

Projeto 2 – Dimensionamento do BESS utilizando Otimização baseada em IA

Duração: Outubro/2025 – Julho/2027

1. Resumo e Justificativa

O avanço da geração de energia renovável, em especial solar fotovoltaica e eólica, tem imposto novos desafios à operação dos sistemas elétricos devido à sua variabilidade e intermitência. Entre as principais consequências destacam-se o aumento do curtailment (despacho reduzido por restrições da rede), a menor previsibilidade da geração e a necessidade de maior flexibilidade operacional. Nesse contexto, os sistemas de armazenamento de energia em baterias (BESS – Battery Energy Storage Systems) surgem como solução estratégica para melhorar o aproveitamento da geração renovável, prestar serviços ancilares e promover a arbitragem energética, contribuindo para a estabilidade e eficiência econômica do sistema.

Entretanto, o dimensionamento ótimo de um BESS acoplado a plantas renováveis permanece um desafio complexo, pois envolve múltiplas variáveis técnicas e econômicas, além de condições de incerteza nos preços de energia, perfis de carga, geração e degradação das baterias. Assim, métodos tradicionais de otimização frequentemente não capturam a totalidade das interações entre variáveis técnicas e financeiras.

O presente projeto propõe o desenvolvimento e aplicação de um modelo de dimensionamento ótimo de sistemas de armazenamento acoplados a plantas renováveis, utilizando técnicas de otimização baseadas em inteligência artificial (IA) — como Algoritmos Genéticos, Particle Swarm Optimization (PSO) e Reinforcement Learning — visando maximizar o valor econômico e operacional do investimento. O estudo será aplicado a um caso real de planta híbrida (solar e eólica), considerando dados operacionais e de mercado de energia elétrica no Brasil.

2. Objetivo Geral

Desenvolver e aplicar uma metodologia baseada em inteligência artificial para o dimensionamento ótimo de sistemas de armazenamento de energia integrados a plantas de geração renovável, com vistas à maximização dos benefícios técnicos e econômicos do sistema.

3. Objetivos Específicos

- Levantar e organizar dados técnicos e econômicos referentes à planta renovável e ao sistema de armazenamento (custos, eficiência, degradação, perfis de geração e preços de energia).
- Desenvolver um modelo computacional de simulação e otimização do sistema híbrido (geração + armazenamento).
- Implementar técnicas de otimização baseadas em IA (como algoritmos genéticos, PSO e aprendizado por reforço) para determinar o tamanho ótimo do BESS considerando múltiplos critérios (custo, desempenho e confiabilidade).
- Avaliar o impacto do BESS na redução do curtailment, prestação de serviços ancilares e arbitragem energética.
- Analisar os resultados sob perspectivas técnicas e econômicas, incluindo análise de sensibilidade e avaliação de retorno sobre o investimento.
- Validar o modelo em um caso real de planta híbrida em parceria com uma empresa do setor elétrico, promovendo a transferência de conhecimento e inovação tecnológica.

4. Metodologia

O projeto será desenvolvido em quatro etapas principais:

Etapas 1 – Levantamento e modelagem de dados:

Coleta de dados operacionais e econômicos da planta renovável e do sistema de armazenamento. Modelagem dos perfis horários de geração solar e eólica, demanda, preços de energia e restrições técnicas. Estudo de características de degradação e eficiência do BESS.

Etapas 2 – Desenvolvimento do modelo de simulação:

Implementação de um modelo matemático e computacional capaz de simular a operação integrada da planta renovável e do sistema de armazenamento, considerando restrições técnicas (limites de potência e energia, eficiência de carga/descarga) e econômicas (custos de investimento e operação).

Etapas 3 – Aplicação de técnicas de otimização baseadas em IA:

Desenvolvimento de algoritmos de busca metaheurística (GA, PSO) e Reinforcement Learning para encontrar o dimensionamento ótimo do BESS. A função objetivo considerará métricas como custo nivelado de energia (LCOE), valor presente líquido (VPL), redução de curtailment e receita com arbitragem.

Etapas 4 – Validação e análise de resultados:

Aplicação do modelo ao caso real em parceria com a empresa, validação dos resultados com dados históricos e projeções de mercado, e análise comparativa entre técnicas de otimização. Elaboração de recomendações práticas e relatório técnico.

5. Resultados Esperados

- Desenvolvimento de uma ferramenta computacional de apoio à decisão para dimensionamento ótimo de BESS acoplados a plantas renováveis.
- Identificação do tamanho ótimo do sistema de armazenamento em função dos perfis de geração, preços de energia e custos de investimento.
- Avaliação dos ganhos técnicos e econômicos do uso do BESS: redução do curtailment, incremento da receita com arbitragem e serviços ancilares, e melhoria da confiabilidade da planta.
- Artigos técnicos e científicos submetidos a conferências e periódicos especializados.
- Transferência de tecnologia e disseminação de conhecimento aplicado para a empresa parceira e o setor elétrico nacional.

6. Cronograma

Etapas	Período	Descrição
Revisão bibliográfica e levantamento de dados	Out/2025 – Fev/2026	Levantamento e análise de publicações científicas, relatórios técnicos e dados operacionais relacionados a sistemas BESS acoplados a plantas renováveis. Coleta de parâmetros técnicos (custos, eficiência, degradação, capacidade, taxas de descarregamento) e dados de mercado (preço da energia, perfis de geração e demanda).
Modelagem matemática e computacional	Mar/2026 – Mai/2026	Desenvolvimento do modelo matemático que descreve a operação integrada da planta renovável e do sistema de armazenamento, incluindo restrições técnicas e econômicas. Implementação inicial do modelo computacional em ambiente de programação (Python).
Desenvolvimento dos algoritmos de IA (GA, PSO, RL)	Jun/2026 – Set/2026	Implementação e calibração de técnicas de otimização baseadas em inteligência artificial, como Algoritmos Genéticos (GA), Particle Swarm Optimization (PSO) e Reinforcement Learning (RL). Definição da função objetivo e dos parâmetros de controle para determinar o dimensionamento ótimo do BESS.

Simulações e análises de sensibilidade	Out/2026 – Dez/2026	Execução das simulações computacionais sob diferentes cenários de geração, demanda e preços de energia. Análise de sensibilidade para avaliar o impacto das variáveis-chave (capacidade da bateria, custo de investimento, tarifas) sobre o desempenho técnico e econômico do sistema.
Validação em caso real e relatório técnico	Jan/2027 – Mar/2027	Aplicação e validação do modelo e dos algoritmos em um caso real em parceria com empresa do setor elétrico. Comparação dos resultados simulados com dados históricos e elaboração de relatório técnico contendo os resultados e recomendações práticas.
Elaboração de publicações e disseminação de resultados	Abr/2027 – Jul/2027	Consolidação dos resultados obtidos e preparação de artigos científicos e técnicos para submissão em conferências e periódicos. Divulgação dos resultados junto à empresas parceiras e instituições acadêmicas, promovendo a transferência de conhecimento.