

Especificação Técnica de Sistemas de Armazenamento de Energia Conectados em Redes de Distribuição de Energia Elétrica: Contribuições e Experiências da CPFL Energia

Victor Baiochi Riboldi^{1,3}, Pedro Augustho Biasuz Block², Tiago R. Ricciardi³

¹CPFL Energia, Campinas, SP 13088-140 Brasil
(e-mail: riboldi@cpfl.com.br).

²Instituto LACTEC, Curitiba, PR 81531-980 Brasil
(e-mail: pedro.block@lactec.org.br)

³UNICAMP, Campinas, SP 13083-852 Brasil
(e-mail: trricci@unicamp.br)

Abstract: The increase of intermittent sources in the electric power systems contributes to the insertion of new technologies such as energy storage systems. However, for the acquisition of these systems, it is recommended to prepare a complete technical specification document which details the requirements for their supply. This paper presents the assumptions and definitions adopted in the R&D project in respect to the technical specification document encompassing restrictions and minimum characteristics required for equipment, services, product tests, warranty criteria, regulations and other documents attached to each installation carried out. Also, it emphasizes the importance of defining the tests, in factory, on commissioning and operation and maintenance. In addition, a brief description of the arrangement defined for these systems is presented, the intended operating modes for each installation and also the experiences in carrying out the installations of the pilots of the R&D project.

Resumo: O aumento de fontes intermitentes na rede de energia elétrica contribui para inserção de novas tecnologias como sistemas de armazenamento de energia. Entretanto, para a aquisição destes sistemas é recomendado a elaboração de um documento completo de especificação técnica que detalhe os requisitos de fornecimento de tais sistemas. Neste trabalho é apresentado as premissas e definições adotadas em um projeto de P&D em respeito ao documento de especificação técnica englobando restrições e características mínimas exigidas para os equipamentos, serviços, testes dos produtos, critérios de garantia, normativas e demais documentos anexos pertinentes a cada instalação realizada. Ainda, ressalta-se a importância da definição dos testes de ensaios de tipo, de fábrica, de comissionamento e operação e manutenção. Além disso, é apresentada uma breve descrição do arranjo definido para estes sistemas, os modos de operação pretendidos para cada instalação e, também, experiências na realização das instalações dos pilotos do projeto de P&D.

Keywords: Intermittent sources; energy storage, batteries, technical specification; operative tests.

Palavras-chaves: Fontes intermitentes; armazenamento de energia; baterias; especificação técnica; ensaios operativos.

1. INTRODUÇÃO

No contexto atual mundial, verifica-se uma mudança quanto a emissão de poluentes para geração de energia elétrica. É possível identificar uma transição energética mundial, onde anteriormente predominantemente não renovável e atualmente já uma parcela significativa de geração oriunda de fontes renováveis (IEA, 2019).

Além disso, verifica-se o aumento da penetração de fontes renováveis nas matrizes energéticas, o que traz um novo desafio para os operadores dos sistemas de distribuição de energia elétrica; dado a característica intermitente de determinadas fontes de geração de energia renovável (Walling et al. 2008).

Como forma de atuação dentro deste cenário, nota-se o aumento da instalação de sistemas de armazenamento de energia (SAE), principalmente por tecnologias eletroquímicas onde totalizam 1,73 GW considerando projetos em operação. Dentre estas, destacam-se as baterias de íons de lítio com 1,35 GW de potência instalada em 2020 para projetos em operação (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2020).

Em vista desta situação, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2016, lançou uma chamada de P&D estratégico visando o estudo da inserção de SAEs no setor, em que 23 propostas de projetos foram aprovadas para execução (ANEEL, 2016). Dentre os projetos aprovados, a CPFL possui 3 projetos em andamento que visam estudar a inserção de SAEs desde a geração até o consumidor final.

Oriundo do desenvolvimento dos projetos foi identificado a necessidade da elaboração de um documento detalhado, especificação técnica, apresentando os requisitos mínimos exigidos para o fornecimento dos SAEs que dependem dos objetivos de cada projeto.

Para o documento elaborado no projeto em questão, foi utilizado como suporte um guia de referência para projetos de SAE a nível de distribuição, que consiste em descrever as características de um projeto de armazenamento de energia. O documento fornece especificações nas categorias de classificação dos SAEs, métricas adicionais de armazenamento de energia, equilíbrio do sistema, comunicações, controle, monitoramento, transformador e equipamentos de média tensão, segurança e proteções, diretrizes operacionais, preparação do site e demais serviços de engenharia (EPRI 2015).

Além disso, a Northern Powergrid (Northern Powergrid 2014), também possui um documento com as definições adotadas em uma especificação técnica para aquisição e uso de SAEs nas redes de distribuição da empresa. No documento é apresentado os requisitos funcionais, requisitos associados, regimes de operação, requisitos de comunicação e normas aplicáveis para os sistemas pretendidos pela empresa. Demais documentos internos são informados assim como uma lista de anexos que incluem informações técnicas, agenda de manutenção e pré-testes de comissionamento, descarte, informações individuais de cada sistema, declaração de conformidade de auto certificação.

Assim também, a empresa American Electric Power (AEP 2009), possui uma especificação técnica com as definições e os requisitos de um conjunto de baterias, controle e sistema de conversão de energia compreendendo uma unidade individual de armazenamento de energia para comunidade. O documento informa as necessidades da empresa em quesitos de requisitos elétricos e conexões (tensão, potência e energia, eficiência, perdas, capacidade inrush, autodescarga, ampacidade através do circuito e estabilidade), requisitos para alimentação em corrente alternada, proteção contra sobretensão, gabinete/involucro, módulos opcionais de entrada corrente contínua, funções de controle, operação e administração da unidade, ações em caso de perda de comunicação ou energia, medição e restrições de tensão e potência. Além disso, é incluso um orientativo de operação ilhada e transições entre modos, armazenamento de dados, questões ambientais, harmônicas, ruídos, modelos computacionais, proteções, comunicação, testes de aceite em fábrica, alarmes e status. Demais informações como configurações da unidade e parâmetros operacionais e normas códigos de *compliance* também são informados.

Tendo em vista a necessidade do projeto, o documento elaborado visa com base nos levantamentos, definir os requisitos para a instalação dos SAEs, que têm por objeto de estudo avaliar a integração destes sistemas na rede de energia elétrica.

Portanto, o presente artigo visa apresentar brevemente uma descrição das abordagens do projeto intitulado “PA3018 - Inserção técnico-comercial para implementação,

desenvolvimento e análise de aplicações de tecnologias de armazenamento de energia na operação de redes de distribuição da CPFL”, informar as premissas adotadas para elaboração de um documento de especificação técnica e para o levantamento dos procedimentos de ensaios para os sistemas e experiências práticas para implementação dos SAEs.

2. PROJETO PA3018

Dentro das abordagens do projeto PA3018, o mesmo apresenta distintos pilotos para instalação de SAEs com baterias empregados na rede de distribuição em 3 diferentes níveis; são eles: (i) sistema de grande porte instalado em alimentador primário de subestação de distribuição; (ii) sistemas de médio porte instalados em redes secundárias de baixa tensão e (iii) sistemas de armazenamento de pequeno porte instalados em unidades consumidoras (Riboldi et al. 2018).

Como principais abordagens do projeto, objetiva-se a instalação e operação de diferentes portes de SAEs, que possam contribuir para a inserção destes sistemas no setor, capacitação dos pesquisadores envolvidos com o projeto, estudos regulatórios, *roadmap* tecnológico, modelamento e avaliação da inserção destes sistemas na rede, contribuição com normas técnicas e desenvolvimento do setor no tema.

2.1 Sistema de Grande Porte Instalado em Alimentador Primário de Subestação de Distribuição

Este sistema encontra-se instalado dentro da subestação de Barão Geraldo, localizado na cidade de Campinas/SP, e será conectado na saída de um alimentador de média tensão de 11,9 kV (Riboldi et al. 2018).

Tal sistema possui potência e capacidade de 1 MW/2 MWh respectivamente, onde deverá performar em diferentes modos de operação para redução de pico de carga, deslocamento de carga, regulação de tensão e integração de fontes intermitentes. Estes modos de operação foram adotados com base nos estudos da rede local e visado uma integração com outros projetos de P&D desenvolvidos na região do *Living Lab* de Barão Geraldo. No alimentador ao qual o SAE de grande porte está instalado há aproximadamente 1 MWp de geração solar FV distribuída pelos telhados de mais de 230 unidades consumidoras de baixa tensão. Outras aplicações como a operação ilhada de um trecho do alimentador poderão futuramente ser avaliadas conforme as funções mais básicas forem apresentando performance adequada no decorrer das avaliações previstas no escopo do projeto.

2.2 Sistemas de Médio Porte Instalados em Redes Secundárias de Baixa Tensão

Esta abordagem será aplicada em duas configurações, sendo um SAE suspenso em poste de distribuição a ser instalado e outro já instalado em cabine. Ambos instalados em redes de baixa tensão em conexão com o secundário do transformador de distribuição. Estes SAEs serão instalados no distrito de Barão Geraldo, junto ao laboratório vivo de Barão Geraldo,

que possui alta penetração de microgeração solar fotovoltaica (Riboldi et al. 2018).

O SAE instalado em cabine encontra-se em processo de comissionamento no site e possui potência e capacidade de 100 kW/255 kWh. Este sistema deverá performar em modos de operação para avaliação da redução do pico de carga, deslocamento de carga, controle de reativos, regulação de tensão, operação ilhada e integração com fontes de geração intermitente.

Por outro lado, o SAE a ser instalado em poste de distribuição encontra-se em processo de fabricação e possui potência e capacidade de 25 kW/75 kWh, onde deverá performar em modos de operação para avaliação da redução do pico de carga, deslocamento de carga.

Ambos sistemas terão atuação em conexão de baixa tensão próximo a condomínios com inserção massiva de geração fotovoltaica. Dado as medições de pré-monitoramento utilizadas no projeto, definiu-se que com os impactos da geração fotovoltaica as aplicações citadas foco de estudo dos projetos seriam as apresentadas. É importante frisar que esta aplicação possui um cenário mais controlado e visa integração com fontes renováveis. Ainda, é extrapolado a possibilidade de operação do sistema de forma ilhada.

2.3 Sistemas de Pequeno Porte Instalados em Unidades Consumidoras

Esta abordagem visa a instalação de SAEs de pequeno porte dentro das unidades consumidoras, conexão conhecida em inglês como “*behind-the-meter energy storage system*” (Riboldi et al. 2018).

O objetivo desta abordagem visa identificar a interação entre SAEs junto a microgeração solar fotovoltaica, incluindo a avaliação da redução do pico de carga, deslocamento de carga, regulação de tensão e integração com fontes de geração intermitentes.

3. ELABORAÇÃO DE ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS

Como parte do desenvolvimento do projeto apresentado no item anterior, faz-se necessário para os estudos realizados no âmbito do projeto a aquisição de SAEs em diferentes escalas a nível de distribuição. Desta forma, verifica-se a necessidade da elaboração de diferentes documentos técnicos aos quais direcionam os requisitos mínimos e necessários para o projeto em questão.

Outrossim, foi necessário o desenvolvimento de estudos com base em medições reais e a utilização de uma metodologia de matriz esforço impacto para definição dos potenciais locais para instalação dos SAEs e desenvolvimento dos demais estudos do projeto (Matias et al. 2018).

Visto os potenciais locais identificados, é importante frisar a necessidade de validar o interesse dos *stakeholders* envolvidos com a aplicação, explanando os potenciais benefícios e inconvenientes com o processo de instalação dos SAEs.

Uma vez definidos os locais, foi iniciado a elaboração do documento técnico, com base no guia de referência, ao que diz respeito das necessidades de equipamentos, serviços e outros (EPRI, 2017).

Dado o cenário atual da cadeia de fornecimento de SAEs, foi elaborado um documento completo trazendo informações como: (i) uma contextualização sobre o cliente e sua atuação no mercado e os objetivos esperados do projeto; (ii) as diretrizes do processo de compra, assim como contatos datas e outros; (iii) termos e definições adotadas para o documento de especificação técnica (iv) escopo geral de fornecimento requisitado; (v) produtos e equipamentos; (vi) serviços; (vii) testes dos produtos e garantias; (viii) normativas; (ix) submissão das propostas e (x) lista de anexos com documentos pertinentes ao local de instalação do sistema de armazenamento de energia. Onde estes serão descritos de forma sucinta a abordagem empregada.

3.1 Cliente, Mercado de Atuação e Descrição do Projeto

É importante trazer neste documento uma visão sobre o cliente, explanando de forma objetiva sua área de atuação no setor.

Acresce que, se faz necessária uma breve introdução do projeto e onde ele está situado, incluindo os parceiros no desenvolvimento. Este item deve ser apresentado de forma clara e objetiva, uma vez que os fornecedores compreendam os interesses desta aquisição e tenham em mente a necessidade de flexibilidade quanto a operação do SAE .

3.2 Descrição do Processo de Submissão de Propostas

Deve-se apresentar neste item as regras do processo de compra, i.e., datas, formas de comunicação, critérios de exclusão e entre outros. Para uma proposta que permita atender integralmente as necessidades do cliente, é de grande valia o fornecimento de documentos que represente a atual situação do local onde se objetiva a instalação do SAE. Em alguns casos, um termo de confidencialidade pode ser firmado entre as partes visando a proteção das informações ali prestadas.

Além disso, deve ser informado as diretrizes comerciais e detalhamento do atendimento do fornecimento como por exemplo, faturamento nacional, detalhamento de taxas e impostos, nomenclatura comum do Mercosul (NCM) referente aos equipamentos e serviços, macro agenda e tempo de finalização, detalhamento da garantia e entre outros.

Por fim, deve ser informado os participantes desta proposta, i.e., se haverá atendimento integral por apenas um fornecedor ou se haverá subcontratações para execução do contrato a ser firmado.

3.3 Termos e Definições

Por se tratar de um processo que envolve diversos equipamentos e serviços, é de suma importância apresentar a descrição de termos e demais definições adotadas neste

documento de especificação técnica, dado que o fornecimento se trata de um processo “chave-na-mão” e é provável a participação de fornecedores internacionais, principalmente relacionado as baterias. Sendo assim, esta abordagem visa mitigar qualquer desentendimento quantos aos termos adotados no documento de especificação técnica.

3.4 Escopo Geral de Fornecimento

Traz uma visão resumida da necessidade do projeto apresentando como é pretendido a conexão dos SAEs. Apresenta-se, na Tabela 1, de forma genérica os itens que devem fazer parte da solução.

Deve ser fornecido informações sobre o local de instalação, ou seja, coordenadas geográficas e situação local (importante uma visita técnica), informações sobre as condições do site como temperatura mínima e máxima, elevação, índices de chuva e médias de temperatura. Deve ser apresentado também o ponto de conexão (acoplamento) do sistema à rede de distribuição bem como prover um diagrama simplificado de como esperase a conexão dos equipamentos.

Deve-se apresentar também as condições de fornecimento e frisar o escopo adotado como chave na mão (do inglês, *turnkey*), envolvendo produtos, serviços, testes, documentações, responsabilidades, garantias e reciclagem.

Por fim, deve-se orientar a pretensão quanto ao tempo de fornecimento, ou seja, entrega de um cronograma detalhado, plano de trabalho e entrega final do produto/sistema de armazenamento.

Nos demais itens é endereçado em maiores detalhamentos os equipamentos, produtos e serviços.

3.5 Produtos e Equipamentos

Em respeito aos produtos e equipamentos, deve ser informado em detalhes as características de cada componente do sistema de armazenamento de energia necessitada. É apresentado na Tabela 2 de forma genérica as características do banco de baterias. Ainda, deve ser solicitado curvas de operação, resistência interna, detalhes sobre o monitoramento e operação das baterias e demais itens aplicáveis. Em respeito ao PCS, deve ser solicitado os requisitos de armazenagem e proteção (IP65) e delimitar as condições de operação visando a não violação dos índices de qualidade de energia estipulados pelo PRODIST módulo 8.

O SAE deve incluir um sistema de gerenciamento de energia (do inglês, EMS – *energy management system*) de forma a trazer um monitoramento do mesmo e permitir atuação remota, incluindo monitoramento individual e global dos componentes do sistema. Ainda se ressalta a necessidade de o EMS controlar diferentes modos de operação conforme pretendido nas aplicações específicas do projeto, onde estas devem ser explanadas sua abordagem de forma a mitigar desentendimentos.

Tabela 1. Resumos da especificação básica

Quantidade	Diferentes unidades podem ser adquiridas, dependendo da solução ofertada
Regime de contrato	<i>turnkey</i>
Potência / energia nominal	100 kW/255 kWh
Química das baterias	Íons de Lítio
Tensão de interconexão	220 V (F-F) / 127 V (F-N)
Local de interconexão	Transformador de distribuição
Frequência	60 Hz
Eficiência CA-CA	> 88%
Sistema de conversão de energia	Sistema de conversão integrado com as baterias
Infraestrutura CA	Instalação abrigada considerando infraestrutura civil, elétrica e eletromecânica
Software de gestão de energia	EMS – Controle dedicado para acesso online

Tabela 2. Características do banco de baterias

Item	Requisitos técnicos
Química das baterias	Íons de Lítio
Capacidade útil	255 kWh (100 kW recarregando e descarregando)
Vida cíclica	≥ 4.000 ciclos (com SoC a ser informado) Retenção de capacidade ≥70%
Vida de calendário	≥ 10 anos
Auto descarga	≤ 3%/mês (excluindo consumo auxiliar)

Tabela 3. Limites de injeção de harmônicos (PCS)

<i>h</i>	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
Lim. (%)	6,5	7,5	6,5	2	4,5	4	1	2,5	2	1	2	2

Como requisito de estudos, é solicitado um *datalogger* para acesso aos dados tanto local quanto remoto, incluindo monitoramento geral, monitoramento global, de dispositivos individuais, análises estatísticas, evento de tempo real, eventos históricos, curva histórica e relatório estatístico.

Deve ser direcionado toda a infraestrutura requisitada (atendendo as devidas normas), incluindo a parte elétrica e eletromecânica, aterramento, instalações de baixa tensão, transição entre modos de operação (incluindo modo ilhado se aplicável), cabos de corrente alternada e corrente contínua e demais itens aplicáveis de acordo com a necessidade da instalação.

3.6 Comunicação, Proteção, Harmônicos e Aterramento

A especificação técnica deve ainda prever aspectos relacionados a comunicação, proteção, aterramento e injeção de harmônicos. Nos SAEs especificados para os projetos piloto foi solicitado que os fornecedores provesses interface de comunicação com o sistema SCADA da distribuidora (que por sua vez é baseado no protocolo DNP3). Do ponto de vista de proteção, destaca-se que o sistema de grande porte deve apresentar, ao menos, as funções de proteção ANSI a seguir: 27, 32, 47, 50/51, 59, 67, 81. A injeção de corrente harmônica

pelo PCS de todos os SAEs especificados deve ser limitada aos valores apresentados na Tabela 3. Para harmônicos superiores à 25ª ordem o limite é de 1% bem como para os harmônicos pares. Finalmente, para todos os sistemas, deve ser verificada as condições de aterramento conforme estabelecido pela norma técnica ABNT NBR 15749.

3.7 Serviços

Deve-se delimitar o escopo de serviço previsto para a aquisição em questão, garantindo que ao fim dos trabalhos o contrato *turnkey* esteja montado, comissionado, energizado e em condições de operação. Em linha, deve-se adotar todos os requisitos estipulados pelo ministério do trabalho, de forma a mitigar eventuais problemas trabalhistas futuros. Devem ser fornecidos mão de obra qualificada, incluindo todos os treinamentos de normas regulamentadoras aplicáveis para o serviço em questão. Assim, realizando toda a preparação, instalação, montagem e construção do sistema.

Dado a especificidade do SAE, é recomendado a solicitação do parecer de acesso a rede como uma responsabilidade do fornecedor que deverá tramitar o processo junto a concessionária local. Toda a documentação do SAE deve ser fornecida em formato digital sendo estes: projetos executivos, *as-built* do sistema completo, memorial de cálculo e manuais de operação para todos os equipamentos. Recomenda-se a solicitação dos relatórios de testes dos equipamentos que atendam as normativas de cada respectivo produto e demais testes aplicáveis durante o comissionamento.

A depender do cliente, é necessário que todo o equipamento esteja automatizado, configurado e parametrizado para interconexão com o um sistema de comunicação onde os dados estejam disponíveis através de um sistema independente. Deve solicitar um serviço de comissionamento visando que a solução apresentada atenda aos requisitos de qualidade e segurança para operação. Após o comissionamento, é de grande valia a supervisão por mão-de-obra qualificada para as primeiras horas de operação do SAE.

Deve ser previsto um treinamento completo referente aos componentes do SAE para o cliente ou responsável. Dessa forma, recomenda-se o fornecimento de um plano de manutenção para o equipamento de forma a preparar os momentos de manutenção e demais envolvidos com a questão. Sugere-se ainda a inclusão de descarte das células após o fim da vida útil de forma a atender com a sustentabilidade e descarte corretos destes materiais.

3.8 Testes dos Produtos e Garantias

É importante exigir que os equipamentos fornecidos estejam de acordo com as respectivas normativas e deverão ser testados individualmente de forma a garantir seu funcionamento adequado. Em específico para a bateria, o mesmo deve ser testado para parâmetros nominais e testes de performance, tanto em condições de fábrica quanto em condições no site. Como recomendação, foi utilizado como referência a normativa internacional IEC 62933-2-1 (2017) para definições

de procedimentos de testes. Pensando no sistema completo, ou seja, bateria, inversores, conexões, proteções e demais itens, a verificação em conjunto de todos estes itens deve ser adotada para o comissionamento integral do SAE, garantindo o funcionamento em conjunto da solução de forma eficaz e segura.

No que diz respeito as garantias, é fundamental informar o tempo requisitado para cobertura de eventuais defeitos ou problemas aos equipamentos a serem comprado, seja para a bateria e/ou para os demais itens como inversores, cabos, serviços e entre outros. Ainda, deve-se estipular a necessidade para reposição de peças, sendo em tempo de garantia ou não, para retomada da operação dos equipamentos. É sugerido ainda, acrescentar um período para acompanhamento da operação do SAE assim como manutenções assistidas visando o entendimento correto na manutenção corretiva ou preditiva.

3.9 Normativas

É importante apresentar dentro do documento de especificação técnica, as normas aos quais são embasadas o documento, normas as quais os equipamentos a serem fornecidos devem atender.

Na sequência são mencionadas as principais, mas não limitadas a estas, normativas utilizadas na elaboração e referência do documento.

- NR10: Norma Regulamentadora NR-10
- GED-15303 - Conexão de micro e minigeração distribuída sob sistema de compensação de energia elétrica
- GED-33 – Ligação de Autoprodutores em Paralelo com o Sistema de Distribuição da CPFL
- IEEE 1547:2003 e 1547.1:2005: Standard Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
- IEC 62933-2-1:2017 Electrical energy storage (EES) systems - Part 2-1: Unit parameters and testing methods - General specification (non-exclusive for batteries).
- IEC TS 62933-5-1:2017 Electrical energy storage (EES) systems - Part 5-1: Safety considerations for grid-integrated EES systems - General specification.

3.10 Submissão de Propostas

É importante a solicitação de detalhes técnicos, incluindo materiais que compõem a solução, catálogos dos produtos, desenhos e projetos básicos com descrição de todos os componentes a serem fornecidos. Ainda, é necessário frisar o idioma em que será aceito estes documentos, dado a expertise do time que irá avaliar os mesmos. Em suma, devem apresentar: informações completas sobre os fornecedores; garantias e tempo de entrega; informações de embalagem e transporte; validade das propostas; memorial descritivo de valores (*cost break down*); lista completa de materiais; lista de peças sobressalentes; cópias de certificações e/ou

homologações de equipamentos; vida útil e expertise do fornecedor.

3.11 Lista de Anexos

Dentro da lista de anexos é importante apresentar aos fornecedores a situação atual do local a ser implantado o sistema de armazenamento de energia. Dado o tipo de aplicação, se faz necessário a apresentação das curvas de cargas do local, visado o atendimento da operação do SAE, projeto civil do local, visando o dimensionamento civil do local para implantação do sistema e demais informações relevantes para a elaboração de uma proposta técnica.

4. PROCEDIMENTO DE ENSAIOS

Após a contratação do fornecedor do sistema de armazenamento de energia, verifica-se dentro do processo de instalação dos equipamentos a necessidade de definição dos ensaios a serem realizados de forma a garantir seu correto funcionamento.

Dado o contexto em que estes SAEs são parte integrantes de uma chamada de P&D Estratégico da ANEEL, no qual visa o estudo da inserção dos SAEs no setor elétrico, nota-se a necessidade de desenvolvimento técnico e normativas brasileiras que definem a inserção destes equipamentos no setor. Desta forma, com a ausência de normativas brasileiras no tema e baixo desenvolvimento tecnológico nacional utilizou-se de normativas internacionais para a elaboração de um caderno de testes aplicados a SAEs com base nas aplicações do projeto. Desta forma, utilizou-se como base as normativas: IEC 62933-2-1; IEC 62933-3-1; IEC 62933-5-1; IEEE 2030.2; IEE 1547 e IEEE 1547.1.

Dentro do tempo de execução dos projetos da chamada 021/2016, surgiu a necessidade da criação de um novo comitê normativo que enderece o tema, hoje intitulado de CE:003:120:001 – sistemas de armazenamento de energia, no qual futuramente terá normativas brasileiras referente ao tema.

Até então para o projeto em execução foi adotado as normativas internacionais para elaboração do caderno de testes, em que são propostos diversos tipos de testes e ensaios para validação da operação dos SAEs, são eles: (i) ensaios de tipo, (ii) de fábrica, (iii) de comissionamento, (iv) de operação e manutenção.

Ensaio de tipo são realizados para verificar os parâmetros e princípios construtivos do sistema de armazenamento de energia em bateria (BESS). Caso o BESS seja composto por diversos equipamentos, cada uma destas unidades deve ter os testes adequados para as suas funções específicas. Se alguma característica crítica do BESS for alterada e impacte no desempenho do BESS, os testes de tipo devem ser novamente realizados. Essas características podem estar relacionadas a questões construtivas, processos de manufatura, componentes, materiais e firmware.

Ensaio de fábrica envolvem os testes em fábrica que devem ser realizados após a fabricação do sistema. Testes devem ser realizados de forma a garantir o correto funcionamento do

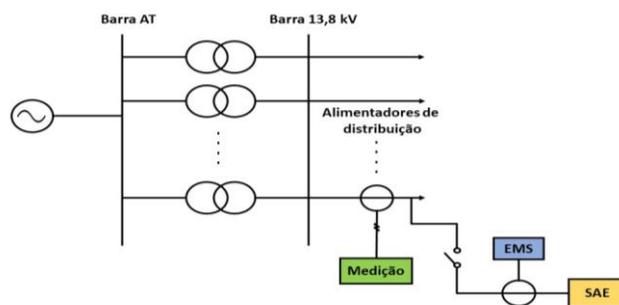


Fig. 1 Arranjo de ensaios operativos para sistema com conexão AT/MT.

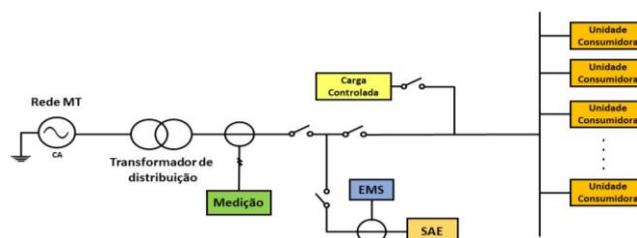


Fig. 2 Arranjo de ensaios operativos para sistema com conexão MT/BT incluindo função de ilhamento.

BESS antes do envio ao site. Incluem testes de tipo e ensaios de operação do sistema incluindo todos seus componentes.

Ensaio de comissionamento compreendem os testes de comissionamento que devem ser realizados após o BESS ser instalado e começar sua operação. Testes de tipo adicionais devem ser feitos antes dos testes de comissionamento, e no caso de muitas mudanças de software, hardware ou firmware.

Ensaio de operação são os ensaios que devem ser realizados a fim de avaliar o desempenho do sistema no tocante de suas especificações técnicas e funcionalidades de interconexão e interoperabilidade com o sistema elétrico.

Desta forma, na sequência serão apresentados os testes operativos que serão realizados assim como a proposta de arranjo para os ensaios dos modos de operação dos SAEs nos níveis de subestação, transformador de distribuição e consumidor residencial.

4.1 Sistema de Grande Porte

De acordo com a especificação técnica elaborada para o sistema com conexão AT/MT do presente projeto, os seguintes modos de operação deverão estar disponíveis no SAE:

- Integração de fontes de geração intermitente;
- Redução do pico de carga;
- Deslocamento de carga;
- Controle de reativos/regulação de tensão.

Todos os modos de operação supracitados serão testados tendo em vista suas particularidades conforme o arranjo da Figura 1. Todos os modos de operação serão avaliados parametrizando o sistema e avaliando seu desempenho ao longo de alguns meses, ou seja, ensaios de longo prazo. Com estes resultados será possível avaliar a efetividade de cada modo de operação

bem como determinar os benefícios alcançados para cada abordagem.

4.2 Sistema de Médio Porte

De acordo com a especificação técnica elaborada para o sistema com conexão MT/BT do presente projeto, os seguintes modos de operação deverão estar disponíveis no SAE:

- Operação ilhada;
- Integração de fontes de geração intermitente;
- Redução do pico de carga;
- Deslocamento de carga;
- Controle de reativos/regulação de tensão.

Todos os modos de operação supracitados serão testados tendo em vista suas particularidades conforme Figura 2. Com exceção da avaliação da operação ilhada que deverá ser realizada em ensaios pontuais, todos os outros modos de operação serão avaliados parametrizando o sistema e avaliando seu desempenho ao longo de alguns meses, ou seja, ensaios de longo prazo.

A proposta do modo de operação ilhada será testado em formato de ensaio controlado com acompanhamento da equipe da CPFL, utilização de cargas controladas e validação do sistema anti-ilhamento.

4.3 Sistema de Pequeno Porte

Em respeito a aplicação de sistemas de pequeno porte conectados em redes de baixa tensão, o documento de especificação técnica delimita que os seguintes modos de operação deverão estar disponíveis no SAE:

- Operação ilhada;
- Integração de fontes de geração intermitente;
- Redução do pico de carga;
- Deslocamento de carga;
- Controle de reativos/regulação de tensão.

Todos os modos de operação supracitados serão testados tendo em vista suas particularidades conforme Figura 3. Todos os modos de operação serão avaliados parametrizando o sistema e avaliando seu desempenho ao longo de alguns meses, ou seja, ensaios de longo prazo.

O modo de operação ilhada será testado em formato de ensaio controlado com acompanhamento da equipe do projeto.

5. EXPERIÊNCIAS PRÁTICAS DE IMPLANTAÇÃO

Conforme contexto apresentado anteriormente, verifica-se que no quesito de SAEs há ainda uma carência quanto a caracterização do mesmo no setor elétrico, razão pela qual há o incentivo da agência reguladora ANEEL para desenvolvimento nacional do tema.

Neste sentido, com o desenvolvimento do projeto de P&D, foi necessário a adoção de boas práticas da empresa para avaliação dos SAEs.

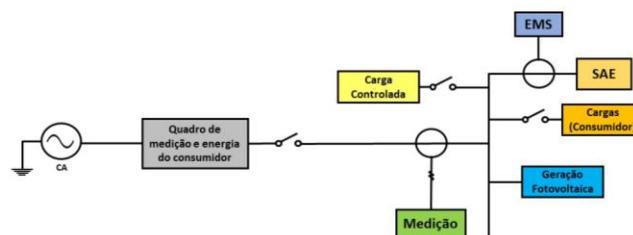


Fig. 3 Arranjo de ensaios operativos para sistema com conexão BT.

5.1 Requisitos de Conexão

Dado a natureza de operação destes sistemas, injeção e absorção de potência/energia, adota-se como premissa a normativa referente a micro e mini geração GED 15303 (CPFL Energia, 2019) dado as características que mais se assemelham a tecnologia. Ainda, foram adotadas as normativas da empresa para avaliação da conexão destes equipamentos na rede de distribuição, como ligação de autoprodutores em paralelo com o sistema de distribuição da CPFL - GED33 (CPFL Energia, 2017), de forma a garantir que os procedimentos de conexão destes equipamentos atendam aos requisitos da distribuidora, tanto quanto a padronização quanto a questão de proteção destes equipamentos na integração com a rede de distribuição. Dentro deste contexto, as principais características, não se limitado apenas a estas, de conexão adotadas foram:

1. Cabine primária de medição e proteção para o sistema de grande porte;
2. Relé digital exclusivo para supervisão e proteção dos sistemas de grande porte;
3. Paralelismo com a rede permitido somente com as adequações no alimentador de conexão, conforme apresenta o GED 33 (CPFL Energia, 2017);
4. Criação de Unidade Consumidora Exclusiva;
5. Interface com o Centro de Operações, Engenharia e Serviços da Transmissão.

5.2 Unidade Consumidora

Além desta, identificou-se a necessidade da criação de uma unidade consumidora para estes equipamentos de forma a identificar o balanço energético nestes equipamentos. A criação de uma unidade consumidora exclusiva para SAEs é de suma importância do ponto de vista da concessionária, pois há uma ineficiência no processo de carga e descarga do sistema de armazenamento, bem como consumo de energia do sistema auxiliar, que poderiam ser classificados como perdas energéticas caso a não computação dos mesmos dentro da respectiva UC.

5.3 Integração com o Centro de Operação da Distribuidora

Para os sistemas identificados como de grande e médio porte foi constatada a importância da integração do supervisor do sistema de armazenamento com o Centro de Operações da Distribuição (COD). Devido a potência dos equipamentos instalados, bem como seu caráter inovador dentro do contexto

REFERÊNCIAS

das tecnologias verificadas no sistema de distribuição atual, é relevante para o COD, não somente receber as informações de operação (status, fluxo de potência etc.), como também ter a capacidade de operar remotamente tais equipamentos, garantindo a operação segura do sistema de distribuição.

5.4 Comissionamento e Startup

Para os sistemas identificados como de grande e médio porte estas atividades ainda estão em andamento. Consta-se para esta etapa a necessidade prévia da realização dos testes em fábrica para o SAE de modo a garantir seu o correto funcionamento. Importante frisar que esta etapa de comissionamento envolve atividades além do teste do equipamento em si, isto é, será avaliado todo o conjunto que envolve o sistema de armazenamento como obra civil, operação do SAE, modos de controle, atuação de proteções e comandos local e remoto, aterramento e demais partes do conjunto.

Ressalta-se para o caso do sistema de médio porte em cabine a necessidade de testes de comissionamento isolados em banco de carga, visto que o comissionamento da operação em modo ilhado é vedado dado as restrições de operação no setor de distribuição de energia elétrica.

Por fim, o comissionamento destes sistemas está previsto para realização ainda no ano de 2020.

6. CONCLUSÕES

Conforme apresentado, verifica-se uma mudança na matriz energética com inserção de fontes alternativas de geração de energia, incluindo fontes renováveis eólica e fotovoltaica.

Com o aumento da penetração de fontes renováveis intermitentes, equipamentos como SAEs se tornam atrativos, do viés técnico, para permitir mais estabilidade e flexibilidade na operação dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Em contexto nacional, a chamada de P&D estratégico 021/2016 traz o incentivo para viabilizar o estudo de inserção de SAEs no setor elétrico e o desenvolvimento nacional do tema, incluindo capacitação profissional, desenvolvimento de normativas técnicas, estudos e revisão regulatória, cadeia de fornecimento e entre outros.

No atual cenário, verifica-se que o tema ainda está em estágio de desenvolvimento e desta forma, ressalta-se a necessidade de elaboração de um documento de especificação técnica completo delimitando o escopo de fornecimento, incluindo testes em fábrica, treinamentos e comissionamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do setor elétrico (ANEEL), através do projeto de P&D (PD-02937-3018/2016) intitulado “Inserção Técnico-Comercial para Implementação, Desenvolvimento e Análise de Aplicações de Tecnologias de Armazenamento de Energia na Operação de Redes de Distribuição da CPFL” do grupo CPFL Energia.

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2016). *Chamada nº 021/2016 Projeto Estratégico: Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro*. ANEEL, Brasília, DF, Brasil.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2018). *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, Rev. 10*. ANEEL, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/modulo-8>
- American Electric Power (AEP). (2009). *Functional Specification for Community Energy Storage (CES) Unit, Revision 2.2*.
- CPFL Energia. (2017). *GED 33 - Ligação de Autoprodutores em Paralelo com o Sistema de Distribuição da CPFL*. CPFL Energia, Campinas/SP. Disponível em: <http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-33.pdf>
- CPFL Energia. (2019). *GED 15303 - Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica*. CPFL Energia, Campinas/SP. Disponível em: <http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-15303.pdf>
- Electric Power Research Institute (EPRI). (2015). *Energy Storage Technical Specification Template - Guidelines Developed by the Energy Storage Integration Council for Distribution-Connected Systems*. Palo Alto, CA, USA.
- Electric Power Research Institute (EPRI). (2017). *Energy Storage Integration Council (ESIC) Energy Storage Request for Proposal Guide*. Palo Alto, CA, USA.
- International Energy Agency (IEA). (2019). *World Energy Outlook 2019*. OECD Publishing, Paris, France. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/caf32f3b-en>
- Matias, J. A. C., Blasi, T. M., Block, P. A. B., Lachovicz, F. J., Hollmann, B. V., Riboldi, V. B., e Aoki, A. R. (2018). Metodologia de classificação de consumidores residenciais para instalação de sistemas de armazenamento de energia. *Anais da Conferência Internacional em Energia Inteligente (Smart Energy CIEI & EXPO) 2018*. Curitiba, PR, Brasil.
- Northern Powergrid (Northeast) Limited. (2014). *Technical recommendation for the purchase of Electrical Energy Storage Systems*, Yorkshire, UK.
- Riboldi, V. B., Ricciardi, T. R., Donadon, A. R., Block, P. A. B., Pereira, C. O., e Cunha, V. C. (2018). Implementação, desenvolvimento e análise de aplicações de tecnologias de armazenamento de energia na operação de redes de distribuição da CPFL. *Anais do XXIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (SENDI)*, ABRADDEE, Fortaleza, CE, Brasil.
- U. S. Department of Energy (DoE). (2020). *Global energy storage database*. [On-line]. Disponível em: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database-home/>. Acessado em: Jun, 2020.
- Walling, R. A., Saint, R., Dugan, R. C., Burke, J., and Kojovic, L. A. (2008). Summary of Distributed Resources Impact on Power Delivery Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23 (3), pp. 1636-1644.