



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**Danilo Roberto da Fonseca
Maria Gabriela Pereira Brito
Thiago Troaca Piovesan**

**Geração de Energia Elétrica
Etapa 1 - Projeto Final
Estação de Recarga Off-Grid para Veículos Elétricos**

**Apucarana
2025**

Sumário

1 Definição do escopo do projeto	3
2 Caracterização da curva de carga	3
3 Escolha das tecnologias a serem comparadas	4
4 Revisão bibliográfica inicial	4
5 Metodologia de cálculo	4

1 Definição do escopo do projeto

Objetivo Geral: Projetar um sistema de geração híbrido (solar-diesel) com armazenamento em baterias, capaz de alimentar de forma autônoma (*off-grid*) uma estação de recarga rápida para veículos elétricos em uma rodovia distante, garantindo alta disponibilidade de energia.

Escopo (Objetivos Específicos):

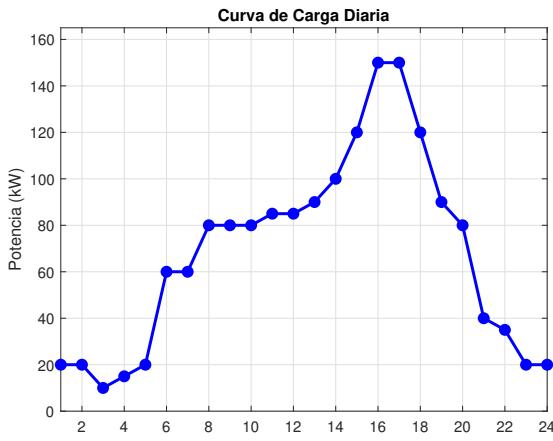
- Levantamento de Requisitos: Definir a potência (kW) e o número de carregadores DC (recarga rápida) e estimar o perfil de demanda diário (kWh/dia) da estação.
- Análise de Recursos: Selecionar uma localização representativa e obter dados de irradiação solar.
- Dimensionamento dos Ativos: Calcular a capacidade instalada (kWp) do sistema fotovoltaico e a capacidade (kWh/kW) do banco de baterias (BESS) para atender a demanda definida.
- Estratégia de Gerenciamento de Energia (EMS): Desenvolver a lógica de controle para gerenciar a intermitência das fontes e o estado de carga das baterias, priorizando a disponibilidade contínua dos carregadores.
- Validação por Simulação: Modelar o sistema em software (PSCAD) para simular a operação, validando a eficácia da estratégia de gerenciamento e confirmando a taxa de disponibilidade da estação.

O projeto propõe o desenvolvimento de um sistema híbrido de geração de energia elétrica, composto por fontes fotovoltaicas e um gerador a diesel, associado a um sistema de armazenamento em baterias (*BESS — Battery Energy Storage System*). O objetivo é garantir a operação autônoma (*off-grid*) e contínua de uma estação de recarga rápida para veículos elétricos localizada em uma região isolada, sem acesso à rede elétrica convencional.

2 Caracterização da curva de carga

Durante nossas pesquisas sobre o tema, não encontramos uma curva de carga específica para um eletroposto localizado em uma rodovia distante, porém levando em consideração as informações encontradas durante as pesquisas, a curva apresentada na figura 1 foi construída.

Figura 1: Curva de carga diária



Fonte: Autoria própria

A curva evidencia picos de consumo concentrados nos horários de maior fluxo veicular (entre as 16 e 18 horas), com o início da utilização no começo dos turnos de trabalho (entre 6 e 8 horas) e períodos de menor utilização durante a madrugada. O pico de potência fica em torno de 150 kW, que é, aproximadamente, a potência correspondente a 10 carregadores ligados simultaneamente. Essas informações serão utilizadas para o correto dimensionamento da

capacidade do sistema fotovoltaico, do banco de baterias e da potência nominal do gerador a diesel, garantindo o equilíbrio entre geração e demanda.

3 Escolha das tecnologias a serem comparadas

Para atender às exigências de confiabilidade e sustentabilidade do sistema, foram analisadas diferentes alternativas tecnológicas para cada subsistema:

- Geração fotovoltaica: módulos monocristalinos e policristalinos serão comparados quanto ao rendimento, custo por kWp instalado e temperatura de operação.
- Gerador a diesel: diferentes potências nominais e eficiências de consumo serão avaliadas para determinar o ponto ótimo entre custo operacional e tempo de operação anual.
- Sistema de armazenamento (BESS): serão comparadas tecnologias de íon-lítio (Li-ion) e chumbo-ácido (VRLA) quanto à densidade energética, profundidade de descarga, tempo de vida útil e custo por kWh armazenado.
- Conversores e inversores: serão avaliadas topologias híbridas com inversores bidirecionais capazes de integrar o BESS e as fontes de geração, priorizando alta eficiência e comunicação com o sistema de gerenciamento de energia (EMS).

A escolha final de cada tecnologia levará em conta o custo total de propriedade, a eficiência energética e a facilidade de integração com o sistema de controle.

4 Revisão bibliográfica inicial

A geração de energia elétrica a partir de sistemas híbridos tem se destacado como uma solução eficiente e sustentável para suprir cargas em locais remotos, especialmente quando associada ao armazenamento em baterias e à integração de fontes renováveis. Segundo [1], o avanço das tecnologias de geração e o aperfeiçoamento dos sistemas de controle têm permitido a diversificação das matrizes energéticas, favorecendo a inserção de fontes não convencionais, como a solar, em aplicações autônomas (off-grid).

De acordo com [2], a confiabilidade de um sistema elétrico depende fortemente da forma como suas fontes de geração e os elementos de armazenamento são dimensionados e operados. Nesse contexto, a integração entre diferentes formas de geração, como o sistema fotovoltaico e o gerador a diesel, possibilita compensar as limitações de cada tecnologia individual, resultando em maior estabilidade e segurança energética.

O entendimento dos fundamentos de geração, conversão e regulação da energia elétrica é essencial para o desenvolvimento de sistemas eficientes. Nos trabalhos descritos em [1] e [3] ressaltam que o dimensionamento adequado dos componentes de um sistema de geração deve considerar tanto a variabilidade da fonte primária quanto as características elétricas da carga e a estratégia de controle adotada.

A energia solar, por sua vez, é uma das alternativas mais promissoras para a geração descentralizada. Conforme visto em [4], o aproveitamento da irradiação solar depende não apenas da escolha dos módulos fotovoltaicos e inversores, mas também de fatores ambientais, como temperatura e orientação dos painéis. A combinação da geração solar com o armazenamento em baterias e o uso de um gerador de apoio permite atingir altos índices de disponibilidade, tornando viável o funcionamento de sistemas isolados, como estações de recarga rápida para veículos elétricos.

Em síntese, a literatura demonstra que o uso de sistemas híbridos fotovoltaico–diesel–bateria, aliado a um gerenciamento eficiente de energia, representa uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente responsável.

5 Metodologia de cálculo

A metodologia de cálculo adotada no projeto envolve uma sequência estruturada de etapas interdependentes. Inicialmente, realiza-se a estimativa da demanda energética, calculando o consumo diário com base no perfil de recargas, número de veículos atendidos, potência dos carregadores e duração média de cada sessão. Em seguida, procede-se ao dimensionamento do sistema fotovoltaico, utilizando dados médios de irradiação solar ($\text{kWh/m}^2/\text{dia}$) e a eficiência dos módulos para determinar a potência instalada necessária (kWp).

O dimensionamento do banco de baterias consiste no cálculo da capacidade de armazenamento (kWh), levando em conta a autonomia desejada em horas de operação sem incidência solar e a profundidade máxima de descarga (DoD). Ao mesmo tempo, definem-se a potência nominal e o tempo máximo de operação diária do gerador a diesel, de modo a garantir a continuidade do fornecimento de energia em dias nublados ou durante períodos de alta demanda.

Na etapa de integração e controle energético, é implementada uma lógica de gerenciamento capaz de priorizar o uso da energia solar e do sistema de baterias, acionando o gerador apenas quando necessário. Por fim, realiza-se a simulação do sistema no software PSCAD, com o objetivo de validar a resposta dinâmica, o fluxo de potência e a confiabilidade operacional, analisando indicadores como taxa de disponibilidade e consumo de combustível.

Referências

- [1] M. R. B. Neto and P. C. M. d. Carvalho, *Geração de Energia Elétrica: Fundamentos*. Rio de Janeiro: Érica, 2012. E-book.
- [2] M. d. O. Pinto, *Energia Elétrica: Geração, Transmissão e Sistemas Interligados*. Rio de Janeiro: LTC, 2013. E-book.
- [3] L. B. d. Reis, *Geração de energia elétrica*. Barueri: Manole, 3 ed., 2017. E-book.
- [4] Vian, *Energia Solar: Fundamentos, Tecnologia e Aplicações*. São Paulo: Editora Blucher, 2021. E-book.