Calculadora de Carregamento de Veículos Elétricos com Geração Fotovoltaica

Documentação Técnica e Guia de Uso

Herick Betin Tiburski | IoTEC LAB - UNIVALI

14 de agosto de 2025

Sumário

1	Introdução	9
2	Objetivo	9
3	Visão Geral da Interface	9
4	3	4 4 4
5	Resumo das Principais Fórmulas	5
6	Origem e Referências das Fórmulas	6
7	Guia de Uso da Aplicação 7.1 Fluxo Geral 7.2 Carros 7.3 Placas (Arrays FV) 7.4 Helpers 7.5 Salvar Modelos e Configurações 7.6 Resultados e KPIs	
8	Persistência (localStorage)	10
9	Cenários de Exemplo 9.1 Cenário 1: Frota Pequena	

10 Limitações e Próximos Passos	11
11 Boas Práticas de Entrada de Dados	11
12 Referências	11

1 Introdução

Esta aplicação web (arquivo único calc.html) auxilia na análise de carregamento de múltiplos veículos elétricos (VEs) frente à geração fotovoltaica (FV) disponível (um ou mais conjuntos de placas) e parâmetros de desempenho. Permite:

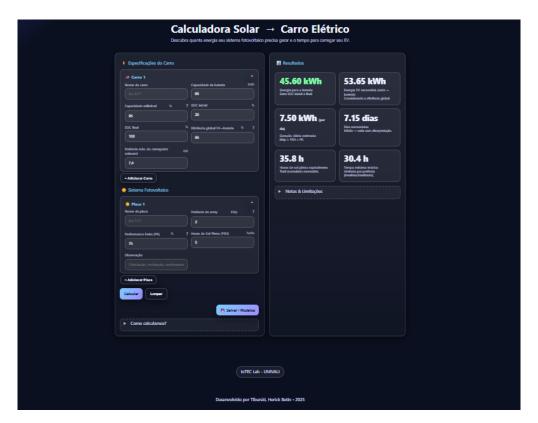
- Inserir vários carros com perfis distintos de bateria e uso diário.
- Inserir diversos conjuntos de placas (arrays) fotovoltaicas.
- Aplicar modelos (templates) salvos para agilizar cadastros.
- Calcular energia necessária, energia gerada, tempo de carga estimado e indicadores (KPIs).
- Persistir configurações no navegador (localStorage) sem backend.
- Usar "helpers" para derivar parâmetros críticos (PR, eficiência global, capacidade utilizável, potência do array).

2 Objetivo

Fornecer ferramenta exploratória rápida para dimensionamento preliminar ou comparação de cenários de carregamento de VEs alimentados parcial ou totalmente por geração FV.

3 Visão Geral da Interface

A interface possui duas colunas: à esquerda cartões de entrada (carros e placas) e à direita KPIs e resultados consolidados. Um modal centralizado gerencia salvamento/carregamento de modelos e configurações. Helpers expansíveis aparecem dentro dos cartões.



4 Fundamentos Teóricos

Esta seção descreve a base das fórmulas empregadas.

4.1 Energia Demandada por Veículo

Para um veículo i, com energia diária requerida (estimada ou derivada do uso), representamos:

$$E_{d,i} = \text{Distância}_i \times \text{Consumo Específico}_i$$

Caso a entrada seja diretamente em kWh/dia (prática comum), esse valor já é $E_{d,i}$. A energia total diária dos veículos:

$$E_{d,\text{total}} = \sum_{i} E_{d,i}$$

4.2 Capacidade Utilizável da Bateria

Se a bateria nominal tem capacidade C_{nom} (kWh) e a fração utilizável (profundidade de descarga efetiva) é η_{util} , então:

$$C_{\rm util} = C_{\rm nom} \times \eta_{\rm util}$$

O helper permite calcular $\eta_{\rm util}$ a partir de valores nominal e estimativa de kWh efetivamente disponíveis:

$$\eta_{\text{util}} = \frac{C_{\text{util}}}{C_{\text{nom}}}$$

4.3 Potência Instalada FV

Para um conjunto (placa/array) j:

$$P_{\text{array},j} = \frac{P_{\text{m\'odulo}} \times N_{\text{m\'odulos}}}{1000} \text{ (kWp)}$$

Potência total:

$$P_{\text{array,total}} = \sum_{j} P_{\text{array},j}$$

4.4 Irradiação e Energia Primária

Usa-se a irradiação global diária no plano (ou Horas de Sol Pleno) H (em kWh/m²/dia ou horas equivalentes). A energia DC nominal antes de perdas:

$$E_{\mathrm{DC}} = P_{\mathrm{array,total}} \times H$$

4.5 Performance Ratio (PR)

O Performance Ratio (PR) agrega perdas de temperatura, sujeira, mismatch, conversão, etc. (0.6–0.85 tipicamente):

$$E_{\rm PR} = E_{\rm DC} \times PR$$

(Ref.: IEC 61724 e literatura de avaliação de desempenho FV.)

4.6 Eficiência Global ao Carregamento

A eficiência global η_{glob} contempla inversor, conversores AC/DC, perdas de cabos e eficiência de carregador/gestão de bateria:

$$E_{\rm entregue} = E_{\rm PR} \times \eta_{\rm glob}$$

4.7 Balanço Energético Diário

Comparação entre energia FV disponível para carga e demanda dos veículos:

$$\Delta E = E_{\text{entregue}} - E_{d,\text{total}}$$

Se $\Delta E \geq 0$: geração cobre a demanda (potencial excedente). Se $\Delta E < 0$: déficit (energia da rede necessária).

4.8 Tempo Estimado de Carga

Se a potência de carregamento efetiva (limite do carregador ou tomada) é P_{carga} :

$$t_{\text{carga},i} = \frac{E_{d,i}}{P_{\text{carga}}}$$

A aplicação pode agregar tempos médios ponderados ou apresentar intervalo.

4.9 Dimensionamento Inverso (Exploratório)

Desejando suprir totalmente $E_{d,\text{total}}$:

$$P_{\text{array,req}} = \frac{E_{d,\text{total}}}{H \times PR \times \eta_{\text{glob}}}$$

(O helper de potência ajuda a montar o array para atingir valores próximos.)

5 Resumo das Principais Fórmulas

$$\begin{split} P_{\text{array,total}} &= \sum_{j} \frac{P_{\text{m\'odulo},j} N_{j}}{1000} \\ E_{\text{DC}} &= P_{\text{array,total}} \times H \\ E_{\text{entregue}} &= P_{\text{array,total}} \times H \times PR \times \eta_{\text{glob}} \\ C_{\text{util}} &= C_{\text{nom}} \times \eta_{\text{util}} \\ E_{d,\text{total}} &= \sum_{i} E_{d,i} \\ \Delta E &= E_{\text{entregue}} - E_{d,\text{total}} \\ P_{\text{array,req}} &= \frac{E_{d,\text{total}}}{H \times PR \times \eta_{\text{glob}}} \end{split}$$

6 Origem e Referências das Fórmulas

- Relações básicas de energia/potência: $E = P \times t$ (física fundamental).
- Dimensionamento preliminar FV: guias de engenharia solar (ex.: Duffie & Beckman, IEC 61724 para PR).
- Eficiências compostas: abordagem multiplicativa padrão em balanços de perdas (inversor, cabos, conversão).
- Capacidade utilizável: prática de BMS e profundidade de descarga segura (DoD) em baterias de íons de lítio.

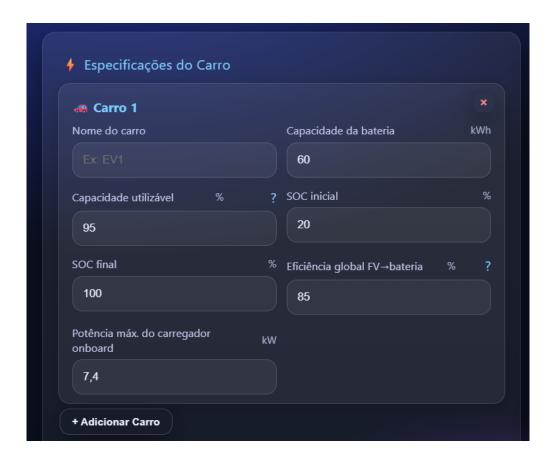
7 Guia de Uso da Aplicação

7.1 Fluxo Geral

- 1. Adicione ou ajuste veículos (Carros).
- 2. Adicione ou ajuste conjuntos fotovoltaicos (Placas).
- 3. Use helpers para calcular parâmetros (PR, eficiência, etc.) se tiver dúvidas nos valores.
- 4. Clique em Calcular (ou a aplicação recalcula automaticamente, conforme implementação).
- 5. Analise KPIs e mensagens (excedente ou déficit).
- 6. Salve o cenário (Configuração) se quiser reutilizar.

7.2 Carros

Campos típicos (ex.: nome, energia diária, capacidade nominal, fração utilizável, potência de carga). Ajuste cada um; adicionar novo carro via botão "Adicionar Carro".



7.3 Placas (Arrays FV)

Informe potência unitária do módulo, quantidade de módulos, irradiação (Horas de Sol Pleno ou $kWh/m^2/dia$) e outros parâmetros. Botão "Adicionar Placa" inclui novo cartão.



7.4 Helpers

Cada helper expande uma mini-calculadora:

• Potência do Array: converte módulos em kWp.

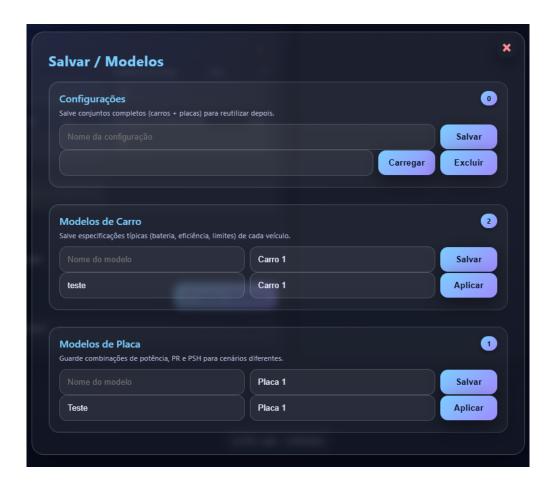
- PR: estima Performance Ratio a partir de perdas percentuais (ou usa índice direto).
- Eficiência Global: combina perdas de etapas (ex.: inversor, carregador).
- Capacidade Utilizável: calcula percentual utilizável da bateria.



7.5 Salvar Modelos e Configurações

O modal permite:

- Salvar Modelo de Carro (apenas o template de um veículo selecionado).
- Salvar Modelo de Placa.
- Salvar Configuração (todos os carros e placas do cenário).
- Carregar/Excluir modelos ou configurações.



7.6 Resultados e KPIs

Painel direito mostra:

- Energia total demandada (kWh/dia).
- Geração disponível (kWh/dia) após PR e eficiência.
- Excedente ou déficit.
- Tempo(s) de carga estimado(s).
- Indicadores auxiliares (percentuais).



8 Persistência (localStorage)

Chaves usadas (nomes podem variar conforme implementação final):

- evConfigs: lista de configurações salvas (JSON).
- carModels: modelos de carros.
- placaModels: modelos de placas.
- evLastConfig: ID ou objeto da última configuração carregada.



9 Cenários de Exemplo

9.1 Cenário 1: Frota Pequena

Dois veículos (20 e 15 kWh/dia); array FV de 5 kWp; H = 5 h; PR = 0.78; $\eta_{\text{glob}} = 0.88$.

$$E_{\rm entregue} = 5 \times 5 \times 0.78 \times 0.88 = 17.16 \ \mathrm{kWh/dia}$$

Demanda total: 35 kWh/dia. Déficit de 17,84 kWh/dia (necessário complementar com rede ou ampliar FV).

9.2 Cenário 2: Ajustando Potência

Objetivo: suprir 35 kWh/dia com os mesmos H, PR, η .

$$P_{\text{array,req}} = \frac{35}{5 \times 0.78 \times 0.88} \approx 10.18 \text{ kWp}$$

Dimensionar módulos até potência próxima (ex.: 26 módulos de 390 W $\approx 10{,}14$ kWp).

10 Limitações e Próximos Passos

- Simplificação de perfis de carga (não considera curvas horárias).
- Não modela armazenamento intermediário (baterias estacionárias).
- PR e eficiência global tratados como escalares (não dependem de temperatura hora a hora).
- Possíveis melhorias: import/export de JSON externo; duplicar entidades; validação mais granular; perfil horário; integração com tarifas.

11 Boas Práticas de Entrada de Dados

- Validar se PR está em faixa realista (0,65–0,85).
- Eficiência global típica 0,80–0,92 para cadeia completa.
- Usar média anual de Horas de Sol Pleno ou irradiação mensal para estudos sazonais.

12 Referências

Referências

- [1] IEC 61724: Photovoltaic system performance monitoring.
- [2] Duffie, J. A., Beckman, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes.
- [3] Huld, T. et al. A power-rating model for crystalline silicon PV modules. Solar Energy.
- [4] Pesaran, A. Battery thermal models for hybrid vehicle simulations. NREL.