



**XXV SNPTEE**  
**SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E**  
**TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

3817  
GES/14

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

**Grupo de Estudo de Geração Eólica, Solar e Armazenamento-GES**

**Impactos de um Sistema de Armazenamento de Energia de 1 MW na Rede de Distribuição de 13,8 kV -  
Desafios Técnicos, Econômicos e Regulatórios**

**LEONADO HENRIQUE DE MELO LEITE(1); LUCAS DE GODOI TEIXEIRA(1); WALLACE DO COUTO  
BOAVENTURA(2); EDUARDO NOHME CARDOSO(2); ANDREA SARMENTO MAIA(3); FELIPE DE OLIVEIRA  
RAMOS(3); GUILHERME ESTEVES MENDES CAMPOS(4); DANIEL CORREA RAMOS(4); DANILO DERICK  
SILVA ALVES(5); ALEFF VINÍCIUS ARAÚJO GOMES PASSOS(3)  
FITec(1);UFMG(2);ITEMM(3);CONCERT(4);Cemig D (5)**

## RESUMO

Os sistemas de armazenamento de energia por baterias, do inglês BESS – *Battery Energy Storage Systems*, despontam como uma promissora tecnologia de suporte e aprimoramento a redes de distribuição. Esse equipamento pode proporcionar melhorias na eficiência operacional, a postergação de investimento em infraestrutura, a suavização de potência da geração de fontes renováveis e a execução de serviços auxiliares, tais como, a regulação de tensão, de frequência e *peak-shaving*. Esse Informe Técnico tem como objetivo apresentar a metodologia utilizada para a implantação de dois sistemas BESS, baseado nas tecnologias de Chumbo-Ácido e Lítio, abrangendo as fases de planejamento, aquisição, integração e comissionamento.

## PALAVRAS-CHAVE

Armazenamento de Energia, *Battery Energy Storage Systems* - BESS, Impactos em Redes de Distribuição, Suavização de Potência, Contingência.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

Os sistemas de armazenamento de energia por bateria, do inglês *Battery Energy Storage Systems* - BESS estão cada vez mais ganhando espaço em sistemas elétricos conectados à rede, sejam eles para transmissão ou distribuição. Segundo o departamento de energia dos Estados Unidos (*Department of Energy* – DOE), há diversos BESS instalados em redes de distribuição variando entre 2 kW a 6 MW e 800 Wh a 28 MWh de potência e capacidade nominal de energia, respectivamente (1). Inicialmente considerados, majoritariamente, como projetos de inovação e pesquisa, o BESS atualmente vem sendo tratado, em muitos países, como elemento ativo nas redes de distribuição. A utilização desses sistemas acarreta melhorias na eficiência operacional, posterga ou elimina a necessidade de altos gastos com investimentos nas redes, possibilita uma matriz com mais recursos renováveis intermitentes, tais como geração fotovoltaica e eólica, e ainda permite o ganho com diversos serviços ancilares, tais como regulação de tensão, regulação de frequência, entre outros. Do ponto de vista operacional, as distribuidoras podem operar os sistemas de armazenamento de duas formas: centralizada, na qual as diretrizes de comando são estabelecidas pelo operador, ou autônoma, em que o sistema se vale da capacidade de automação para atuar na rede. Conseqüentemente, o impacto operacional do BESS nas redes de distribuição muitas vezes reflete os princípios de funcionamento das próprias distribuidoras associados ao ambiente regulatório, podendo, então, apresentar impactos distintos em outro sistema de distribuição. O sistema de controle é um dos fatores mais importantes na implementação bem sucedida de um BESS, necessitando uma discussão aprofundada das arquiteturas de controle, monitoramento e infraestrutura de comunicação para suportar as funções operacionais e interface com a rede.

No Brasil, a escassez de projetos de sistemas de armazenamento de energia *grid-tie* utilizando baterias de grande porte para suporte à rede impulsionou a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), em sua chamada n° 021/2016, que lançou o Projeto Estratégico “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro” (2), cujo objetivo foi estimular o desenvolvimento e aplicação de tecnologias e sistemas de armazenamento na infraestrutura de energia elétrica brasileira, no que tange aos aspectos técnicos, econômicos e regulatórios. Em resposta a essa chamada, a CEMIG Distribuição, junto as entidades parceiras (Concert, FITec, ITEM e UFMG), submeteu uma proposta de projeto para a análise de arranjo técnico e comercial baseado em uma planta piloto de sistema distribuído de armazenamento de energia de 1MW-1MWh conectado a um alimentador crítico da rede de distribuição de 13,8kV, atualmente em execução.

Nesse contexto, esse trabalho tem como finalidade apresentar a metodologia utilizada para a implantação do BESS, baseado em tecnologias distintas de baterias, na rede de distribuição, abrangendo as fases de planejamento, aquisição, integração e comissionamento, bem como, as análises iniciais da avaliação dos impactos na rede de distribuição sob a ótica técnica, econômica e regulatória para suporte às funções de: i) suavização de potência de origem fotovoltaica; ii) suprimento de energia em situação de contingência da fonte primária da concessionária para blocos de carga específicos; iii) suporte aos serviços ancilares, notadamente a regulação de tensão e o controle de potência reativa ao longo do alimentador e iv) “*peak shaving*” e “*load leveling*” pelo uso do sistema de armazenamento para suprir picos de demanda, reduzindo os investimentos em atualizações da rede de distribuição com conseqüente postergação de investimentos. O estudo de impacto do BESS foi realizado em um alimentador da rede de distribuição da CEMIG. Os resultados obtidos permitirão à concessionária definir estratégias e tecnologias de proteção, comunicação, integração e controle da rede com a presença do BESS em área de concessão, a partir de resultados obtidos de uma planta piloto.

## 2.0 - SISTEMA DE ARMAZAMENTO DE ENERGIA CONECTADO À REDE DE DISTRIBUIÇÃO.

### 2.1 METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DO BESS

A implantação efetiva de um sistema de armazenamento de energia conectado à rede de distribuição exige uma discussão de vários fatores que devem ser considerados durante a execução do projeto. Nesse sentido, considerando o número crescente de projetos de armazenamento de energia baseados em diversas tecnologias e aplicações em todo mundo e, em especial nos Estados Unidos, o EPRI (do inglês, *Electric Power Research Institute*) estabeleceu uma frente de trabalho denominada ESIC (do inglês, *Energy Storage Integration Council*) (3) para auxiliar o desenvolvimento de projetos de sistemas de armazenamento. Considerando a coerência da metodologia proposta e o amplo respaldo da sua utilização em vários projetos de concessionárias de energia no mundo, o projeto corrente o adotou como referência, realizando as adaptações necessárias ao contexto brasileiro e, em especial, às particularidades da rede de distribuição da CEMIG.

A Figura 1 ilustra o fluxo de referência do sistema a ser implantado, subdividido em cinco fases cronológicas: Planejamento; Aquisição; Implantação e Integração; Operação, Manutenção e Análise de Impactos e Descomissionamento.

P&D D722 – PROJETO EXECUTIVO BESS

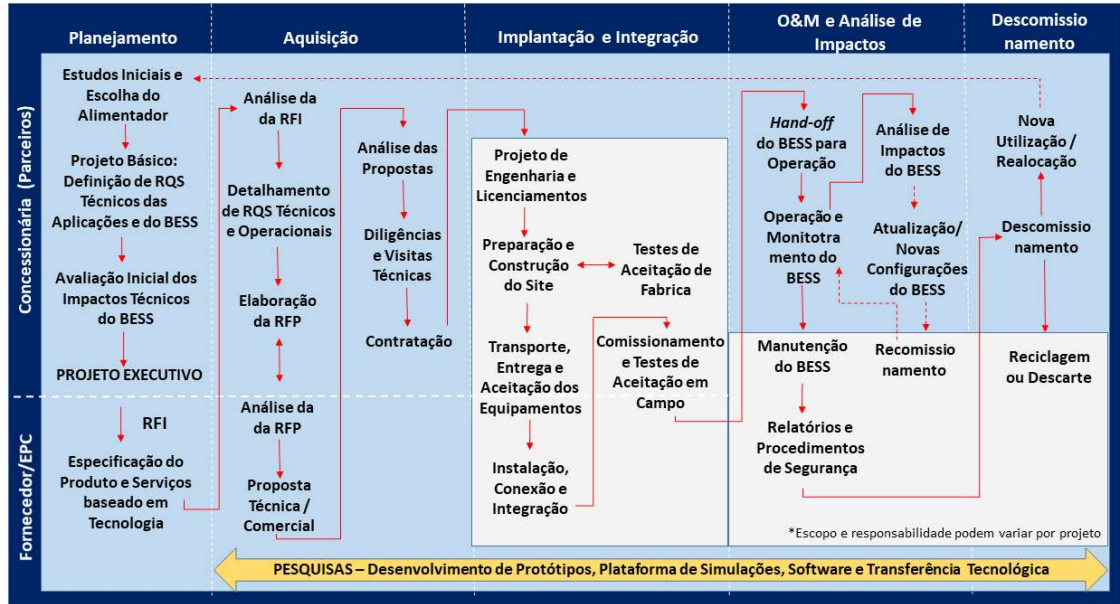


FIGURA 1: Fluxograma do Projeto Executivo do BESS (3)

2.2 ARQUITETURA GERAL

Esse projeto prevê a conexão de dois sistemas de armazenamento de energia totalizando 1,0 MW de potência e 1,0 MWh de energia, instalados em pontos estratégicos de um alimentador de média tensão (13,8 kV). Destaca-se que o alimentador escolhido possui uma Usina Fotovoltaica (UFV) de 1,4 MWp, possibilitando a investigação de uma gama de aplicações associadas à utilização de sistemas de armazenamento para controle de fluxo energético de fontes intermitentes na rede distribuição.

A Figura 2 ilustra a arquitetura simplificada da solução proposta. Os sistemas de armazenamento são conectados em pontos estratégicos distribuídos ao longo do alimentador, de acordo com características técnicas, operacionais e de carregamento do circuito elétrico. Um controlador instalado no ponto de conexão é responsável por monitorar e gerenciar a operação de cada sistema de armazenamento. Os controladores, por sua vez, comunicam com um sistema supervisor (DERMS - *Distributed Energy Resource Management System*) que, a partir de algoritmos inteligentes supridos por informações coletadas da rede de distribuição e regras de negócios internas, controlam de forma otimizada o fluxo energético de cada sistema de armazenamento em benefício da rede e dos consumidores.

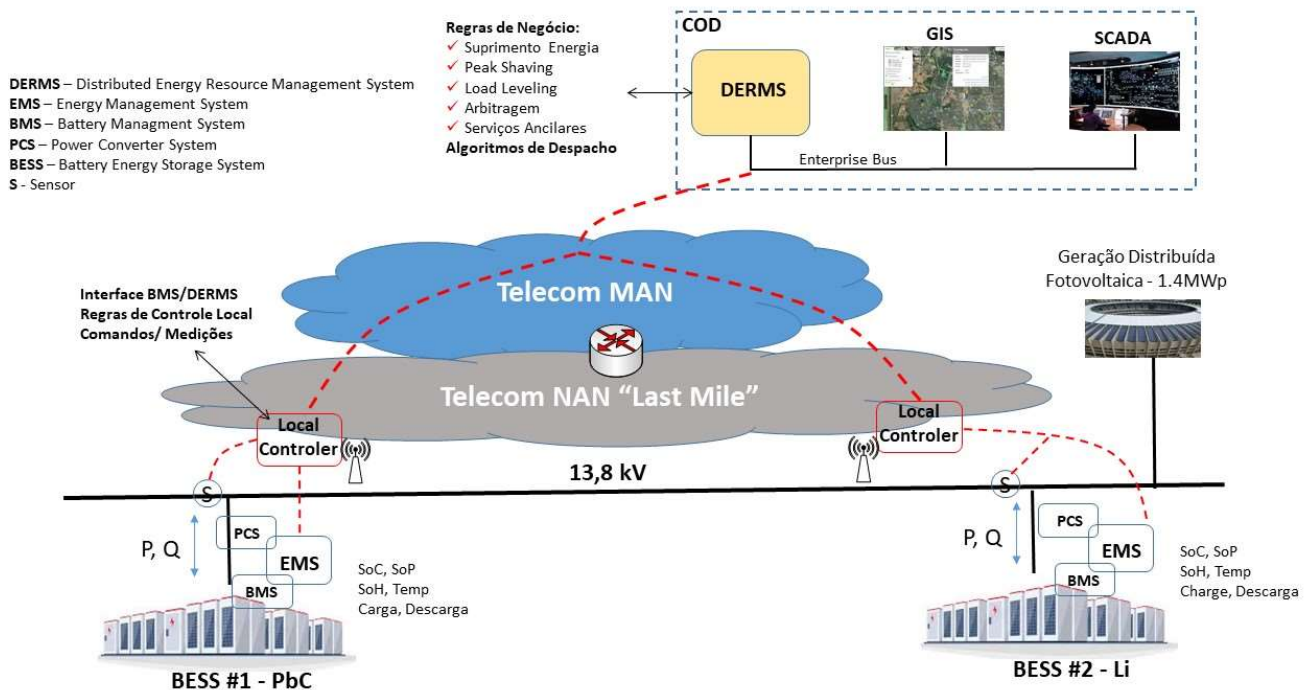


FIGURA 2: Arquitetura da Integração do BESS à Rede de Distribuição

Nessa arquitetura, estão presentes os seguintes componentes:

- **Battery Energy Storage System (BESS):** É parte do sistema de armazenamento de energia, englobando as baterias, o sistema de monitoramento (BMS – *Battery Management System*), sistema de gerenciamento de energia (EMS – *Energy Management System*), o sistema de conversão de energia (PCS – *Power Conversion System*) e os componentes adicionais tais como o sistema HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*), o sistema de segurança e o invólucro (container).
- **Battery Management System (BMS):** Tem o objetivo de supervisionar e proteger internamente o funcionamento das baterias, a fim de preservar o ciclo de vida frente às condições ambientais sob as quais os componentes estão submetidos e, ao mesmo tempo, possibilitar a execução das aplicações respeitando os limites operacionais. As principais funções do BMS para sistemas de armazenamento de larga escala são: balanceamento do nível de tensão das baterias, controle térmico, monitoramento e prognósticos das condições físicas dos elementos e proteção elétrica.
- **Energy Management System (EMS):** Tem como função gerenciar o fluxo energético do sistema (energia ativa e reativa), de acordo com as aplicações demandadas. Internamente, faz interface com o BMS e, externamente, com o DERMS.
- **Power Conversion System (PCS):** Tem a função de converter a energia proveniente de fonte contínua (bateria) em energia do tipo alternada (rede elétrica) para compatibilidade com sistema de distribuição. Além disso, garante, do ponto de vista elétrico, o acoplamento síncrono, com os níveis de tensão adequados, as proteções elétricas necessárias e a garantia dos parâmetros de qualidade de serviço no ponto de conexão.
- **Distributed Energy Resource Management System (DERMS):** Ferramenta projetada para organizar, otimizar, gerenciar e controlar os DERs (*Distributed Energy Resources* ou Recursos Energéticos Distribuídos), com o objetivo de obter melhores resultados econômicos, maior confiabilidade e qualidade de serviço na rede de distribuição. Os DERMSs possibilitam, por exemplo, agrupar DERs por subestação, alimentador, seção de um alimentador, tipo de geração, capacidade, entre outras características. No contexto desse projeto, fará o gerenciamento dos sistemas de armazenamento e implementará as regras de negócios associadas às funções a serem executadas bem como o despacho ótimo de cada BESS. No ambiente do Centro de Operações da Distribuição (COD), o DERMS comunica com outros sistemas operativos da concessionária, como SCADA e GIS para transferência de informações sobre o estado do sistema elétrico de potência.
- **Local Controller:** Os controladores locais têm a função de gateway de comunicação entre o DERMS e o EMS. Por um lado, se comunica com o DERMS através da rede IP de abrangência metropolitana e, de outro, com o EMS através de uma rede local. Dependendo do estado ou disponibilidade da rede de comunicação, os controladores locais podem exercer função de controle local para despacho do BESS com o qual se comunica. Para tanto, comunicam com sensores locais para medição de parâmetros da rede de energia e tomada de decisão.
- **Rede de Telecomunicações:** A infraestrutura de telecomunicações possibilita a comunicação remota entre o Centro de Operação da Distribuição e os BESS, permitindo uma arquitetura de controle distribuído, a partir do despacho coordenado dos sistemas de armazenamento de acordo com as regras de negócios estabelecidas..

### 2.3 ARRANJO GEOELÉTRICO

Os dois sistemas de armazenamento serão instalados em um alimentador da rede de distribuição da CEMIG com tensão eficaz no ponto de acoplamento de 13,8 kV. O alimentador escolhido (BHMR27) tem como fonte a subestação Maracanã que, além do atendimento à carga da UFMG e adjacências, também é responsável por integrar uma usina fotovoltaica à rede de distribuição. Os dois BESS são de tecnologias distintas, sendo um de Chumbo-Ácido (PbA) e outro de Íons de Lítio, cujo detalhamento está contemplado na seção 2.4. A escolha por mais de uma tecnologia permite um conhecimento mais aprofundado sobre o tema de armazenamento de energia, consentindo a possibilidade de comparação entre as tecnologias, aplicações e o funcionamento

A Figura 4 ilustra a topologia do alimentador destacado em linha laranja, como também a UFV instalada na cobertura do estádio e a localização dos BESS (BESS 01 e BESS02).



FIGURA 3: Topologia do Alimentador



A Usina Fotovoltaica construída pela CEMIG na cobertura do Estádio do Mineirão apresenta as seguintes características:

- Potência Instalada: 1,42 MWp com 5.910 módulos de silício policristalino de 240 Wp cada;
- 88 inversores Igecon Sun Smart 15TL (15 kW/0,380 kV), totalizando 1.320 kW de capacidade de conversão;
- Conexão à rede de distribuição por meio de 2 transformadores de 750 kVA (0,380/13,8 kV) com conexão em zig-zag, totalizando 1,5 MVA;
- 2 transformadores para serviços auxiliares 5 kVA.
- 2 bancos de capacitores (9 kVAr);
- Carga total instalada no estádio 2,7 MW.

A Figura 4 apresenta a curva de carga do alimentador, com dados medidos em um dia útil, 03/04/19, no qual ocorreu uma partida de futebol no período da noite. A carga máxima verificada nesse dia, entre 17:00 e 18:00 horas, foi de 6.418 kVA. Nesse cenário, além do controle intermitente da geração de energia da UFV durante o dia, os sistemas de armazenamento poderão exercer a função de peak-shaving, aliviando a elevada demanda de energia em dias de eventos no estádio.

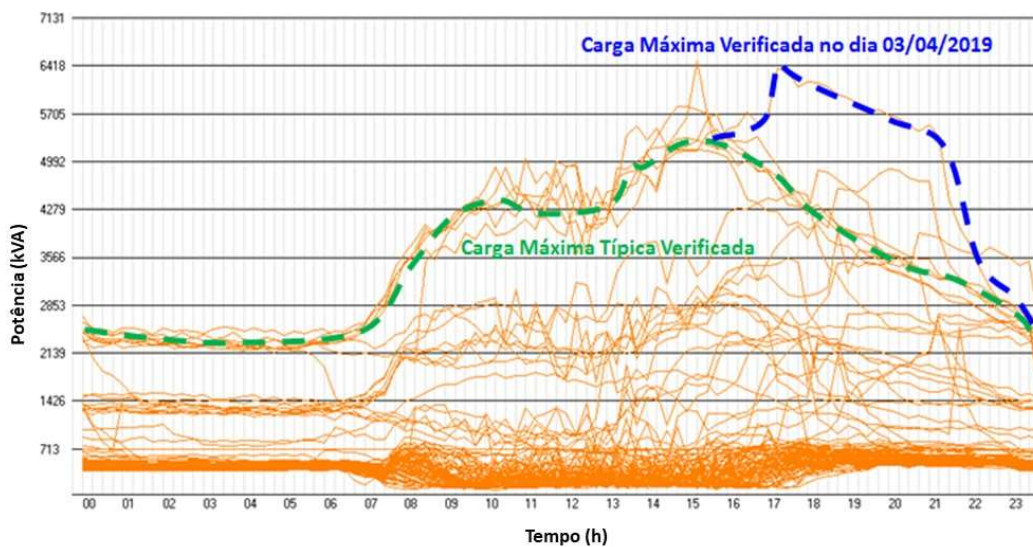


FIGURA 4: Carga do Alimentador BHRM 27 em um dia útil com jogo de futebol a noite

## 2.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO BESS

### 2.4.1. Funcionalidades

As seguintes funcionalidades são previstas para o funcionamento do BESS conectado à rede de distribuição:

- **Suavização de Potência de Fonte Solar Intermitente:** O BESS gerencia a taxa de rampa de energia solar (a flutuação devido à presença de nuvens) e cria uma potência de saída que é equivalente à potência de saída média projetada ou modelada ao longo de um dia. A suavização de potência compensa as variações de curto prazo, absorvendo os picos de produção (recarga) e compensando as quedas de energia (descarga). Os benefícios resultam na estabilidade da energia gerada, favorecendo a postergação de investimento da concessionária.
- **Suprimento de energia em situação de contingência:** O BESS pode ser utilizado para fornecer energia em períodos de contingência em função, por exemplo, da perda de uma linha ou problemas no alimentador. O BESS fornece energia durante o esgotamento das reservas girantes, atuando como *backup* durante um evento de emergência. Ademais, o BESS pode fornecer energia para manter a continuidade da rede, enquanto a fonte secundária não opera em plena carga. Os benefícios resultam no aumento da eficiência da fonte secundária e evitam a necessidade de manter a capacidade ociosa das reservas. Essa funcionalidade deverá ser realizada sob a supervisão e controle do COD (Centro de Operação da Distribuição).
- **Peak-shaving:** O BESS é utilizado para fornecer energia durante períodos de alta demanda (horário de ponta), reduzindo a carga para o sistema elétrico. A recarga ocorre quando a demanda se encontra

baixa. Dessa forma, o BESS reduz as flutuações no carregamento do alimentador e as torna mais previsíveis. Um benefício colateral é a possibilidade de postergação de investimento em recapacitação da rede de distribuição.

- **Suporte aos serviços auxiliares:** A regulação de tensão e o controle de potência reativa ao longo do alimentador, a partir da injeção ou absorção de potência reativa pelo sistema de armazenamento de energia, por meio do PCS, no ponto de conexão à rede. Essa ação pode ser realizada pelos sistemas e com os dispositivos tradicionais de regulação de tensão (ex. reguladores e banco de capacitores).

#### 2.4.2. Dimensionamento

Para definição da capacidade eletroenergética do BESS foi realizada análise estatística, sensível e financeira de diferentes configurações de atendimento para as aplicações desejadas. O ponto de partida dessa avaliação considerou a aplicação de suavização de potência como aplicação base do BESS, uma vez que é uma aplicação que demanda grande esforço do sistema de armazenamento, também confirmado pelo relatório “Final Report - Technical and Commercial Analysis of a Pilot BESS”, apresentado pela Fractal Energy Storage Consultants (4). A Figura 5 ilustra o resultado obtido com o método de suavização de potência da UFV em um dia típico durante 24 horas.

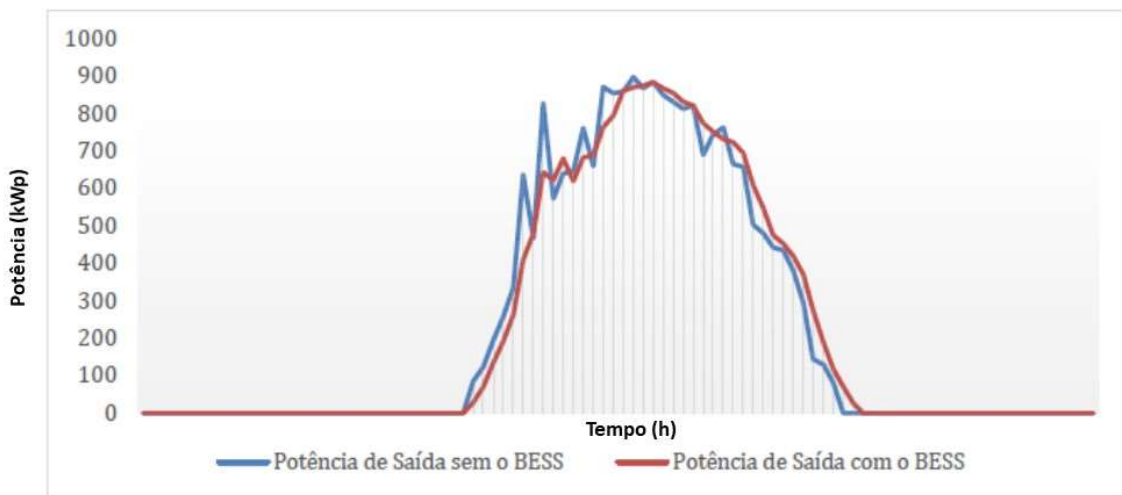


FIGURA 5: Suavização de Potência da UFV pelo BESS

A curva em azul corresponde a potência gerada pela usina fotovoltaica, em que é possível identificar um elevado grau de intermitência na geração. Em contrapartida, a curva em vermelho representa a potência de saída suavizada, na qual é possível identificar uma maior regularidade e variações de menor amplitude.

O passo seguinte para o dimensionamento foi compreender a análise das faixas de variação de potência e a frequência com que elas ocorrem. Partindo para uma abordagem comercial foi analisado a variação tomando como base as faixas de potências com maior aderência ao mercado de PCS. Para conversores comerciais na faixa de potência de 500 a 1.000 kW, 96,87% a 100% das ocorrências de variação de potência são suavizadas.

A Tabela 1 apresenta o dimensionamento dos dois sistemas de armazenamento.

TABELA 1: Percentual de Ocorrência de Eventos por Faixa de Potência

Especificações	BESS 01	BESS 02
Potência	750 kW	400 kW
Energia	1000 kWh	750 kWh
Tecnologia	Lítio (NMC ou LFP)	Chumbo-Ácido (PbA)
Tensão Nominal CC	1000 – 1500 V	600 V
Tempo de Vida	3 a 5 anos	3 a 5 anos
Aplicações	Contingência, <i>load leveling</i> , suporte Volt/Var	Suavização de Potência e Suporte Vol/Var



### 3.0 - ASPECTOS DE INTERCONEXÃO E IMPACTOS DO BESS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

As questões, regulamentações e condições para a interconexão de BESS na rede distribuição ainda não estão completamente consolidadas uma vez que a prática não está estabelecida. Ainda não há, nem por parte da ANEEL/PRODIST e de concessionárias, definições a este respeito. Devido à similaridade com sistemas de geração fotovoltaica: i) fluxo de potência bidirecional, ii) utilização de sistemas baseados em eletrônica de potências para interação com a rede de distribuição e iii) conexão ao longo do alimentador (a princípio, não há restrições quanto ao ponto de conexão, sendo este de livre escolha), uma primeira abordagem para a questão da interconexão dos BESS seria seguir as mesmas diretrizes adotadas para as instalações de geração fotovoltaica. Neste caso, a CEMIG, em consonância com o Módulo 3 do PRODIST/ANEEL, especifica uma série de etapas (além daquelas relativas aos aspectos comerciais) de dimensionamento e especificação técnica. Nesta sequência de etapas destaca-se a fase da elaboração dos projetos de conexão pelo acessante para submissão da solicitação de acesso. Dos projetos de conexão devem constar: i. Projeto do ramal de ligação; ii. Ajuste de proteção; iii. Projeto da subestação de conexão; iv. Projeto do sistema de medição de faturamento; v. Diagrama de operações. Os dispositivos regulatórios finais para a interconexão de BESS na rede de distribuição certamente serão permeados por estas questões.

Quanto à estrutura elétrica básica da interconexão, esta é composta pelo banco de baterias, conversor e transformador de conexão. A topologia convencional do conversor para conexão do BESS à rede elétrica é mostrada na Figura 6. Essa topologia é composta por um inversor de ponte completa com um filtro passa baixa de saída, responsável por atenuar as frequências de chaveamento do inversor. Geralmente empregam-se filtros LC ou LCL. O transformador Tx é utilizado para elevar a baixa tensão (BT) do lado do inversor para média tensão (MT) do lado da rede.

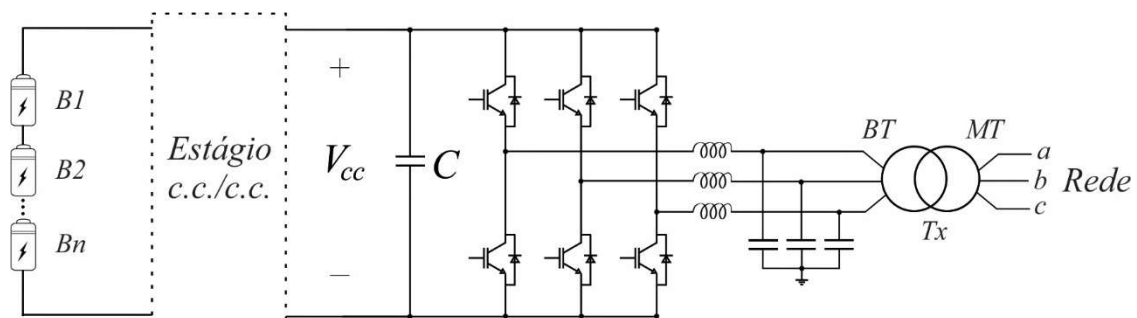


FIGURA 6. Topologia convencional do conversor 2 níveis para conexão do BESS com a rede.

A integração do BESS ao sistema de distribuição se dá por meio de um sistema de gerenciamento centralizado, estabelecido por meio de um robusto sistema de comunicação e apoiado por um sistema de decisão de perfil de atuação otimizado. Para esta integração, existem empresas que fornecem a montagem completa do sistema, de modo a unificar o conjunto de baterias, BMS, PCS, DERMS e componentes adicionais que compõem um conjunto completo de equipamentos para aplicações em armazenamento de energia. Em destaque, as empresas S&C, AES, Woojin, SGCC, GE, Greensmith e ABB.

#### 3.1. IMPACTOS DO BESS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Dependendo da capacidade de cada BESS, bem como restrições operacionais impostas pelo sistema, ele pode contribuir parcialmente ou totalmente para o regulação de frequência e tensão da rede (5), (6) e (7). Além desses serviços, pode-se utilizar a eletrônica de potência associado aos BESS para realizarem compensação de potência reativa, desbalanço de correntes e harmônicos de cargas não lineares (8), (9) e (10). Dessa forma, é importante verificar o impacto desses serviços na confiabilidade do sistema e checar a viabilidade de implementá-los, além de estabelecer prioridades de forma a não exceder a capacidade máxima de operação das chaves.

A expansão dos dispositivos elétricos com característica não linear na relação corrente e tensão tem causado preocupações quanto à proliferação de harmônicos no sistema de potência. Por esta razão, vários trabalhos tem proposto utilizar conversores conectados a rede de distribuição para mitigar distorções harmônicas de corrente e tensão geradas por cargas não-lineares (11), (12) e (13). A utilização dos conversores associados ao BESS para mitigar esses harmônicos na rede é uma interessante estratégia para reduzir os impactos desse distúrbio no sistema elétrico.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

A utilização de sistemas de bateria de grande porte na infraestrutura de energia elétrica pode trazer benefícios técnicos e econômicos para as concessionárias e os consumidores, em especial no que se refere à disponibilidade e qualidade do serviço de fornecimento de energia. Nesse trabalho foi apresentado a metodologia para a implantação do BESS na rede de distribuição, abordando as aplicações dos sistemas BESS, os aspectos gerais da integração do BESS aos sistemas de distribuição e as considerações sobre os respectivos impactos na rede. A metodologia proposta foi possível pelo profundo estudo sobre o comportamento de cada parte constituinte do BESS, bem como as funcionalidades por ele fornecidas. Sendo assim, o projeto em desenvolvimento apresenta, por diferentes óticas, a utilização de sistemas de armazenamento de energia em uma rede de distribuição. A próxima etapa do projeto relatado nesse Informe Técnico é a aquisição, implantação e testes em uma planta real do sistema de distribuição da CEMIG.

#### 5.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG Distribuição, a FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas e a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, por proverem as informações e os recursos necessários para a realização desse trabalho.

#### 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) DOE - Department of Energy – *DOE Global Energy Storage Database provides free, up-to-date information on grid-connected energy storage projects and relevant state and federal policies*. US, Abril, 2019. [Online]. Disponível em: <http://www.energystorageexchange.org>.
- (2) ANEEL - CHAMADA NO 021/2016 – *Projeto Estratégico: Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro*. Brasília, DF, Julho, 2016.
- (3) EPRI, *Energy Storage Integration Council (ESIC) - Energy Storage Implementation Guide 31*, Dezembro, 2017, Palo Alto, CA. Disponível em: <https://www.epri.com/#/pages/product/3002008899/?lang=en-US>
- (4) Fractal Energy Storage Consultants - *Final Report - Technical and Commercial Analysis of a Pilot BESS*, apresentado pela (4).
- (5) I. Serban and C. Marinescu. *Control strategy of three-phase battery energy storage systems for frequency support in microgrids and with uninterrupted supply of local loads*. IEEE Transactions Power Electron., vol. 29, nº. 9, pp. 5010–5020, 2014.
- (6) Q. Tabart, I. Vechiu, A. Etxeberria, and S. Bacha. *Hybrid Energy Storage System Microgrids Integration for Power Quality Improvement Using Four-Leg Three-Level NPC Inverter and Second-Order Sliding Mode Control*. IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 65, nº. 1, pp. 424–435, 2018.
- (7) M. Arifujaman. *A comprehensive power loss, efficiency, reliability and cost calculation of a 1 MW / 500 kWh battery based energy storage system for frequency regulation application*. Renew. Energy, vol. 74, pp. 158–169, 2015.
- (8) S. Dasgupta et al.. *Single-phase inverter control techniques for interfacing renewable energy sources with microgrid-Part I: Parallel-connected inverter topology with active and reactive power flow control along with grid current shaping*. IEEE Trans. Power Electron., vol. 26, nº. 3, pp. 291–312, 2011.
- (9) T. S. Jeju. *Modeling, Analysis, and Design of Stationary Reference Frame Droop Controlled Parallel Three-Phase Voltage Source Inverters*. IEEE Transactions on Industrial Electronics., vol 26, nº.4, Abril, 2013.
- (10) J. A. Barrado, R. Griñó, and H. Valderrama-Blavi. *Power-quality improvement of a stand-alone induction generator using a STATCOM with battery energy storage system*. IEEE Transactions on Power Delivery., vol. 25, no. 4, pp. 2734–2741, 2010.
- (11) J. P. Bonaldo, H. K. M. Paredes, and J. A. Pomilio. *Control of Single-Phase Power Converters Connected to Low Voltage Distorted Power Systems with Variable Compensation Objectives*. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 31, nº 3, pp. 2039–2052, 2016.
- (12) L. S. Xavier, A. F. Cupertino, J. T. de Resende, V. F. Mendes, and H. A. Pereira. *Adaptive current control strategy for harmonic compensation in single-phase solar inverters*. Electric Power Systems Research., vol. 142, pp. 84–95, 2017.

- (13) H. K. M. Paredes, F. P. Marafão, D. I. Brandão, and A. Costabeber. *Multi-task control strategy for grid-tied inverters based on conservative power theory*. IET Renewable Power Generation., vol. 9, no. 2, pp. 154–165, 2015.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Leonardo Leite:** Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG – 2016). Mestre em Engenharia Elétrica (UFMG – 2005). Graduação em Engenharia Elétrica (UFMG – 2000). Engenheiro Eletricista Sênior da FITec – Fundações para Inovações Tecnológicas – há 18 anos, atuando como Coordenador Técnico de diversos projetos no campo da Engenharia Elétrica em concessionárias de energia e empresas do setor. Professor do Curso de Pós Graduação da PUC-MG. Áreas de interesse e atuação: Geração Distribuída de Energia, Redes Inteligentes de Energia (*Smart Grids*), Fontes de Energia Renováveis, Automação de Sistemas Elétricos de Potência, Co-Simulação de Sistemas de Energia e Telecomunicações.

**Lucas Teixeira:** Mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG – 08/2017 a 05/2019). Possui Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP – Campus João Monlevade 2017). Atualmente é Especialista em Engenharia de Sistemas na FITec - Fundação para Inovações Tecnológicas. Atua e tem interesse em Sistemas Reais de Distribuição de Energia, Redes Inteligentes e Recursos Energéticos Distribuídos.

**Wallace Boaventura:** possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil, em 1988 e 1990, respectivamente. Obteve o título de Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Campinas, Campinas, Brasil, em 2002. É professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG desde 1992. Suas áreas de pesquisa incluem compatibilidade eletromagnética, alta tensão e processamento de sinais aplicados aos sistemas elétricos de potência.

**Eduardo Cardoso:** Possui graduação em pela Universidade Federal de Minas Gerais (1977), mestrado em pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1982) e doutorado pela Universidade Federal de Santa Catarina (1994). Atualmente está aposentado como professor associado IV da Universidade Federal de Minas Gerais, tendo sua formação sido focada em Engenharia Elétrica, nas áreas de Análise de Redes, Estabilidade, Medição e Estratégias de Correção da Segurança de Sistemas de Energia Elétrica.

**Andrea Maia:** Pesquisadora líder de projetos de P&D do Instituto de Tecnologia Edson Mororó Moura (ITEMM) voltada ao desenvolvimento, dimensionamento, análise e otimização de soluções em sistema de armazenamento de energia. Possui formação em Engenharia Eletrônica e mestrado em Tecnologia da Energia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Áreas de interesse e atuação: Sistemas de Armazenamento de Energia, Fontes de Energia Renovável, Geração Distribuída, Comercialização de Energia, Eletrônica de Potência, Mobilidade Elétrica, Acumuladores de energia, Microeletrônica.

**Felipe Ramos:** Bacharel em Engenharia Elétrica pela Faculdade INTESP. Líder técnico de projetos de armazenamento de energia no ITEM (Instituto de Tecnologia Edson Mororó Moura), atuando principalmente no desenvolvimento de produto, otimização do dimensionamento, qualidade de energia, modelagem financeira e criação de metodologias de testes. Áreas de interesse e atuação: Armazenamento de Energia, Geração Distribuída, Qualidade de Energia, Desenvolvimento de Negócios, Mobilidade Elétrica, Acumuladores Eletroquímicos, Eletrônica de Potência.

**Aleff Passos:** Mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela mesma universidade. Atua como Analista de Pesquisa e Desenvolvimento do ITEM. Áreas de interesse e atuação: Sistemas de Armazenamento de Energia, Fontes de Energia Renovável, Geração Distribuída, Controle e Automação de Sistemas de Potência.

**Guilherme Esteves Mendes Campos:** Especialista em Gestão de Projetos pelo Instituto de Educação Tecnológica (IETEC – 2013). Bacharel em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG – 2012). Analista de Software pela Concert Technologies desde 2011,

atuando em projetos diversos projetos de P&D nas áreas de desenvolvimento de sistemas de monitoramento e apoio à gestão da operação de concessionárias de energia. Áreas de interesse e atuação: SEP, GD, Supervisão e Controle, Interoperabilidade entre Sistemas, Desenvolvimento de Software.

**Daniel Correa Ramos:** Especialista em Gestão de Projetos pela Fundação Dom Cabral (FDC– 2007). Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG – 2003). Gerente de Portfólio da CONCERT há 7 anos, atuando como Gerente de Projetos e Líder de Equipes multidisciplinares em diversos projetos de P&D para concessionárias de energia e projetos de sistemas críticos para os Centros de Lançamento de Foguetes do Brasil em parceria com a Agência Espacial Brasileira e a Aeronáutica. Áreas de interesse e atuação: Geração Distribuída de Energia, Localização de Falhas em Redes de Distribuição e Linhas de Transmissão, Fontes de Energia Renováveis, Automação de Sistemas Elétricos de Potência, Sistemas de Supervisão e Controle, Gestão de Ativos.

**Danilo Alves:** Possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2006) e (2010). Atualmente é Engenheiro de Planejamento, Tecnologia e Normalização na Empresa Cemig D. Tem experiência em sistemas elétricos de potência, acesso ao sistema de distribuição e integração de recursos energéticos distribuídos ao sistema de distribuição.