Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica

Leticia Rebecca Medeiros de Lucena

# Relatório de Estágio Supervisionado: Instituto Tecnológico Edson Mororó Moura

Campina Grande, Paraíba, Brasil
26 de março de 2026

Leticia Rebecca Medeiros de Lucena

# Relatório de Estágio Supervisionado: Instituto Tecnológico Edson Mororó Moura

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico

Orientador: Prof. Reuben Palmer Rezende de Sousa, Dr.

Campina Grande, Paraíba, Brasil
26 de março de 2026

Leticia Rebecca Medeiros de Lucena

# Relatório de Estágio Supervisionado: Instituto Tecnológico Edson Mororó Moura

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Aprovado em: ___/___/___

---

**Prof. Reuben Palmer Rezende de Sousa, Dr.**
Orientador

---

**Prof. Alexandre Cunha Oliveira, Dr.**
Avaliador

Campina Grande, Paraíba, Brasil
26 de março de 2026

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao Senhor, por ter me capacitado, guiado meus passos e me dado força ao longo de toda essa jornada. O Senhor me sustentou quando eu não tinha forças para seguir e me concedeu a graça de finalizar a graduação, a Ele todo o louvor. "Porque dEle, e por Ele, e para Ele são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente. Amém!"(Romanos 11:36).

Aos meus pais, pelo apoio incondicional, incentivo e compreensão em todos os momentos. Infelizmente meu pai não verá a filha oficialmente engenheira, mas se fez presente em vida trazendo motivação nos dias mais difíceis. Mainha, apesar de tantas circunstâncias desafiadoras, permanece como uma rocha para as filhas. Meus pais acreditaram em mim quando eu não acreditava.

Às minhas irmãs e meu cunhado, que considero um irmão mais velho. Sou muito grata por perceber que não somos unidas apenas por laços de sangue e, apesar da distância física, o amor segue o mesmo. Meu cunhado-irmão, fonte de inspiração e orgulho, trouxe conselhos valiosos desde a aprovação no vestibular até aqui. A engenharia parecia mais interessante por causa dele.

À Daniel Loula, o homem que me mostrou que amor é construção, suporte, carinho e compreensão. Apesar de não ter visto meu início de jornada na graduação, o fim dela não seria leve sem ele.

Aos professores Reuben Palmer e Alexandre Cunha, pelos ensinamentos, orientação e contribuição fundamental para o meu desenvolvimento. Durante o período de capacitação no Moura Tech, proporcionaram a base necessária para que eu pudesse iniciar minha trajetória profissional e ingressar no mercado de trabalho.

*"I am looking for a lot of people who have an infinite capacity to not know what can't be done"*

Henry Ford

# Resumo

Neste relatório, estão descritas as atividades realizadas pela aluna Leticia Rebecca Medeiros de Lucena durante o período de estágio supervisionado no Instituto Tecnológico Edson Mororó Moura. O estágio foi realizado durante o período de 22/12/2025 a 20/02/2026 com carga horária de 40 horas semanais. Este trabalho descreve as atividades realizadas relacionadas a sistemas de armazenamento de energia em baterias, abordando temas como segunda vida de baterias de íons de lítio e aplicações no contexto dos sistemas elétricos de potência.

**Palavras-chaves**: armazenamento de energia em baterias, BESS, baterias em segunda vida, reciclagem de baterias, ultra alta potência.

# Abstract

This report describes the activities carried out by the student Leticia Rebecca Medeiros de Lucena during the supervised internship at the Edson Mororó Moura Technological Institute. The internship took place from December 22, 2025 to February 20, 2026, with a workload of 40 hours per week. This work presents the activities related to battery energy storage systems, addressing topics such as second-life lithium-ion batteries and their applications in the context of electric power systems.

**Key-words**: battery energy storage systems (BESS), second-life batteries, battery recycling, ultra-high voltage.

# Lista de abreviaturas e siglas

| | |
|---|---|
| UAEE | Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica |
| CEEI | Centro de Engenharia Elétrica e Informática |
| UFCG | Universidade Federal de Campina Grande |
| ITEMM | Instituto Tecnológico Edson Mororó Moura |
| UAT | Ultra-Alta Tensão |
| BESS | Battery Energy Storage Systems |
| TAF | Testes de Aceitação em Fábrica |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronic Engineers |
| ICT | Instituto de Ciência e Tecnologia |

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Instituto Tecnológico Edson Mororó Moura - Belo Jardim (PE. Fonte: Site Institucional ITEMM . . . . . 3
Figura 2 – Interface de materiais da equipe: Menu inicial. Fonte: Autoria própria. 9
Figura 3 – Interface de materiais da equipe: Menu de cursos disponíveis. Fonte: Autoria própria. . . . . 10
Figura 4 – Interface de materiais da equipe: Interface de aula com minutagem e notas de aula. Fonte: Autoria própria. . . . . 10
Figura 5 – Interface de materiais da equipe: Menu de materiais auxiliares para estudo. Fonte: Autoria própria. . . . . 11
Figura 6 – Análise de artigos (*IEEE Xplore*) sobre UAT publicados no mundo. Fonte: Autoria própria. . . . . 13
Figura 7 – Análise de artigos (*IEEE Xplore*) correlacionando UAT e BESS publicados no mundo. Fonte: Autoria própria. . . . . 13
Figura 8 – Taxas de *curtailment* e comissionamento de linhas (barras amarelas) de UAT na China. Fonte: Autoria própria. . . . . 14

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Palavras-chave com divisão de temas para pesquisa em banco de artigos sobre Ultra Alta Tensão. Fonte: Autoria própria. . . . . 12
Tabela 2 – Mapeamento de linhas de transmissão em ultra-alta tensão. Fonte: Autoria própria com dados de HVDC World (2026). . . . . 16
Tabela 3 – Mapeamento de soluções para armazenamento de energia com baterias em segunda vida. Fonte: Autoria própria. . . . . 18

# Sumário


1 INTRODUÇÃO . . . . . 1
1.1 Objetivos . . . . . 1
1.1.1 Objetivo Geral . . . . . 1
1.1.2 Objetivos Específicos . . . . . 2

2 LOCAL DE ESTÁGIO . . . . . 3

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . . 5
3.1 Sistemas de armazenamento de energia . . . . . 5
3.2 Segunda Vida de Baterias de Íons de Lítio . . . . . 6
3.3 Sistemas de Transmissão em Ultra Alta Tensão . . . . . 7

4 ATIVIDADES REALIZADAS . . . . . 9
4.1 Organização de materiais técnicos e integração da equipe . . . . . 9
4.2 Elaboração de documentação institucional para proposta EMBRAPII 10
4.3 Estudo introdutório de estado da arte em tecnologias de Ultra Alta Tensão . . . . . 11
4.4 Estudo introdutório sobre segunda vida de baterias de íons de lítio . 17
4.5 Capacitação em segurança em instalações elétricas (NR-10) . . . . 18

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . . 20

REFERÊNCIAS . . . . . 21

# 1 Introdução

O desenvolvimento tecnológico no setor elétrico tem sido impulsionado pela crescente necessidade de sistemas mais eficientes, sustentáveis e capazes de integrar diferentes fontes de geração de energia. Nesse contexto, temas como transmissão em ultra alta tensão, armazenamento de energia e reaproveitamento de baterias têm ganhado destaque no cenário científico e industrial, exigindo o avanço de pesquisas e o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas.

Instituições de pesquisa e inovação desempenham papel fundamental nesse processo, atuando na geração de conhecimento, no desenvolvimento de tecnologias e na transferência de soluções para o setor produtivo. A participação de estudantes em atividades de pesquisa e desenvolvimento durante a graduação contribui significativamente para a formação profissional, permitindo a aplicação prática de conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso. O estágio supervisionado, por sua vez, constitui uma importante etapa na formação acadêmica, pois proporciona ao estudante contato direto com o ambiente profissional e com os desafios reais enfrentados em projetos de engenharia.

Nesse contexto, o presente relatório apresenta as atividades desenvolvidas durante o estágio realizado no Instituto de Engenharia e Tecnologia do ITEMM, com foco no apoio a projetos de pesquisa e desenvolvimento na área de sistemas de energia e tecnologias associadas. As atividades envolveram estudos de estado da arte, organização de documentação técnica, apoio à elaboração de propostas de projetos e capacitação para atuação em atividades relacionadas ao setor elétrico.

## 1.1 Objetivos

Esta seção apresenta os objetivos do estágio realizado, contemplando tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos que orientaram o desenvolvimento das atividades ao longo do período. Esses objetivos foram definidos de forma a direcionar as ações desempenhadas, alinhando-se às demandas dos projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) nos quais o estágio esteve inserido.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Apoiar atividades de pesquisa, organização e análise de informações técnicas no contexto de sistemas de armazenamento de energia, por meio do levantamento de dados, estudo do estado da arte e desenvolvimento de ferramentas de apoio à organização do conhecimento.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar estudos introdutórios de estado da arte nas áreas de sistemas de armazenamento de energia e transmissão em ultra-alta tensão, com base em literatura técnica e científica;
- Mapear soluções de armazenamento de energia com baterias de segunda vida disponíveis no mercado, analisando suas aplicações, características técnicas e modelos de parceria;
- Investigar iniciativas e projetos relevantes envolvendo o uso de baterias de segunda vida em sistemas de armazenamento de energia;
- Desenvolver ferramentas de apoio à organização das informações técnicas, incluindo a elaboração de um documento interativo para facilitar o acesso aos materiais do grupo de trabalho;
- Contribuir para a estruturação e organização de informações relacionadas a projetos em andamento na área de armazenamento de energia.

# 2 Local de Estágio

O Instituto de Tecnologia Edson Mororó Moura (ITEMM) tem como objetivo exercer, desenvolver e apoiar atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica. Para tanto, se compromete com atividades de (1) capacitação contínua nas atividades de gerenciamento e desenvolvimento de projetos tecnológicos, compatíveis com os padrões internacionais de qualidade; (2) promoção de eventos, cursos, seminários e treinamentos que contribuam para o desenvolvimento tecnológico das empresas nacionais e internacionais; (3) prestação de serviços de desenvolvimento tecnológico, pesquisa e desenvolvimento; (4) pesquisas mercadológicas; (5) criação, adaptação, qualificação e certificação de tecnologia, produtos, sistemas e processos, dentre outros.

O ITEMM conta com infraestrutura própria e adequada para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas, incluindo laboratórios de pesquisa voltados à prototipação, caracterização e validação de produtos e sistemas. O Instituto dispõe ainda de laboratório de eletrônica dedicado à montagem, instrumentação e teste de circuitos eletrônicos, permitindo o desenvolvimento completo de hardware, desde provas de conceito até protótipos funcionais. Essa infraestrutura viabiliza a execução interna das principais etapas de P&D.

Referência no desenvolvimento e aplicação de Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias (BESS), o instituto destaca-se por entregar resultados expressivos e soluções inovadoras. Com ampla expertise, atua em todas as etapas da engenharia, abrangendo desde o desenvolvimento de baterias, com destaque para as de chumbo-ácido carbono, até a criação e implementação da lógica subjacente às aplicações que o BESS pode oferecer. Além disso, possui um sólido histórico na execução de projetos completos de BESS, incluindo dimensionamento técnico, realização de Testes de Aceitação em Fábrica (TAF), comissionamento, operação assistida e criação de modelos de negócios persona-

Figura 1 – Instituto Tecnológico Edson Mororó Moura - Belo Jardim (PE. Fonte: Site Institucional ITEMM

lizados para atender às demandas específicas dos clientes e seus contextos de uso. Em suma, realiza projetos sob demanda, parcerias estratégicas e desenvolvimento tecnológico aplicado, não sendo possível mensurar market share nos moldes convencionais, uma vez que o Instituto não compete diretamente por participação de mercado, mas sim contribui para a geração de valor, capacitação tecnológica e fortalecimento da competitividade da indústria.

Dentre seus principais cases de sucesso, destacam-se o desenvolvimento das baterias AGM e EFB atualmente produzidas pela Acumuladores Moura, sendo esta última reconhecida pela Volkswagen como a melhor bateria EFB do mundo, com posterior exportação da tecnologia para produção na Índia, em parceria com a Exide. Destacam-se, ainda, o desenvolvimento do primeiro Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias (BESS) do país com tecnologia nacional, bem como a estruturação da plataforma "Moura Energia como Serviço", que resultou na criação de um novo modelo de negócio para o mercado de telecomunicações.

Como ICT, o ITEMM atua majoritariamente no desenvolvimento tecnológico pré-competitivo e aplicado, com posterior internalização das soluções por empresas parceiras, contribuindo diretamente para a criação de novos produtos, melhoria de desempenho operacional e expansão do portfólio tecnológico, especialmente nos segmentos de armazenamento de energia, mobilidade elétrica e soluções digitais associadas a baterias.

# 3 Fundamentação Teórica

Esta seção apresenta os principais conceitos e fundamentos teóricos que embasam o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, são abordados os sistemas de armazenamento de energia em baterias, com destaque para suas características operacionais e aplicações. Em seguida, discute-se o conceito de segunda vida de baterias, enfatizando seu potencial técnico e ambiental. Por fim, são apresentados os fundamentos dos sistemas de transmissão em ultra alta tensão, bem como os desafios associados à sua operação e integração com fontes renováveis.

## 3.1 Sistemas de armazenamento de energia

O armazenamento de energia tem se tornado um elemento fundamental na modernização dos sistemas elétricos, especialmente diante do crescimento da participação de fontes renováveis (1), como energia solar e eólica. Essas fontes apresentam variabilidade na geração de energia, o que exige soluções capazes de equilibrar a oferta e a demanda no sistema elétrico. Nesse contexto, os sistemas de armazenamento de energia em baterias, conhecidos como BESS, vêm sendo utilizados e considerados como uma solução tecnológica capaz de melhorar a flexibilidade e a estabilidade do sistema elétrico (2). Esses sistemas permitem armazenar energia elétrica em momentos de baixa demanda ou elevada geração e liberá-la posteriormente quando necessário.

Os BESS podem desempenhar diversas funções no sistema elétrico, incluindo:

- Suavização da geração de fontes renováveis;
- Suporte à estabilidade de frequência e tensão;
- Deslocamento temporal de energia (*energy shifting*);
- Suporte a redes de transmissão e distribuição;
- Melhoria da confiabilidade do sistema elétrico.

Entre as diferentes tecnologias de baterias empregadas em sistemas de armazenamento de energia, as baterias de íons de lítio têm se destacado em função de suas características técnicas, como elevada densidade energética, alta eficiência e rápida resposta operacional (3). Essas propriedades tornam essa tecnologia particularmente adequada para aplicações que demandam desempenho dinâmico e confiabilidade, sendo amplamente aplicada em veículos elétricos, sistemas estacionários de armazenamento e dispositivos eletrônicos. Nesse contexto, o avanço da eletrificação do setor de transportes, aliado à crescente

inserção de fontes renováveis intermitentes, tem impulsionado a demanda por soluções de armazenamento baseadas em baterias. Como consequência, projeta-se uma expansão significativa da utilização de sistemas de armazenamento em baterias nas próximas décadas, consolidando seu papel estratégico na transição energética.

## 3.2 Segunda Vida de Baterias de Íons de Lítio

O aumento da utilização de baterias de íons de lítio, especialmente em veículos elétricos, tem levantado importantes questões relacionadas ao gerenciamento do ciclo de vida desses sistemas. Após vários anos de operação, as baterias utilizadas em veículos elétricos podem apresentar redução de capacidade e desempenho, tornando-se inadequadas para aplicações automotivas que exigem altos níveis de potência e confiabilidade. Entretanto, mesmo após o término de sua vida útil em veículos elétricos, essas baterias ainda podem possuir capacidade suficiente para serem utilizadas em aplicações menos exigentes. Esse conceito é conhecido como segunda vida de baterias (*second-life batteries*).

A reutilização dessas baterias em aplicações estacionárias (4) pode contribuir para reduzir os custos de sistemas de armazenamento de energia e prolongar a vida útil dos materiais utilizados na fabricação das baterias. Entre as aplicações possíveis para baterias de segunda vida destacam-se:

- Sistemas estacionários de armazenamento de energia;
- Integração de energias renováveis;
- Armazenamento residencial ou comercial;
- Suporte a microredes.

Além da reutilização, a reciclagem de baterias também desempenha papel fundamental na sustentabilidade dessa tecnologia. Os processos de reciclagem permitem recuperar materiais valiosos presentes nas baterias, como lítio, cobalto, níquel e cobre, reduzindo a necessidade de extração de novos recursos naturais e mitigando os impactos ambientais associados ao descarte inadequado desses dispositivos. Nesse contexto, observa-se que a reciclagem de baterias já apresenta viabilidade econômica e vem sendo consolidada por meio de iniciativas industriais concretas. Exemplos recentes (5) incluem a parceria entre Volvo e CATL, estabelecida em 2024, voltada à reciclagem de baterias de veículos elétricos com reaproveitamento dos materiais na produção de novos veículos. De forma semelhante, a Toyota tem expandido seus programas de reciclagem nos Estados Unidos em colaboração com a *Cirba Solutions*, com foco na recuperação de minerais críticos em larga escala. Adicionalmente, empresas como a *Glencore* têm firmado acordos estratégicos de longo

prazo, como a parceria com a *ACE Green Recycling*, visando o fornecimento de metais reciclados para a cadeia produtiva de baterias. Essas iniciativas evidenciam não apenas o avanço tecnológico, mas também a consolidação de um modelo economicamente viável baseado na recuperação e reinserção de materiais no ciclo produtivo. Dessa forma, estratégias de segunda vida, aliadas à reciclagem, configuram-se como elementos centrais para o desenvolvimento de uma cadeia sustentável e economicamente viável de armazenamento de energia baseada em baterias.

## 3.3 Sistemas de Transmissão em Ultra Alta Tensão

Os sistemas de transmissão em Ultra Alta Tensão (UAT) caracterizam-se pela operação em níveis de tensão significativamente elevados, com tensão tipicamente de 800 kV em corrente contínua (HVDC). O principal objetivo dessa tecnologia é viabilizar o transporte eficiente de grandes blocos de potência elétrica por longas distâncias (6), reduzindo perdas elétricas associadas à transmissão e aumentando a capacidade de transferência de energia. No caso dos sistemas em corrente contínua, destaca-se ainda a possibilidade de interligação entre sistemas assíncronos e o maior controle sobre o fluxo de potência, enquanto sistemas em corrente alternada permitem maior flexibilidade operacional dentro de redes já interconectadas. Dessa forma, a adoção de tecnologias em ultra alta tensão tem sido impulsionada pela necessidade de integrar regiões com elevado potencial de geração, muitas vezes afastadas dos centros de consumo.

Apesar das vantagens associadas à transmissão em UAT, como a redução de perdas e o aumento da capacidade de transporte de energia a longas distâncias, essa tecnologia também impõe desafios técnicos (7) relevantes à operação dos sistemas elétricos. Um dos principais aspectos está relacionado à complexidade do controle e da estabilidade do sistema, uma vez que a transmissão de grandes blocos de potência torna a rede mais sensível a perturbações, como variações abruptas de carga, falhas ou oscilações eletromecânicas. Além disso, a crescente integração de fontes renováveis intermitentes, frequentemente conectadas a sistemas de transmissão de longa distância, intensifica essa problemática. A variabilidade intrínseca de fontes como a solar e a eólica pode provocar flutuações na geração, exigindo maior capacidade de resposta do sistema para manter o equilíbrio entre oferta e demanda. Em redes em UAT, essa variabilidade é transmitida ao longo de grandes extensões do sistema, podendo impactar múltiplas regiões e dificultar o gerenciamento operacional.

Outro desafio relevante está associado ao controle de fluxo de potência e à manutenção dos níveis adequados de tensão e frequência. Em sistemas de grande porte, pequenas variações podem resultar em efeitos amplificados, exigindo mecanismos adicionais de controle e suporte. No caso de sistemas em corrente contínua, embora haja maior

controlabilidade do fluxo de potência, há também a necessidade de conversores complexos e de alto custo, cuja operação deve ser cuidadosamente coordenada com a rede em corrente alternada. Adicionalmente, a expansão de sistemas em UAT está frequentemente associada à necessidade de transportar energia proveniente de regiões remotas, o que pode levar a situações de desequilíbrio temporal entre geração e consumo. Em períodos de elevada geração e baixa demanda local, pode ocorrer a necessidade de limitar a produção (*curtailment*), enquanto, em momentos de alta demanda e baixa geração, o sistema pode enfrentar restrições no atendimento da carga.

Dessa forma, embora os sistemas em Ultra Alta Tensão representem uma solução eficiente para o transporte de energia em larga escala, sua operação está associada a desafios significativos relacionados à estabilidade, controle e integração de fontes renováveis, evidenciando a necessidade de soluções complementares capazes de aumentar a flexibilidade e a resiliência do sistema elétrico.

# 4 Atividades Realizadas

Durante o período de estágio foram desenvolvidas atividades voltadas ao apoio a projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação na área de sistemas de armazenamento de energia e tecnologias associadas ao setor elétrico. As atividades envolveram principalmente estudos técnicos, organização de documentação e apoio à estruturação de projetos.

## 4.1 Organização de materiais técnicos e integração da equipe

Uma das atividades iniciais desenvolvidas consistiu na construção de um documento em formato PDF interativo, contendo links clicáveis que permitiam o acesso rápido a diferentes materiais disponibilizados pela equipe. O objetivo desse documento foi organizar conteúdos relevantes, como relatórios técnicos, apresentações institucionais, documentos de projetos e materiais de referência, de forma estruturada e acessível. As Figuras 2, 3, 4 e 5 são exemplos de telas presentes na interface.

A elaboração desse material teve como finalidade facilitar o processo de integração de novos membros à equipe, permitindo que os participantes tivessem uma visão geral dos projetos em andamento, das áreas de atuação do grupo e das principais fontes de informação utilizadas nas atividades de pesquisa e desenvolvimento. Essa atividade contribuiu para a organização do conhecimento interno da equipe, além de melhorar a rastreabilidade e o acesso aos materiais técnicos utilizados nas atividades de PD&I.

Figura 2 – Interface de materiais da equipe: Menu inicial. Fonte: Autoria própria.

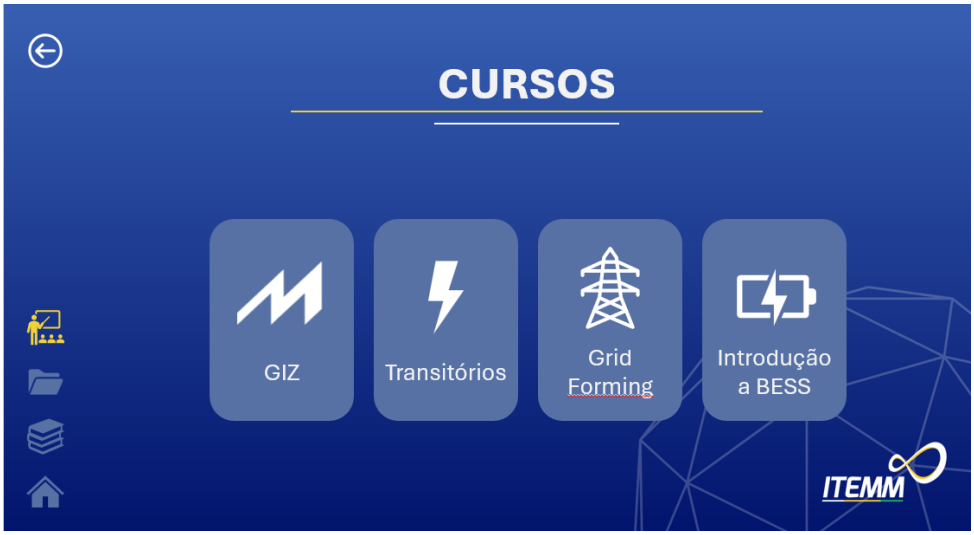


Figura 3 – Interface de materiais da equipe: Menu de cursos disponíveis. Fonte: Autoria própria.

Figura 4 – Interface de materiais da equipe: Interface de aula com minutagem e notas de aula. Fonte: Autoria própria.

## 4.2 Elaboração de documentação institucional para proposta EMBRAPII

Outra atividade relevante desenvolvida durante o estágio foi o apoio na elaboração de documentação institucional para participação do ITEMM em uma proposta de credenciamento como unidade EMBRAPII.

A EMBRAPII (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial) é uma organização que atua no fomento à inovação tecnológica por meio da cooperação entre instituições de pesquisa e empresas. Nesse contexto, o processo de credenciamento de uma unidade exige a apresentação de informações detalhadas sobre a instituição, sua infraestrutura, competências técnicas, histórico de projetos e áreas de atuação.

Figura 5 – Interface de materiais da equipe: Menu de materiais auxiliares para estudo. Fonte: Autoria própria.

Durante essa atividade, foram reunidas e organizadas diversas informações institucionais relacionadas ao ITEMM, incluindo descrição de projetos realizados, infraestrutura laboratorial, equipe técnica e linhas de pesquisa. Essas informações foram estruturadas em documentos técnicos utilizados na elaboração da proposta submetida ao processo de avaliação. Essa atividade proporcionou maior familiarização com processos de estruturação de propostas de projetos de pesquisa e inovação, além de contribuir para a organização de informações estratégicas da instituição.

## 4.3 Estudo introdutório de estado da arte em tecnologias de Ultra Alta Tensão

Durante o estágio, também foram realizados estudos introdutórios de estado da arte relacionados à área de ultra-alta tensão (UAT), com foco na análise de publicações científicas disponíveis na plataforma *IEEE Xplore*. O objetivo desse levantamento foi identificar tendências tecnológicas, aplicações e desafios associados a sistemas de transmissão em níveis elevados de tensão, amplamente utilizados para o transporte de grandes blocos de energia a longas distâncias.

A pesquisa foi conduzida considerando artigos publicados no período de 2016 a 2026, permitindo uma análise temporal da evolução das pesquisas na área em âmbito global. O levantamento envolveu a extração e tratamento de dados das publicações, com o intuito de avaliar diferentes aspectos relevantes, tais como: quantidade de artigos ao longo do tempo, países de origem das publicações, distribuição geográfica das pesquisas e principais temas abordados.

A identificação dos temas foi realizada a partir da análise de palavras-chave as-

sociadas aos artigos (Tabela 2), utilizando a ferramenta de organização e tratamento de dados *Microsoft Excel*. Esse processo permitiu agrupar os trabalhos em categorias temáticas, possibilitando uma visão estruturada das principais linhas de pesquisa relacionadas à UAT.

| Tema | Palavras-chave associadas |
|---|---|
| **Monitoramento e digitalização** | wide area monitoring system; phasor measurement unit; frequency variation; frequency deviation; frequency fluctuation; power system frequency; grid frequency; electromagnetic interference |
| **Tecnologia de transmissão** | UHVAC; bundled conductor; corona; electric field; high voltage transformer; converter transformer; substation; converter station |
| **Conversores e controle** | voltage source converter; VSC-HVDC; line commutated converter; LCC-HVDC; modular multilevel converter; MMC converter; STATCOM; SVC; TCSC; UPFC |
| **Proteção e transitórios** | electromagnetic transient; dielectric; dielectric strength; insulation; electrical insulation; composite insulator; insulator |
| **Operação e confiabilidade do sistema** | power system stability; voltage stability; transient stability; oscillation damping; renewable energy; wind power; solar power; renewable transmission; challenge; challenges; risk; failure; failures; flaw; flaws |
| **Impactos físicos e ambientais** | corona; electromagnetic interference; frequency fluctuation |

Tabela 1 – Palavras-chave com divisão de temas para pesquisa em banco de artigos sobre Ultra Alta Tensão. Fonte: Autoria própria.

As Figuras 6 e 7 apresentadas neste trabalho correspondem a um panorama geral dos resultados obtidos, incluindo a distribuição temporal das publicações, a distribuição geográfica dos estudos e a frequência dos principais temas abordados na literatura. Esses resultados evidenciam a concentração das pesquisas na China, principal referência para o conhecimento de UAT no mundo, e a evolução do interesse científico na tecnologia ao longo dos anos.

Além do levantamento bibliográfico, também foi realizado um mapeamento das linhas de transmissão em UAT em operação no mundo, com o objetivo de identificar a distribuição geográfica dessas infraestruturas, os principais países envolvidos e as características dos projetos implementados. Esse mapeamento permitiu compreender como diferentes regiões têm adotado soluções em UAT para viabilizar a transmissão de grandes blocos de energia a longas distâncias, especialmente em contextos de elevada inserção de fontes renováveis. A análise contribuiu para complementar o estudo preliminar dos artigos,

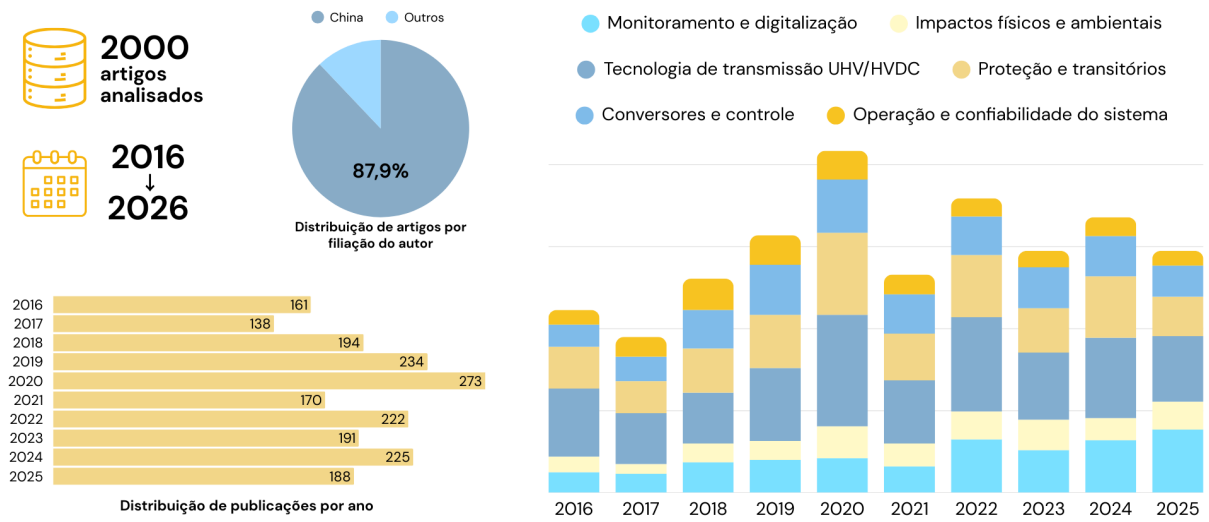


Figura 6 – Análise de artigos (*IEEE Xplore*) sobre UAT publicados no mundo. Fonte: Autoria própria.

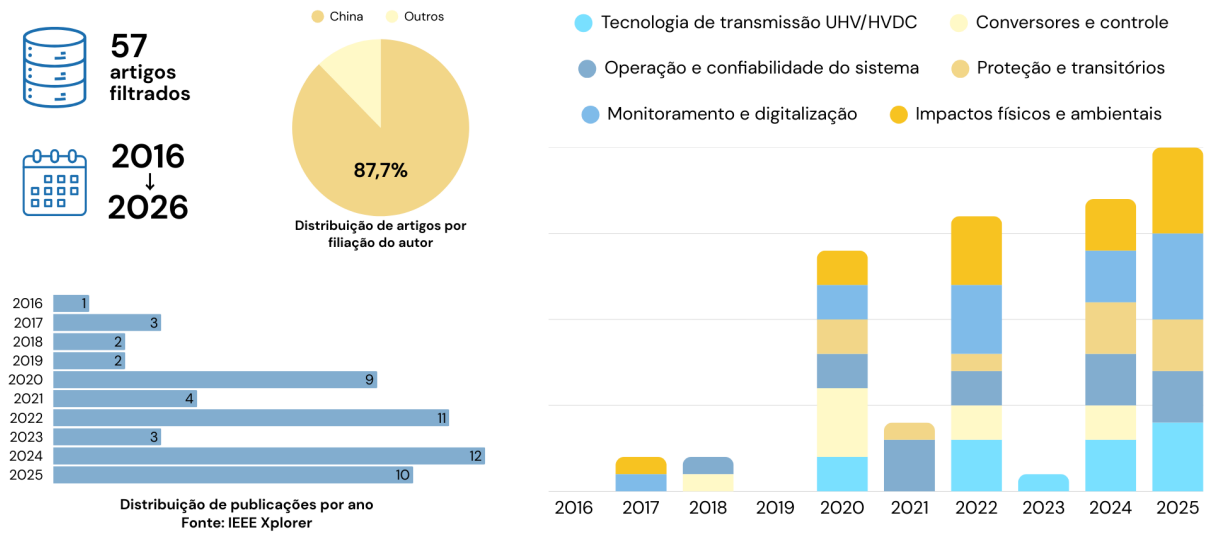


Figura 7 – Análise de artigos (*IEEE Xplore*) correlacionando UAT e BESS publicados no mundo. Fonte: Autoria própria.

fornecendo uma visão prática da aplicação dessas tecnologias e evidenciando a liderança de países como a China no desenvolvimento e expansão dessa tecnologia de transmissão.

Ao observar a Tabela 2, verificou-se que a China se destaca de forma significativa, com aproximadamente 20 linhas de transmissão em UAT em operação, consolidando-se como líder global na implementação dessa tecnologia. Em comparação, a Índia possui

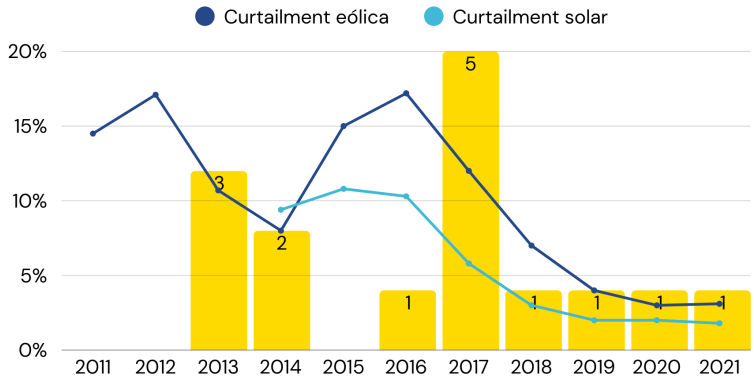


Figura 8 – Taxas de *curtailment* e comissionamento de linhas (barras amarelas) de UAT na China. Fonte: Autoria própria.

cerca de 3 linhas em operação, enquanto o Brasil conta com 2 linhas em funcionamento e 1 em fase de construção, demonstrando um estágio ainda inicial de desenvolvimento nessa área. Observou-se, ainda, que a State Grid Corporation of China exerce papel central na difusão dessa tecnologia, sendo responsável por grande parte dos projetos em escala global. No Brasil, a empresa atua por meio de uma holding que detém participação em importantes ativos de transmissão, incluindo projetos em UAT, reforçando sua posição como principal agente no desenvolvimento e implementação dessa tecnologia no cenário internacional.

Como apresentado na Figura 8, observa-se uma relação entre a implementação de novas linhas de transmissão e a redução das perdas associadas ao corte de geração renovável (*curtailment*), evidenciando a contribuição da expansão da infraestrutura de transmissão para a mitigação desse problema. Nota-se a ocorrência de um primeiro pico no comissionamento de linhas de transmissão no ano de 2013, precedido por um aumento nas taxas de *curtailment* entre 2011 e 2012. Esse comportamento sugere que a expansão da rede de transmissão pode estar associado à necessidade de escoamento da energia gerada, especialmente de fontes renováveis. De forma semelhante, um segundo aumento significativo nas taxas de *curtailment* foi observado em 2016, seguido, no ano de 2017, pelo comissionamento de cinco novas linhas de transmissão. Esse padrão reforça a possibilidade de crescimento da infraestrutura de transmissão em UAT como resposta aos desafios operacionais relacionados ao excesso de geração não aproveitada.

No contexto brasileiro, destaca-se que iniciativas relacionadas à expansão de linhas de UAT também vêm sendo discutidas como estratégia para enfrentar o *curtailment*. Em entrevista recente (19), o diretor do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) apontou que a ampliação da infraestrutura de transmissão tem como um de seus objetivos principais reduzir o desperdício de energia gerada, especialmente a partir de fontes reno-

váveis.

Adicionalmente, informações divulgadas pela mídia especializada (19) indicam que projetos de expansão da rede de transmissão vêm sendo planejados com o objetivo de escoar a energia gerada na região Nordeste para outras regiões do país, reduzindo as restrições operacionais associadas ao *curtailment*. Segundo declarações de representantes do setor elétrico, a expectativa é que esses empreendimentos contribuam significativamente para o aproveitamento da energia limpa disponível, ao mesmo tempo em que aumentam a segurança do sistema elétrico nacional. Nesse sentido, destaca-se que a implementação dessas linhas busca mitigar cortes de geração e ampliar a capacidade de integração de fontes renováveis ao sistema, reforçando o papel estratégico da transmissão no planejamento elétrico brasileiro.

De forma geral, os resultados obtidos contribuíram para a identificação de tendências tecnológicas, lacunas de pesquisa e oportunidades de investigação científica, fornecendo subsídios relevantes para a estruturação de propostas de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação na área de sistemas de transmissão em ultra-alta tensão.

| País | Nome | Configuração | Tensão (kV) | Distância (km) | Tecnologia | Potência (GW) | Ano de Comissionamento |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **China** | Nuozhadu-Jiangmen | Bipolo | 800 | 1451 | LCC | 5 | 2013 |
| | Xinsong-Dongfang (Dianxibei-Guangdong) | Bipolo | 800 | 1953 | LCC | 5 | 2018 |
| | Xilingol League–Jiangsu (Ximeng-Taizhou) | Bipolo | 800 | 1620 | LCC | 10 | 2017 |
| | Jinbei-Nanjing (Shanxi Jinbei Jiangsu Nanjing) (Jinnan) | Bipolo | 800 | 1119 | LCC | 8 | 2017 |
| | Shizhustan-Linyi (Shanghaimiao - Shandong) | Bipolo | 800 | 1231 | LCC | 10 | 2017 |
| | Lingzhou-Shaoxing | Bipolo | 800 | 1720 | LCC | 8 | 2016 |
| | Southern Hami–Zhengzhou | Bipolo | 800 | 2210 | LCC | 8 | 2014 |
| | Changji-Guquan | Bipolo | 1100 | 3324 | LCC | 12 | 2019 |
| | Hami-Chongqing | Bipolo | 800 | 2290 | LCC | 8 | 2025 |
| | Qinghai-Henan (Hainan-Zhumadian) | Bipolo | 800 | 1587 | LCC | 8 | 2020 |
| | Jiuquan- Xiangtan (Qilian-Shaoshan) | Bipolo | 800 | 2383 | LCC | 8 | 2017 |
| | Shanbei-Wuhan | Bipolo | 800 | 1100 | LCC | 8 | 2022 |
| | Zhalute–Qingzhou | Bipolo | 800 | 1234 | LCC | 10 | 2017 |
| | Baihetan–Jiangsu | Bipolo | 800 | 2082 | LCC | 8 | 2022 |
| | Jinping–Sunan | Bipolo | 800 | 2090 | LCC | 7.2 | 2013 |
| | Xiluodu—Zhejiang West | Bipolo | 800 | 1680 | LCC | 8 | 2014 |
| | Yazhong-Nanchang | Bipolo | 800 | 1696 | LCC | 8 | 2021 |
| | Nuozhadu-Jiangmen | Bipolo | 800 | 1451 | LCC | 4 | 2013 |
| | Xiangjiaba - Shanghai | | 1000 | 732 | UHVAC | | 2024 |
| | Zhangbei-Shengli | | 800 | 1980 | LCC | 6.4 | 2010 |
| **Índia** | Biswanath - Agra | Bipolo | 800 | 1728 | LCC | 6 | 2016 |
| | Champa-Kurukshetra | 2X Bipolo | 800 | 1367 | LCC | 6 | 2020 |
| | Raigarh - Pugalur | Bipolo | 800 | 1830 | LCC | 6 | 2020 |
| **Brasil** | Belo Monte - Estreito | Bipolo | 800 | 2076 | LCC | 4 | 2017 |
| | Belo Monte - Rio de Janeiro | Bipolo | 800 | 2539 | LCC | 4 | 2020 |
| | Maranhão - Goiás (em construção) | | 800 | 1468 | LCC | 5 | 2030 (prev.) |

Tabela 2 – Mapeamento de linhas de transmissão em ultra-alta tensão. Fonte: Autoria própria com dados de HVDC World (2026).

## 4.4 Estudo introdutório sobre segunda vida de baterias de íons de lítio

Outra atividade desenvolvida durante o estágio consistiu na realização de um estudo introdutório sobre segunda vida de baterias de íons de lítio, com foco na identificação de soluções já implementadas no mercado para armazenamento de energia utilizando baterias reutilizadas. O estudo foi direcionado à análise de sistemas de armazenamento de energia (BESS) baseados em baterias de segunda vida, buscando compreender como essas soluções são estruturadas na prática, especialmente no que se refere aos modelos de parceria entre montadoras, empresas do setor elétrico e integradores de sistemas. Nesse contexto, investigou-se de que forma baterias provenientes de veículos elétricos são reaproveitadas em aplicações estacionárias e como ocorre a integração dessas tecnologias ao sistema elétrico.

A partir do levantamento realizado, foi possível estruturar uma tabela consolidada contendo as principais informações identificadas, incluindo empresas envolvidas, tipos de aplicação, capacidade dos sistemas e modelos de negócio adotados. Essa tabela encontra-se apresentada na Tabela 3, servindo como base para análise comparativa das soluções identificadas.

Os resultados obtidos evidenciam que o desenvolvimento de soluções de segunda vida está fortemente associado a parcerias estratégicas entre diferentes atores do setor. Entre os principais exemplos identificados, destacam-se:

- A atuação da Stellantis, por meio da divisão SUSTAINera (15), em parceria com a Enel, ADR e o instituto Fraunhofer, no projeto PIONEER , que implementa um sistema de armazenamento com baterias de segunda vida no aeroporto de Roma, integrando energia fotovoltaica e contribuindo para a redução de emissões de $CO_2$;
- Iniciativas da BMW (16), que reutiliza baterias automotivas em projetos de armazenamento estacionário, incluindo aplicações associadas a parques eólicos, em parceria com empresas como a Vattenfall;
- A colaboração entre Jaguar Land Rover e Pramac (17), voltada ao desenvolvimento de sistemas portáteis de armazenamento de energia com baterias de segunda vida do modelo I-PACE, com aplicações off-grid e suporte a infraestrutura de recarga e eventos;
- Projetos conduzidos pela Nissan (18), tanto em âmbito internacional, em parceria com a Enel, quanto no Brasil, em colaboração com instituições de pesquisa como a UFSC, voltados à validação técnica e operacional do uso de baterias em segunda vida.

| Título do produto | Descrição | Empresa responsável | Sede | Referência |
|---|---|---|---|---|
| **20ft Container** | BESS em container para indústria e comércio | STABL | Munique, Alemanha | (8) |
| **Voltfang 2 Plus GS** | BESS para aplicações grid-scale (3,2MHh / 1,2MH; pode aumentar) | Voltfang | Alemanha | (9) |
| **Voltfang 2** | BESS comercial (90kWh / 92kW; pode aumentar) | Voltfang | Alemanha | (10) |
| **M-STOR** | BESS modular de larga escala (3.8MWh a 100MWh / 1.45MW a 5.8MW) | Connected Energy | Reino Unido | (11) |
| **E-STOR** | BESS móvel com baterias da Renault | Connected Energy | Reino Unido | (12) |
| **MAX300** | BESS móvel que utiliza IA para controle | ALLYE | Reino Unido | (13) |
| **PowerSkid** | BESS móvel off-grid com baterias 2nd life | Zenobe | Reino Unido | (14) |

Tabela 3 – Mapeamento de soluções para armazenamento de energia com baterias em segunda vida. Fonte: Autoria própria.

De modo geral, observa-se que as soluções analisadas apresentam diferentes configurações técnicas e modelos de negócio, mas convergem para o uso de baterias de veículos elétricos em aplicações estacionárias, principalmente associadas a fontes renováveis. Além disso, os resultados indicam um crescente interesse do setor em desenvolver modelos de economia circular, nos quais as baterias passam por etapas de reutilização, remanufatura e, posteriormente, reciclagem.

Esse levantamento contribuiu para a compreensão das dinâmicas tecnológicas e comerciais envolvidas na segunda vida de baterias, fornecendo subsídios relevantes para o desenvolvimento de projetos e estudos na área de armazenamento de energia.

## 4.5 Capacitação em segurança em instalações elétricas (NR-10)

Como parte das atividades de formação e preparação para futuras atividades em campo, foi realizado o curso de capacitação em segurança em instalações e serviços em eletricidade (NR-10).

A norma regulamentadora NR-10 estabelece requisitos e condições mínimas para garantir a segurança de trabalhadores que interagem com instalações elétricas ou realizam serviços envolvendo eletricidade. O curso abordou temas relacionados a riscos elétricos, medidas de proteção coletiva e individual, procedimentos de segurança e boas práticas para atuação em ambientes energizados.

A realização dessa capacitação teve como objetivo permitir a futura participação em atividades como Testes de Aceitação em Fábrica (TAF), comissionamento de equipamentos e visitas técnicas a instalações elétricas, garantindo que tais atividades sejam conduzidas em conformidade com os requisitos de segurança aplicáveis.

# 5 Considerações Finais

O estágio supervisionado realizado no Instituto de Engenharia e Tecnologia do ITEMM proporcionou uma importante experiência de formação acadêmica e profissional, permitindo o contato direto com atividades relacionadas à pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor elétrico. Durante o período de estágio foi possível participar de diferentes atividades que envolveram a organização de materiais técnicos, a realização de estudos de estado da arte e o apoio à elaboração de documentos institucionais e propostas de projetos. Essas atividades contribuíram para ampliar a compreensão sobre o funcionamento de projetos de pesquisa e inovação, bem como sobre a importância da análise de tendências tecnológicas para o desenvolvimento de novas soluções no setor de energia.

Os estudos realizados sobre tecnologias de Ultra Alta Tensão e sobre reciclagem e segunda vida de baterias de íons de lítio permitiram identificar aspectos relevantes relacionados ao desenvolvimento dessas tecnologias e suas aplicações no contexto da transição energética. Esses temas possuem grande relevância para o futuro dos sistemas elétricos, especialmente diante do crescimento da geração renovável e da necessidade de soluções eficientes de armazenamento de energia.

Além disso, a participação na organização de documentação institucional e na elaboração de materiais técnicos proporcionou o desenvolvimento de habilidades relacionadas à estruturação de informações, elaboração de relatórios e comunicação técnica, competências importantes para a atuação profissional na área de engenharia. A realização do curso de capacitação em segurança em instalações elétricas (NR-10) também representou um passo importante na preparação para futuras atividades em campo, permitindo a participação segura em procedimentos técnicos relacionados ao setor elétrico.

De modo geral, o estágio contribuiu significativamente para a consolidação de conhecimentos adquiridos ao longo do curso de engenharia elétrica, além de proporcionar o desenvolvimento de novas competências relacionadas à pesquisa tecnológica, organização de informações e apoio à estruturação de projetos de inovação.

# Referências

1 Datta, U., Kalam, A., & Shi, J. (2021). A review of key functionalities of battery energy storage system in renewable energy integrated power systems. Energy Storage, 3.

2 Raj, M., , S., Suyambu, M., & Kumar, P. (2024). Improving grid reliability with grid-scale Battery Energy Storage Systems (BESS). International Journal of Science and Research Archive. https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.13.1.1694. https://doi.org/10.1002/est2.224.

3 Stecca, M., Elizondo, L., Soeiro, T., Bauer, P., & Palensky, P. (2020). A Comprehensive Review of the Integration of Battery Energy Storage Systems Into Distribution Networks. IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society, 1, 46-65. https://doi.org/10.1109/ojies.2020.2981832. 5

4 Hu, X., Deng, X., Wang, F., Deng, Z., Lin, X., Teodorescu, R., & Pecht, M. (2022). A Review of Second-Life Lithium-Ion Batteries for Stationary Energy Storage Applications. Proceedings of the IEEE, 110, 735-753. https://doi.org/10.1109/jproc.2022.3175614.

5 MARKETSANDMARKETS. Lithium-ion Battery Recycling Market - Size, Share, Industry Forecast Report [Latest]. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/lithium-ion-battery-recycling-market-153488928.html?gad_source=1&gad_campaignid=23242239091&gclid=EAIaIQobChMI0Kyi0tC9kwMVuAMMAh3EFi4vEAAYASAAEgJKWfD_BwE>. Acesso em: jan. 2026. 5

5

6 Ren, S., Bao, R., & Gao, Z. (2025). Arrival of Distant Power: The Impact of Ultra-High Voltage Transmission Projects on Energy Structure in China. Energy. https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134527. 6

7 Hammons, T., Lescale, V., Uecker, K., Haeusler, M., Retzmann, D., Staschus, K., & Lepy, S. (2012). State of the Art in Ultrahigh-Voltage Transmission. Proceedings of the IEEE, 100, 360-390. https://doi.org/10.1109/jproc.2011.2152310. 6

8 Container: High-Performance Storage Solution for Many Applications. Disponível em: <https://stabl.com/en/solutions/container/>. Acesso em: jan. 2026. 7

9 Grid-scale: large-scale battery storage - efficient & scalable | Voltfang. Disponível em: <https://voltfang.de/en/battery-storage-for-industry/large-scale-battery-storage/>. Acesso em: jan. 2026. 7

10 Commercial Storage – Green, Powerful & from Aachen | Voltfang. Disponível em: <https://voltfang.de/en/battery-storage-for-industry/commercial-storage/#voltfang2>. Acesso em: jan. 2026. 18

11 Multi-MW Battery Energy Storage | Connected Energy. Disponível em: <https://connected-energy.co.uk/m-stor-multi-mw-battery-energy-storage/>. Acesso em: jan. 2026. 18

12 Commercial Battery Energy Storage - World Leader | Connected Energy. Disponível em: <https://connected-energy.co.uk/e-stor-commercial-battery-energy-storage/>. Acesso em: jan. 2026. 18

13 Energy liberated. KEY FEATURES MAX300. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.allye.com/_files/ugd/16f0fb_35dd54ce533f4978a8910cd85d874084.pdf>. Acesso em: jan. 2026. 18

14 Second life batteries for reliable, cleaner power. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.zenobe.com/wp-content/uploads/2022/12/Powerskid-leaflet-A5.pdf>. Acesso em: jan. 2026. 18

15 Stellantis supports the PIONEER project with Second Life Batteries provided by SUSTAINera Circular Economy division. Disponível em: <https://www.media.stellantis.com/em-en/corporate-communications/press/stellantis-supports-the-pioneer-project-with-second-life-batteries-provided-by-sustainera-circular-ec
Acesso em: jan. 2026. 18

16 Vattenfall uses BMW car batteries for storage projects at winds farms. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2017/03/14/vattenfall-uses-bmw-car-batteries-for-storage-projects-at-winds-farms/>. Acesso em: jan. 2026. 18

17 JAGUAR LAND ROVER GIVES SECOND LIFE TO I-PACE BATTERIES | JLR Media Newsroom. Disponível em: <https://media.jaguarlandrover.com/news/2022/03/jaguar-land-rover-gives-second-life-i-pace-batteries>. Acesso em: jan. 2026. 17

18 Baterias do Nissan LEAF iniciam segunda vida no maior aeroporto da Itália. Disponível em: <https://brazil.nissannews.com/pt-BR/releases/baterias-do-nissan-leaf-iniciam-segunda-vida-no-maior-aeroporto-da-italia>. Acesso em: jan. 2026. 17

19 Projeto chinês vai reduzir cortes de geração de energia no Brasil, diz ONS. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/projeto-chines-vai-reduzir-cortes-de-geracao-de-energia-no-brasil-diz-ons/>. Acesso em: fev. 2026. 17

20 HVDC - Map. Disponível em: <https://www.hvdcworld.com/hvdc-map>. Acesso em: fev. 2026. 17

14, 15