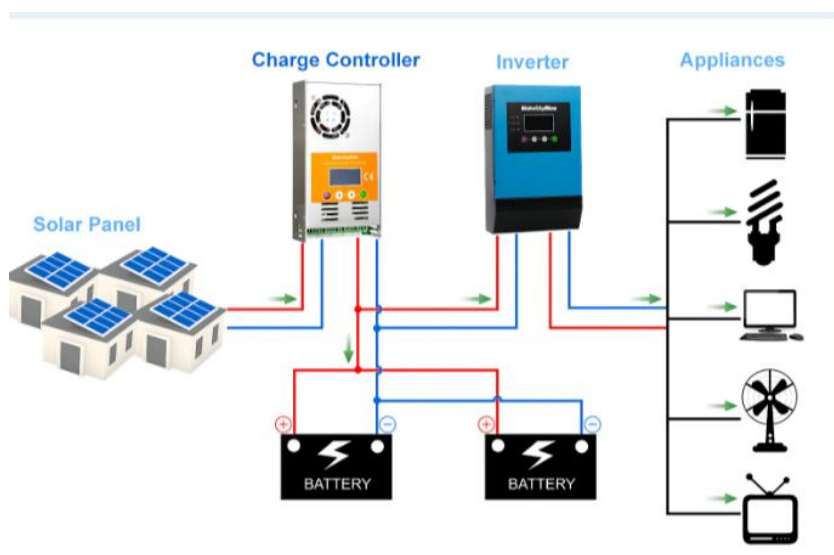


Figura 5 : Controlador de carga em sistema

Fonte: Make Sky blue(2025)

A conexão dos consumidores deve ser feita ao controlador, dessa forma, o controlador mantém um controle sobre a profundidade de descarga da bateria,

interrompendo o fornecimento caso o nível fique muito baixo e possa vir a danificar permanentemente. Esses aparelhos são especificados de acordo com sua corrente máxima, são encontrados comumente na faixa de 10A a 60A, modelo com maior capacidade são incomuns (VILLALVA, 2015).

### 2.2.2.1 Controlador MPPT

O controlador MPPT (Maximum Power Point Tracking) garante que o valor máximo de potência seja extraído dos módulos fotovoltaicos (SINGH, 2013). O sistema realiza uma varredura na curva  $I \times V$  do sistema de geração, conforme a figura 6, e determina a tensão de operação ótima, em que o sistema vai operar em máxima potência. Segundo Villalva 2015, apesar dos controladores MPPT serem mais caros, acabam ainda sendo vantajosos, pois permitem um ganho de 30% na produção de energia. Os outros controladores operam com valores de tensão próximos aos da bateria, ou seja, entre 10V e 15V.

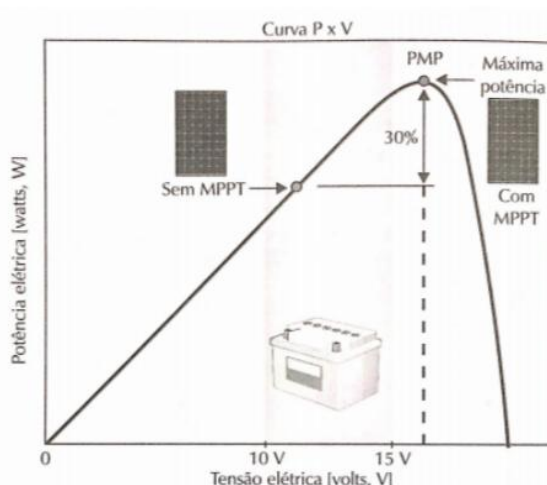


Figura 6: Curva da varredura  $I \times V$  do Controlador de carga Mppt

Fonte: VILLALVA(2015)

### 2.2.2.2 Controlador Eletrônico com PWM

Os controladores usam a tecnologia PWM (Modulação por Largura de Pulso), existem transistores e um circuito de controle que fazem o gerenciamento preciso da corrente que é enviada para a bateria, respeitando o perfil de carga em três estágios: carga pesada, absorção e flutuação. A Figura a seguir mostra o esquema simplificado de controlador PWM.

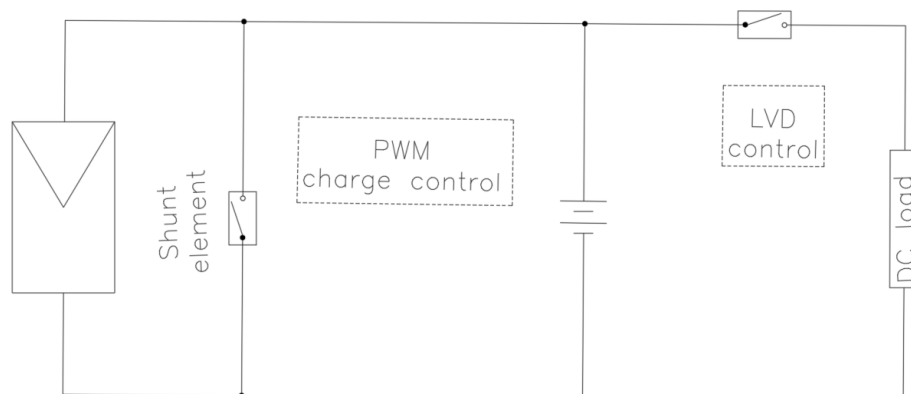


Figura 7: Controlador PWM

Fonte: Autores

### 2.2.3 Banco de Baterias

As baterias são uma forma eficiente e conveniente de armazenar energia. Quando uma bateria está conectada a um circuito elétrico, há fluxo de corrente devido a uma transformação eletroquímica em seu interior, ou seja, há uma conversão de energia química em energia elétrica (PINHO; GALDINO, 2014). Segundo Dazcal e Mello 2008, são dispositivos responsáveis por fazer o armazenamento da energia gerada pelos módulos, com intuito de suprir a demanda da mesma ausência da energia solar. Com isso, são consideradas de extrema importância, visto que a radiação solar não ocorre durante a noite e tem valores bem baixos em dias nublados.

Nos sistemas fotovoltaicos, é recomendado o uso de baterias estacionárias, pois possuem placas metálicas mais grossas, suportando ciclos profundos, em que a bateria pode descarregar quase por completo sem se danificar. Segundo Villalva 2015, a bateria estacionária possui uma taxa de autodescarga menor do que uma bateria convencional automotiva, isto é, mesmo passando um longo tempo sem ser recarregada, mesmo sendo em período extenso de chuvas constantes, a carga

elétrica é preservada. Segue um exemplo de bateria para o uso do sistema na figura 8.



Figura 8: Bateria Fox ess

Fonte: Foxess (2025)

A capacidade da bateria ou do banco é dimensionada considerando a autonomia desejada e a profundidade de descarga permitida.

#### **2.2.3.1 Baterias de Chumbo Ácido**

Nesse tipo de bateria, as células de chumbo-ácido usam dióxido de chumbo ( $\text{PbO}_2$ ) como material ativo da placa positiva e chumbo metálico ( $\text{Pb}$ ), numa estrutura porosa altamente reativa, como material ativo da placa negativa. Estas placas são imersas em uma solução diluída de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), que se comporta como eletrólito (Aparecida, 2012). Na prática, as baterias de chumbo ácido são as mais empregadas, nos sistemas fotovoltaicos e no setor automotivo, conhecidas como baterias estacionárias e baterias automotivas (Eudora Solar, 2015).

Na questão funcionamento, durante a descarga, o ácido sulfúrico reage com os materiais ativos das placas, produzindo água que dilui o eletrólito. Durante o carregamento, o processo é revertido; o sulfato de chumbo ( $\text{PbSO}_4$ ) de ambas as placas é transformado em chumbo “esponjado”, dióxido de chumbo ( $\text{PbO}_2$ ) e ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). (Aparecida, 2012).

#### **2.2.3.2 Baterias de Lítio**

As baterias de íons de lítio baseadas em fosfato de ferro lítio ( $\text{LiFePO}_4$  ou LFP) representam uma das principais tecnologias de armazenamento eletroquímico utilizadas atualmente em sistemas de energia, veículos elétricos, aplicações portáteis e soluções estacionárias. Desenvolvidas inicialmente por Padhi et al. (1997), as baterias LFP se destacam por sua alta estabilidade térmica, longa vida útil e baixo impacto ambiental quando comparadas a outras químicas de lítio, como NMC (Níquel-Mangânese-Cobalto) e NCA (Níquel-Cobalto-Alumínio).

O material  $\text{LiFePO}_4$  pertence à família dos fosfatos olivínicos, caracterizada por uma estrutura cristalina estável que proporciona elevada segurança operacional. Essa estrutura reduz drasticamente o risco de fuga térmica (thermal runaway), fenômeno crítico em outras baterias de íons de lítio (LINDEN; REDDY, 2002). Por isso, baterias LFP são frequentemente aplicadas em sistemas que exigem alta confiabilidade, como armazenamento fotovoltaico, mobilidade elétrica e equipamentos industriais.

#### **2.2.4 Inversor Off-Grid**

O inversor converte a energia CC armazenada nas baterias para CA, permitindo alimentar lâmpadas LED e demais cargas do circuito de iluminação. Inversores off-grid podem ser senoidais ou modificados, sendo obrigatória a escolha de modelos senoidais para garantir qualidade de energia e maior vida útil das cargas (PINHO; GALDINO, 2014).

Sistemas fotovoltaicos Off Grid geralmente são compostos por arranjo de módulos fotovoltaicos, controlador de carga, baterias e inversor, onde o controlador manda os comandos para trabalhar com as baterias e o inversor. Alguns modelos possuem a função de seguimento MPPT e de desconexão quando a carga das baterias está muito baixa, a fim de evitar descarga excessiva (KALOGIROU, 2016).



Figura 9: Inversor off-grid Growatt 5000w

Fonte : Meu gerador solar(2025)

Atualmente existem inversores comerciais para sistemas Off Grid que já possuem o controlador de carga acoplado, possibilitando que apenas um equipamento concentre a função de controlador de carga e conversor de energia c.c./c.a. ou c.a./c.c., estando no diagrama representado a seguir pela figura 10:

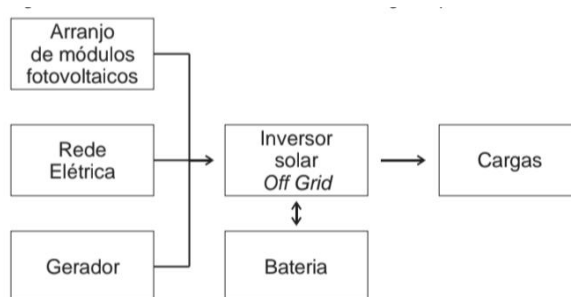


Figura 10: Diagrama inversor off-grid com controlador acoplado

Fonte: Adaptado de Growatt.

Com isso nos mostra que o inversor apenas recebe da geradora e encaminha ou para as baterias ou a carga , sem a inclusão do excedente na rede da concessionária.

#### 2.2.4.1 Inversor Híbrido

Diferentemente dos inversores Off Grid, os inversores híbridos são conectados à rede elétrica de distribuição e o fluxo de potência pode assumir os dois sentidos. Apesar de possuir funcionamento semelhante ao inversor On Grid, seu maior

diferencial é a possibilidade de também pode ser conectado a um banco de baterias, sendo que estas podem ser carregadas com a energia proveniente da rede de distribuição local conforme diagrama da Figura 5 (VONI, 2021).

Os inversores híbridos, são uma boa escolha quando a produção excede e quer ser injetada na rede ou em alguns modelos como meio de manter aparelhos funcionando por falta de geração devido a alguma intempérie da natureza.

### 2.2.5 Dispositivos de Proteção

A NBR 16690:2020 estabelece requisitos para proteção de sistemas fotovoltaicos. Entre os componentes essenciais estão:

O sistema deve contar com disjuntores em corrente contínua (CC) instalados entre o painel fotovoltaico e o controlador de carga, além de fusíveis ou disjuntores CC entre o controlador e as baterias. Na saída do inversor, é necessária a instalação de disjuntores em corrente alternada (CA). Também devem ser incluídas chaves seccionadoras tanto em CC quanto em CA, bem como DPS (Dispositivos de Proteção contra Surtos) para proteção contra sobretensões. Por fim, é essencial garantir o adequado aterramento de todo o sistema. O uso de String Box é bastante utilizado pois já possuem esses equipamentos em sua composição, segue abaixo um modelo com dps e chave seccionadora.



Figura 11: Modelo de string box

Fonte : string box clamper



---

Sem essas proteções, há risco de incêndio, curto-circuito e danos permanentes aos equipamentos.

### **2.2.6 Cabos**

Os cabos utilizados entre módulos, controlador e baterias devem ser cabos solares, com dupla isolação e resistência UV, conforme a NBR 16612.

O dimensionamento é feito conforme queda de tensão admissível, geralmente limitada a 3% para CC e 5% para CA (ABNT, 2020).

## **2.3 Funcionamento do Sistema – Da Geração ao Consumo**

O processo ocorre em etapas:

1. Geração: Os módulos convertem radiação solar em energia elétrica CC.
2. Regulação: Essa energia passa pelo controlador, que regula tensão e corrente.
3. Armazenamento: A energia excedente é armazenada no banco de baterias.
4. Conversão: O inversor converte CC em CA quando as cargas precisam funcionar.
5. Uso: A energia alimenta os circuitos escolhidos do condomínio de forma independente da rede pública.

### **3.1 Levantamento aerofotogramétrico e modelagem 3D**

O levantamento das imagens aéreas foi feito a partir do drone DJI Mini 3, mostrado na figura 12, onde foram tiradas várias fotos (148 fotos) com sobreposição, a fim de registrar a área do prédio usada no estudo. Esse modelo de drone registra nos metadados da imagens coordenadas e altura das imagens registradas, dados necessários para o processamento das imagens.



Figura 12: Drone modelo DJI Mini 3

Fonte: site oficial DJI

O programa usado para o processamento das imagens foi o Agisoft Metashape Professional.

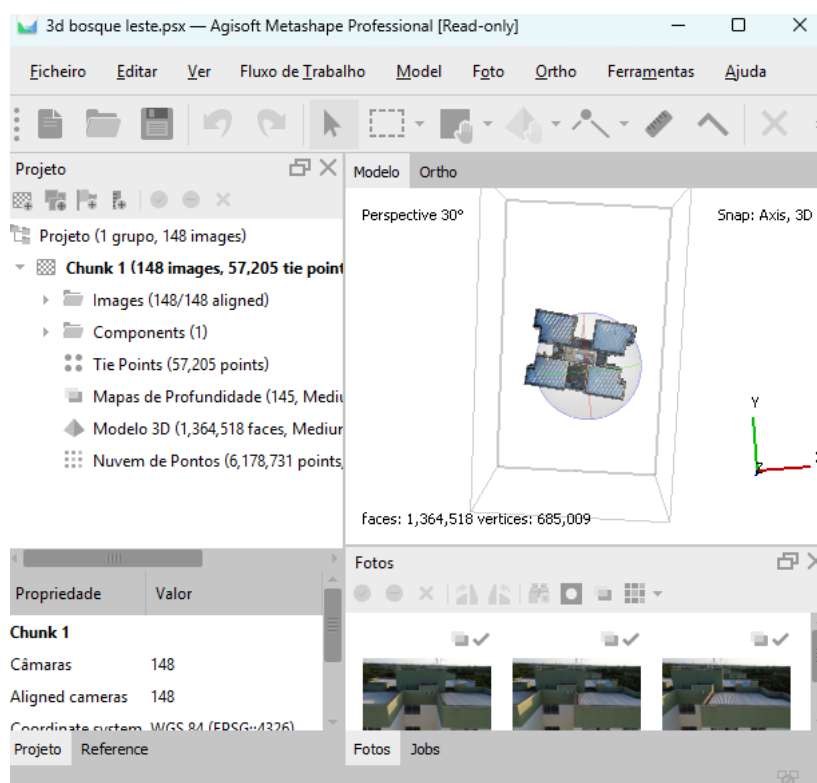


Figura 13: Interface Agisoft Metashape Professional

Fonte: acervo pessoal

No programa fazemos o upload das imagens coletadas, ele automaticamente organiza a posição das imagens de acordo com os dados referentes às posições das fotos localizados nos metadados.

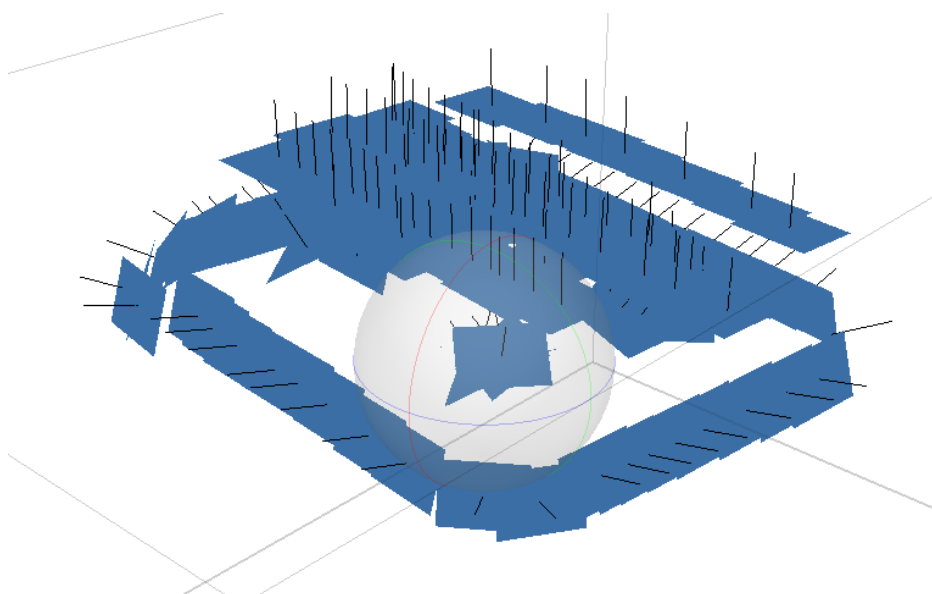


Figura 14: Imagens organizadas no Agisoft Metashape Professional

Fonte: acervo pessoal

Após as imagens estarem organizadas, basta seguir os passos na aba “Fluxo de Trabalho”, ao concluir os passos, é obtido o modelo necessário para conseguir obter as medidas necessárias para o estudo.

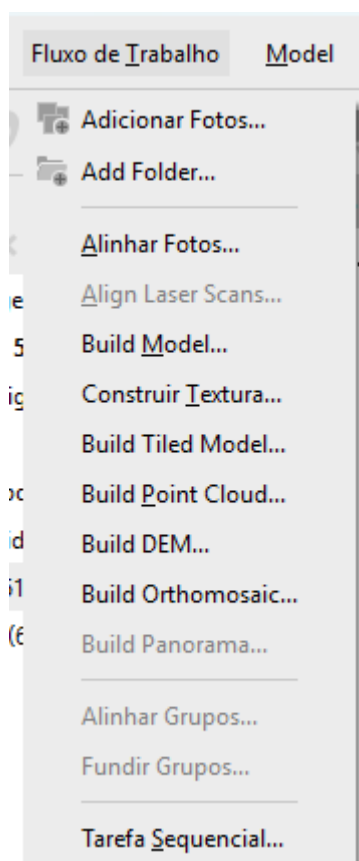


Figura 15: Aba “Fluxo de Trabalho” no Agisoft Metashape Professional

Fonte: acervo pessoal

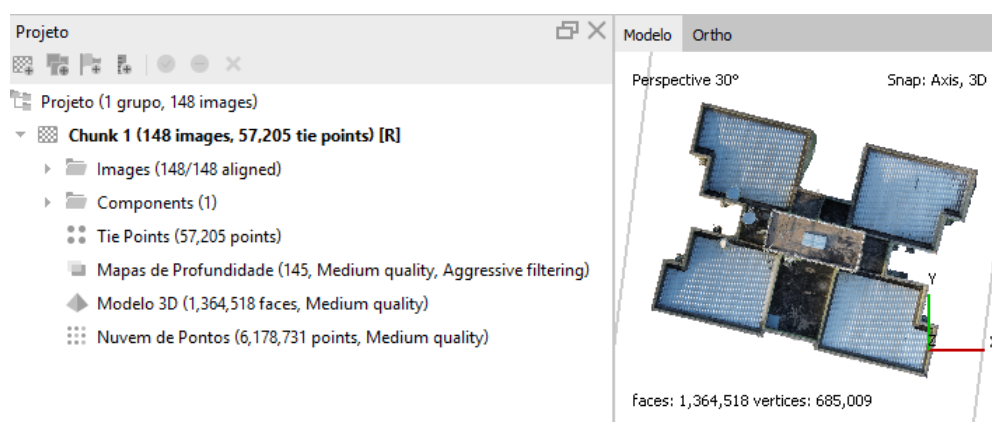


Figura 16: Resultado da modelagem no Agisoft Metashape Professional

Fonte: acervo pessoal

A partir das medidas, foi construída uma planta e nela foram posicionados os painéis fotovoltaicos de uma forma que não houvesse nenhum sombreamento crítico, assim chegando na quantidade de 6 módulos fotovoltaicos por água do prédio, totalizando 24 módulos.

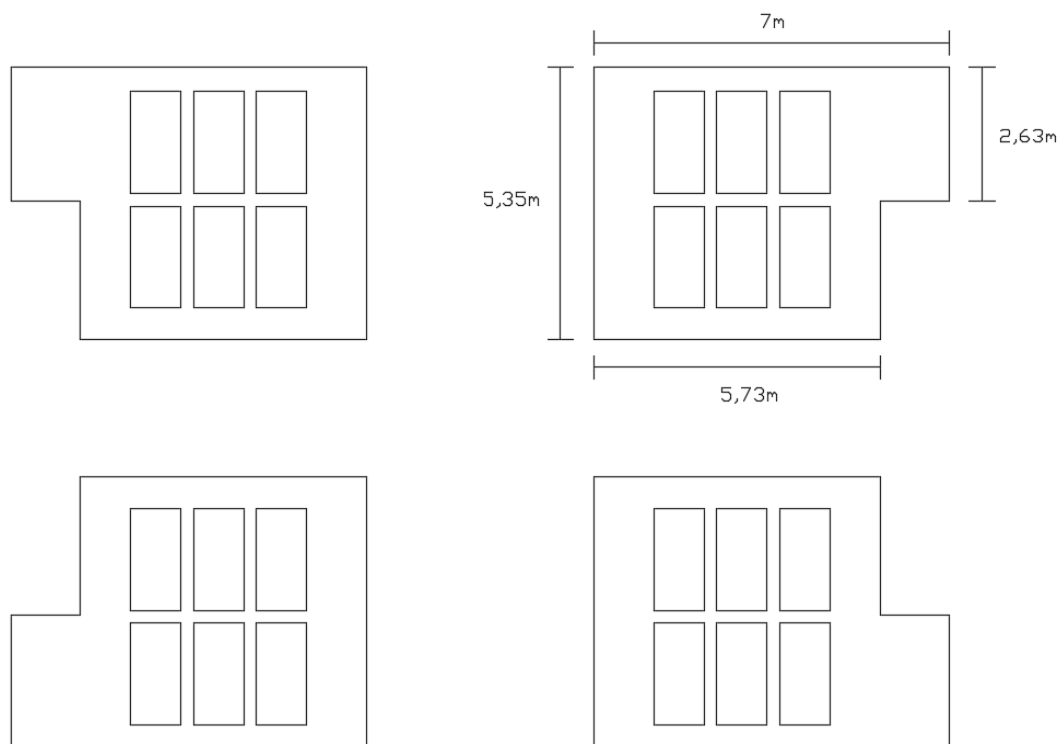


Figura 17: Medidas das áreas úteis do telhado

Fonte: acervo pessoal

### 3.2 Dados meteorológicos e parâmetro de dimensionamento

Adotou-se o valor conservador de Horas de Sol Pleno (HSP) para Teresina = 5 h/dia (CRESESB).

Latitude: 5,023278° S Longitude: 42,772167° O					Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																
#	Estação	Município	UF	País	Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Teresina	Teresina	PI	BRASIL	5,001° S	42,749° O	3,6	5,05	5,21	5,21	5,05	5,06	5,26	5,55	6,11	6,51	6,37	6,08	5,57	5,59	1,47
✓	Teresina	Teresina	PI	BRASIL	5,001° S	42,849° O	8,9	5,07	5,25	5,19	5,06	5,06	5,20	5,51	6,05	6,48	6,36	6,10	5,62	5,58	1,42
✓	Teresina	Teresina	PI	BRASIL	5,101° S	42,749° O	9,0	5,06	5,18	5,19	5,03	5,04	5,19	5,44	5,99	6,38	6,32	6,08	5,61	5,54	1,35

Figura 18: Irradiação solar diária média

Fonte: CRESESB

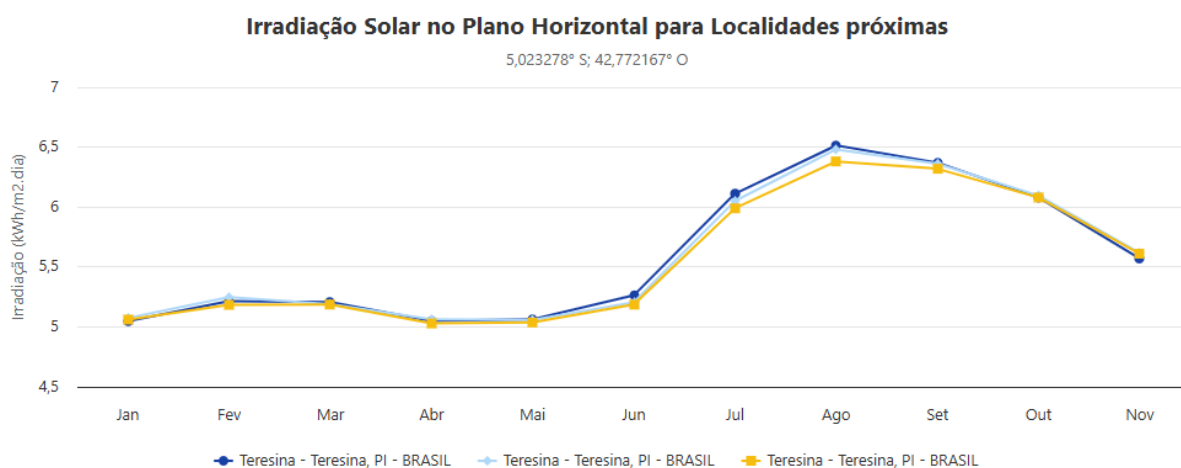


Figura 19: Irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas

Fonte: CRESESB

### 3.3 Dimensionamento da geração

Número de módulos:  $24 \times 550 \text{ Wp} = 13,2 \text{ kWp}$ .

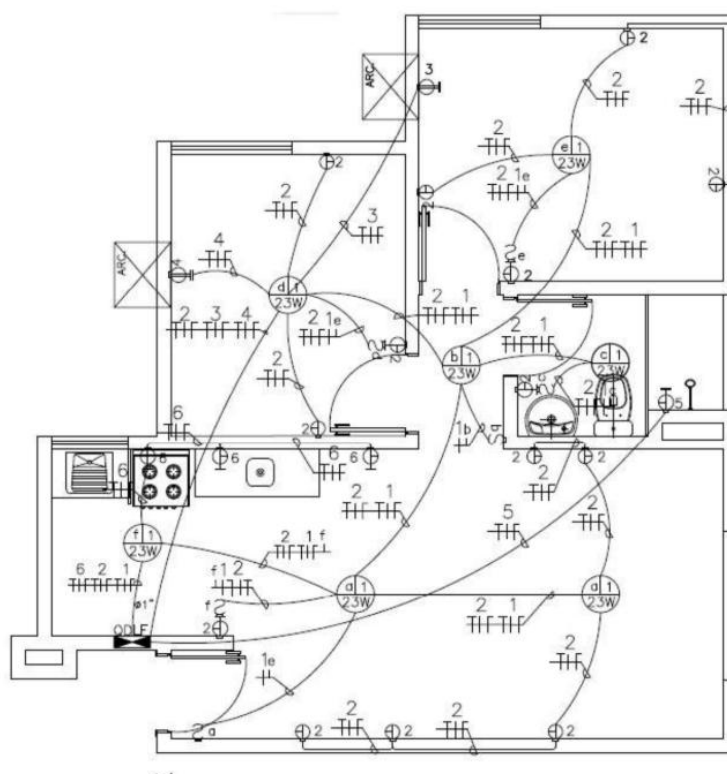
Geração teórica diária (sem perdas):  $13,2 \text{ kWp} \times 5 \text{ h} = 66 \text{ kWh/dia}$ .

Edifício: térreo + 6 andares  $\times$  4 aptos/andar = 28 apartamentos.

Energia média disponível por apartamento (divisão simples):  $66 / 28 = 2,36 \text{ kWh/dia por apto}$ .

### 3.4 Caracterização das cargas por apartamento

A planta padrão dos apartamentos foi usada para obter o levantamento das cargas. Cada apartamento apresenta os circuitos: (1) Iluminação: 7 lâmpadas de 10 W; (2) 14 tomadas de uso geral; (3) ar-condicionado split 9.000 BTU/h (x2); (4) chuveiro elétrico; (5) tomadas cozinha/área (3). Esses dados servem de base para os cenários de uso.



LEGENDA:

CIRCUITO 1 – ILUMINAÇÃO

CIRCUITO 2 – TOMADAS EM GERAL (SALA, QUARTOS, BANHEIRO E COZINHA)

CIRCUITO 3 – SPLIT 9000 BTU'S

CIRCUITO 4 – SPLIT 9000 BTU'S

CIRCUITO 5 – CHUVEIRO ELÉTRICO

CIRCUITO 6 – TOMADA COZINHA/ ÁREA DE SERVIÇO

Figura 20: Planta elétrica padrão

Fonte: anexo do manual do proprietário

### 3.5 Premissas para o dimensionamento do banco de baterias

Para comparar tecnologias, assume-se:

Autonomia alvo: 1 dia (opção demonstrativa).

Tensão nominal de projeto: 48 V (topologia usual para sistemas off-grid de porte médio).

Eficiência round-trip e DoD típicos:

LiFePO<sub>4</sub>: DoD = 90%, eficiência ≈ 95%.

Chumbo-ácido (VRLA / estacionária): DoD = 50%, eficiência ≈ 80–85%.

### 3.6 Assunções para contagem de módulos de baterias

Para transformar a capacidade nominal (kWh) em número de unidades práticas, adota-se como exemplo dois formatos de bateria comumente usados no mercado:

LiFePO<sub>4</sub> modular 51,2 V - 100 Ah (valor comercial típico): energia por módulo  $\approx 51,2 \text{ V} \times 100 \text{ Ah} = 5,12 \text{ kWh/unidade}$ . (Estas são “battery modules” 48 V nominal de uso em bancos empilháveis.)

Bateria chumbo-ácido 12 V - 200 Ah (bateria estacionária/AGM comum): energia por unidade  $\approx 12 \text{ V} \times 200 \text{ Ah} = 2,4 \text{ kWh/unidade}$ . (Usada como referência para calcular número de 12 V em paralelo/ série; na prática, bancos estacionários usam células 2 V; escolheu-se 12 V  $\times$  200 Ah como referência por ser facilmente compreensível e disponível comercialmente.)

Estas escolhas são exemplos para estimativa de quantidade e espaço; fabricantes e modelos específicos podem ter capacidades diferentes - o projeto executivo deve ajustar conforme o equipamento selecionado.



#### **4.1 Capacidade de armazenamento necessária (autonomia 1 dia)**

Partindo da geração útil diária de 66 kWh/dia e assumindo que o banco de baterias deve prover essa energia para cobrir a demanda em períodos sem geração:

Chumbo-ácido (DoD 50%): Capacidade nominal necessária =  $66 / 0,50 = 132$  kWh.

LiFePO<sub>4</sub> (DoD 90%): Capacidade nominal necessária =  $66 / 0,90 = 73,3$  kWh.

Observa-se que, para a mesma energia disponível, a solução chumbo-ácido requer aproximadamente o dobro da capacidade nominal de LiFePO<sub>4</sub>, com implicações diretas em espaço, peso e logística.

#### **4.2 Quantidade estimada de baterias (unidades) — resultados numéricos**

##### **4.2.1 LiFePO<sub>4</sub>**

Exemplo com módulo 51,2 V × 100 Ah = 5,12 kWh/unidade.

Capacidade requerida (nominal) ≈ 73,3 kWh.

Número de módulos ≈  $73,3 / 5,12 \approx 14,32$  - adotar 15 módulos para margem.

Capacidade efetiva instalada com 15 módulos =  $15 \times 5,12 = 76,8$  kWh.

Tensão do banco: módulos de 51,2 V são conectados conforme arquitetura do fabricante — normalmente trabalham em 48 V nominal; a montagem física será em racks com BMS e cablagem série/paralelo conforme o fornecedor.

Assim, usando LiFePO<sub>4</sub>: 15 módulos de 51,2 V × 100 Ah (≈ 76,8 kWh nominal)  
— atende o requisito de 1 dia com margem.

##### **4.2.2 Chumbo-ácido**

Exemplo com bateria 12 V × 200 Ah = 2,4 kWh/unidade.

Capacidade requerida (nominal)  $\approx 132$  kWh.

Número de baterias  $\approx 132 / 2,4 \approx 55,0$  - adotar 56 baterias para arredondamento e margem.

Energia instalada com 56 unidades =  $56 \times 2,4 = 134,4$  kWh.

Observações sobre cadeia de conexão: para criar um banco 48 V com baterias de 12 V, conectam-se quatro unidades em série para formar um “string” de 48 V; vários strings em paralelo para alcançar a capacidade Ah desejada. No exemplo, 56 baterias - 14 strings de 4 em série ( $14 \times 4 = 56$ ), resultando em banco 48 V  $\times$  (200 Ah  $\times$  14 em paralelo) = 48 V  $\times$  2800 Ah = 134,4 kWh. (Este arranjo ilustra o grande número físico de baterias e a necessidade de área e ventilação.)

Assim, usando Chumbo-ácido: 56 baterias de 12 V  $\times$  200 Ah ( $\approx 134,4$  kWh instalado) — atende o requisito, porém com ocupação física e manutenção relevantes.

### 4.3 Peso e ocupação

LiFePO<sub>4</sub>: densidade energética maior  $\rightarrow$  menor volume e peso; racks empilháveis; menor necessidade de ventilação.

Chumbo-ácido: peso e volume significativamente maiores; necessidade de estrutura reforçada e ventilação/evacuação de gases (no caso de flooded); maior risco ambiental no descarte.

**Tabela 1.** Comparação entre Tecnologias de Baterias para o Sistema Off-Grid.

Critério	Bateria Chumbo-Ácido	Bateria LiFePO <sub>4</sub>	Comentário Técnico
Profundidade de descarga (DoD)	50%	90%	LiFePO <sub>4</sub> permite melhor aproveitamento da capacidade nominal.
Ciclos de vida típicos	500–1.000 ciclos	3.000–6.000 ciclos	LiFePO <sub>4</sub> dura de 4 a 8 vezes mais.
Capacidade necessária para o projeto	132 kWh	73,3 kWh	LiFePO <sub>4</sub> necessita menos módulos devido ao DoD maior.
Capacidade em Ah (sistema 48 V)	2750 Ah	1431 Ah	Redução significativa na corrente total.
Nº estimado de módulos comerciais	52 baterias de 12 V / 200 Ah (ligadas em série-paralelo)	15 módulos de 51,2 V / 100 Ah	LiFePO <sub>4</sub> ocupa muito menos espaço físico.
Eficiência energética	70–80%	92–97%	Menores perdas no processo de carga/descarga com LiFePO <sub>4</sub> .
Manutenção	Alta (verificação, ventilação, reposição)	Baixíssima	LiFePO <sub>4</sub> necessita de menos manutenção
Segurança térmica	Média-baixa	Alta	LiFePO <sub>4</sub> é mais estável e resistente a sobretemperatura.
Peso total	Muito elevado	Moderado	Impacta transporte, instalação e estrutura.
Vida útil estimada	2 a 4 anos	8 a 15 anos	Grande diferença no custo-benefício.
Custo inicial	Menor	Maior	Apesar disso, LiFePO <sub>4</sub> tem melhor custo por ciclo ao longo da vida útil.

#### 4.4 Estratégia de strings e MPPT (orientação)

Com 24 módulos de 550 W, o arranjo e o número de strings dependem das características elétricas do módulo ( $V_{oc}$ ,  $V_{mp}$ ,  $I_{sc}$ ) e das limitações do(s) inversor(es)/MPPT(s). Opções típicas (a confirmar com ficha técnica dos módulos e do inversor):

Configurar 2 strings de 12 módulos cada (se a tensão de operação em série ficar dentro da faixa MPPT do inversor).

Alternativa: 3 strings de 8 módulos cada para reduzir tensão por string e facilitar compatibilidade.

Recomenda-se inverter híbrido com múltiplos MPPTs (ex.: 2 MPPTs) para maximizar rastreamento e repartir sombreamento/orientação.

(Obs.: a escolha final exige checagem do  $V_{oc}$  máximo a frio e da faixa MPPT do inversor.)

#### 4.5 Cenários de uso (resumo prático com lâmpadas de 10 W)

Iluminação ( $7 \text{ lâmpadas} \times 10 \text{ W} \times 5 \text{ h}$ ) = 0,35 kWh/dia por apto → totalmente viável.

Iluminação + TUG leves (TV, ventilador, carregadores)  $\approx 1,0$  kWh/dia → viável.

Inclusão de geladeira inverter (0,8–1,0 kWh/dia) - possível, reduz folga.

Ar-condicionado, chuveiro elétrico - não viáveis economicamente / operacionalmente em regime compartilhado sem ampliação do PV e do banco de baterias.

#### 4.6 Riscos e impactos operacionais

Bancos de chumbo-ácido demandam ventilação e manutenção; maior chance de sulfatação se descarregados frequentemente.

Picos de potência (arranque de chuveiros/compressores) exigem inversor dimensionado para picos; mesmo que energia média permita, o sistema pode falhar por limites de corrente/peaks.

Recomenda-se instalação de sistema de gerenciamento de energia (EMS) para priorização de cargas (iluminação - geladeira - tomadas essenciais - cargas não essenciais).

**Tabela 2.** Comparação dos Cenários de Consumo por Apartamento

<b>Cenário</b>	<b>Cargas Consideradas</b>	<b>Consumo Estimado (kWh/dia)</b>	<b>Viável com o Sistema?</b>	<b>Justificativa</b>
<b>Somente iluminação</b>	7 lâmpadas × 10 W × 5h	0,35 kWh	Sim (sobra 2,01 kWh)	Baixa potência; excelente compatibilidade.
<b>Iluminação + TUGs leves</b>	TV 100 W (3h), ventilador 50 W (5h), carregadores, iluminação	0,95–1,0 kWh	Sim (sobra 1,3 kWh)	Cargas de baixa demanda, bom equilíbrio.
<b>Iluminação + TUGs leves + geladeira inverter</b>	geladeira 0,8–1,0 kWh/dia	1,4–1,6 kWh	Sim (sobra 0,7–1,0 kWh)	Possível, mas reduz a margem para variações.
<b>Inclusão de ar-condicionado 9.000 BTU/h</b>	2 h/dia (~1,8–2,2 kWh)	> 2,0 kWh	Não	Consumo muito alto para o limite energético disponível.
<b>Inclusão de chuveiro elétrico</b>	5.500 W, 10 minutos	0,9–1,0 kWh por banho	Não	Demanda instantânea e diária incompatível com o sistema.
<b>Uso moderado com controle (geladeira + iluminação + eletrônicos baixos)</b>	Variável	1,2–1,5 kWh	Sim	Desde que haja gestão ativa e horários programados.

## Capítulo 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Contagem de baterias: para a meta de 1 dia de autonomia com 66 kWh/dia, estima-se  $\approx 15$  módulos  $\text{LiFePO}_4$  ( $51,2 \text{ V} \times 100 \text{ Ah}$ ) ou  $\approx 56$  baterias chumbo-ácido ( $12 \text{ V} \times 200 \text{ Ah}$ ). Estes números são estimativas baseadas em unidades comerciais representativas; o projeto executivo e com aplicação real deve adaptar para o modelo e fabricante final.

Recomendação técnica: pela menor ocupação física, maior DoD, maior ciclo de vida e menor manutenção,  $\text{LiFePO}_4$  é a solução recomendada (a despeito de custo inicial maior). Chumbo-ácido deve ser considerado apenas em restrições orçamentárias severas e com plano de substituição e manutenção rotineira.

Equipamentos críticos: além dos painéis e baterias, é imprescindível um inversor com capacidade adequada (sugestão  $\approx 15 \text{ kW}$ ), BMS para  $\text{LiFePO}_4$ , controladores MPPT (integrados ou separados), proteções CC/CA, DPS e sistema de monitoramento (EMS) para controle e priorização de cargas.

Viabilidade de cargas: o sistema dimensionado ( $13,2 \text{ kWp}$ ; 66 kWh/dia) é adequado para suprir iluminação de todos os apartamentos ou tomadas de baixo consumo e geladeiras inverter em vários apartamentos, mas não é indicado para suportar ar-condicionado ou chuveiro elétrico de forma compartilhada sem ampliações consideráveis de PV e baterias.

## REFERÊNCIAS

---

ABSOLAR: R\$ 3 bi em projetos de GD são suspensos por inversão de fluxo. Canal Solar, 8 ago. 2023. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/absolar-r-3-bi-em-projetos-de-gd-sao-suspensos-por-inversao-de-fluxo/>>

ALMEIDA, Marcelo Pinho. Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

AMPERI. ABNT NBR 16274: saiba tudo sobre a norma. Amperi. 8 mar. 2021. Disponível em: <https://amperi.com.br/canais/energia-solar/abnt-nbr-16274/>. Acesso em: 29/10/2025.

APARECIDA, E. F. A. F. Energia Solar Fotovoltaico: Fundamentos, conversão e viabilidade técnica-econômica. GEPEA Poli USP. Produção de Energia, PEA-2420. São Paulo, 2012. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod\\_resource/content/2/Apostila\\_solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf). Acesso em: 17/10/2025.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências.

BRITO, Leonardo Machado de et al. Impactos da geração distribuída fotovoltaica na tensão elétrica de uma rede de distribuição em baixa tensão. In: ANAIS DA XIV CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, 2021, Online. Anais eletrônicos..., Galoá, 2021.

CEPEL. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf/](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf/). Acesso em: 10/09/2025.

CLAMPER. String box Clamper 2e/1s. Disponível em: <https://clamper.com.br/produtos/clamper-solar-sb/>. Acesso em: 03/11/2025.

CRESESB. Energia Solar - Princípios e Aplicações. Rio de Janeiro: CEPEL, 2006. p. 21.

CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014.

.DRONE.Drone modelo DJI Mini 3. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mini-3>>Acesso em: 03/11/2025.

EDP. Energia solar para condomínios: afinal, vale a pena?. Soluções EDP, 24 abr. 2025. Disponível em:< <https://solucoes.edp.com.br/blog/energia-solar-para-condominios/>>.

EUDORA SOLAR. Curso de Energia Solar Fotovoltaica. Campinas – SP, 2015.

FOXESS. Bateria EP Foxess. Disponível em: <https://br.fox-ess.com/baterias-ep/>. Acesso em: 03/11/2025.

INTELBRAS. Benefícios e aplicações do sistema fotovoltaico off grid. Blog da Intelbras, 28 set. 2021. Disponível em: <<https://blog.intelbras.com.br/beneficios-e-aplicacoes-do-sistema-fotovoltaico-off-grid/>>.

KALOGIROU, Soteris A. Engenharia de Energia Solar - Processos e Sistemas. Trad. Luciana Arissawa. Rev. Técnica Giuliano Arns Rampinelli. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.



LINDEN, D.; REDDY, T. B. Handbook of Batteries. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

MAKE SKY BLUE. Imagem Controlador de Carga e Baterias. Disponível em: [https://makeskyblue.com/products/30a-mppt-solar-charge-controller-w-wifi?srsId=AfmBOoo11kO4\\_nTHQwjvhp2OfGmn7LvgsFTviNbNYHApnajVi5kPis9o](https://makeskyblue.com/products/30a-mppt-solar-charge-controller-w-wifi?srsId=AfmBOoo11kO4_nTHQwjvhp2OfGmn7LvgsFTviNbNYHApnajVi5kPis9o). Acesso em: 2025.

MOREIRA, F. M. B. Sistema fotovoltaicos. Tese (Doutorado) — ESTT - Escola Superior de Tecnologia de Tomar, 2016.

NASCIMENTO, C. A. Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica. Lavras, 2004. Pós-graduação em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras.

PADHI, A. K.; NANJUNDASWAMY, K. S.; GOODENOUGH, J. B. Phospho-olivines as Positive-Electrode Materials for Rechargeable Lithium Batteries. Journal of the Electrochemical Society, v. 144, n. 4, p. 1188–1194, 1997.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, v. 1, p. 47–499, 2014.

PORTAL ENERGIA. Imagem de painéis fotovoltaicos. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/porque-paineis-solares-produzem-menos-verao/>. Acesso em: 04/11/2025.

SILVA, F. C. A. da; BELCHIOR, F. N.; FONSECA, M. N. Sistema fotovoltaico off-grid com baterias em zona rural – estudo de caso. Observatório de la Economía Latinoamericana, v. 23, n. 1, 2025. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/8664>. > Acesso em: 04/05/2025.

SINGH, G. K. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. Energy, Elsevier, v. 53, p. 1–13, 2013.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 2. ed. [S.l.]: Editora Érica, 2015.

VONI, Vitor. Tecnologias de Baterias Elétricas – Estamos preparados para os inversores híbridos? Revista Canal Solar, nº 2, p. 43–48, 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/revista-canal-solar/>. Acesso em: 06/09/2025.