

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG



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

Avaliação técnica de um sistema de armazenamento de grande porte no Sistema Isolado de Boa Vista - RR

**MICHELE ALMEIDA DE SOUZA(1); ALINE COUTO DE AMORIM(1); CRISTIANO SABOIA RUSCHEL(1);
GUSTAVO PIRES DA PONTE(1); JOÃO DANIEL DE ANDRADE CASCALHO(2); ALEXANDRE DE MELO
SILVA(3);
EPE(1);MME(2);ONS(3);**

RESUMO

As condições de atendimento do sistema Roraima, desde 2015, têm sido bastante críticas, com alto número de desligamentos com interrupção total das cargas do Sistema Boa Vista, sobretudo devido à topologia do sistema e à piora no desempenho da Interligação Brasil – Venezuela. Nesse sentido, foi avaliada a implantação de um sistema de armazenamento, para suprir parte da carga de Boa Vista quando de desligamento da Interligação Brasil – Venezuela, em substituição às medidas operativas com incremento de geração térmica. Verificou-se que as baterias poderiam prover autonomia, confiabilidade e reduzir os custos de suprimento, com potenciais benefícios adicionais.

PALAVRAS-CHAVE

Armazenamento, Bateria, Roraima, Sistema Isolado

1.0 - INTRODUÇÃO

Boa Vista – RR permanece como única capital isolada do Sistema Interligado Nacional – SIN, tendo o suprimento energético realizado principalmente pela importação de energia da Venezuela, e complementado por geração local, por meio de quatro usinas térmicas a diesel.

Ao longo dos anos, com o agravamento da situação política na Venezuela, a qualidade do suprimento vem se deteriorando, com aberturas da interligação com uma frequência acima do esperado. Além disso, como as máquinas instaladas na região não foram especificadas para tal situação, o sistema inteiro colapsa, levando Boa Vista a sofrer blecautes frequentes.

Tal situação vem sendo acompanhada com preocupação pelo Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE, que propôs a implantação de um Sistema Especial de Proteção – SEP para realizar o ilhamento de parte das cargas do sistema Boa Vista para os casos de perda da interligação Brasil-Venezuela.

Durante os estudos para a implantação do SEP foi verificado que a operacionalização do mesmo implicaria em maior utilização das usinas térmicas da região, devido à necessidade de resposta dinâmica do sistema, resultando em maior consumo de diesel. Para contornar essa situação foram avaliadas outras medidas, sendo uma delas a análise de viabilidade técnica e econômica de implantação de um Sistema de Armazenamento de Energia – SAE, para atuação em conjunto com o SEP, para suprir parte da carga, quando do desligamento da interligação, em substituição à geração termelétrica.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG



Dessa forma, o SAE teria por objetivo elevar a confiabilidade do suprimento a Boa Vista e evitar os custos de geração termelétrica. Adicionalmente, o sistema de armazenamento poderia contribuir para a redução do impacto da variabilidade das fontes intermitentes que vierem a fazer parte da matriz de geração daquele sistema.

Este trabalho apresenta o resultado dos estudos para a implantação de um sistema de armazenamento de grande porte em Boa Vista – RR.

2.0 - ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA

A utilização mundial de sistema de armazenamento tem crescido anualmente, tanto em capacidade dos projetos, quanto na variedade de soluções, sendo desde usinas hidrelétricas reversíveis a supercapacitores, passando por sistemas de baterias cada vez mais robustos e complexos.

2.1 Utilização mundial de sistemas de armazenamento de energia de grande porte

Segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos, em agosto de 2016, havia 171,05 GW, correspondente a 1267 projetos em operação. Na Figura 1 é apresentada a capacidade instalada mundial, sendo a barra azul (proeminente) se refere a usinas hidráulicas reversíveis e as pequenas barras em roxo, amarelo, verde e azul claro representam projetos de armazenamento térmico, a hidrogênio, eletromecânicos e eletroquímicos, respectivamente.

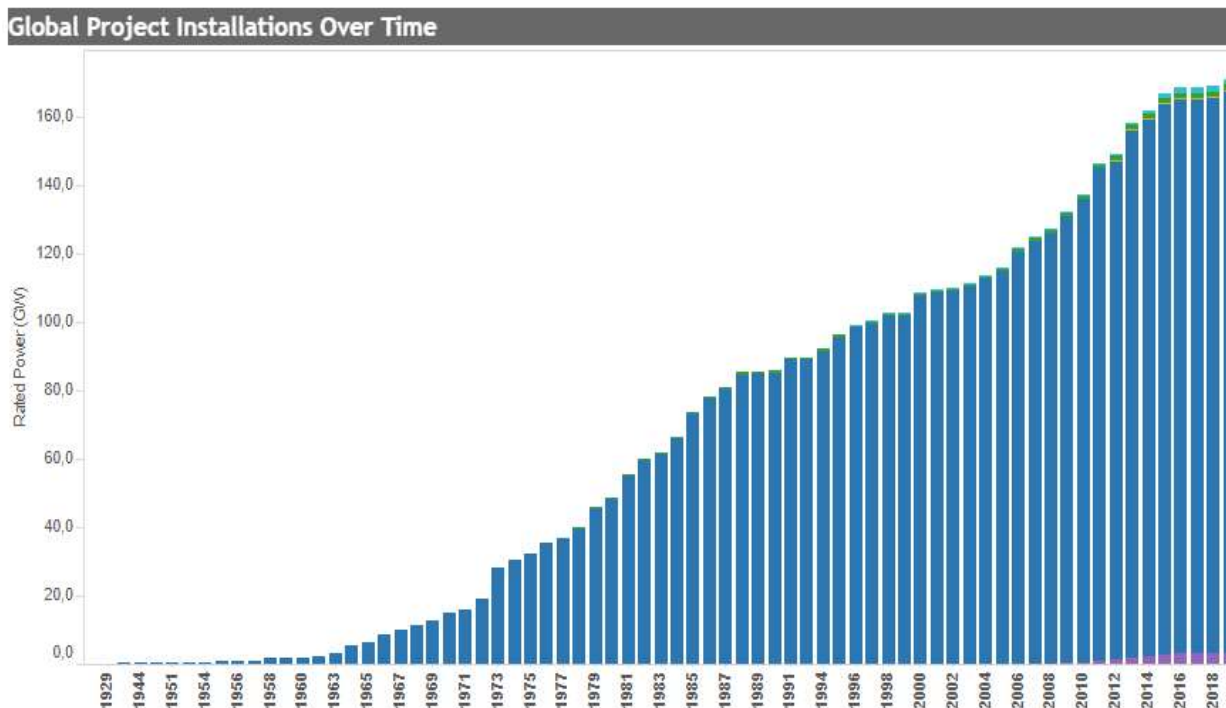


Figura 1 - Capacidade instalada mundial de sistemas de armazenamento (1)

10 a 13 de novembro de 2019
 Belo Horizonte - MG



Por sua vez, os projetos de sistemas de armazenamento utilizando baterias vêm crescendo de forma exponencial. De 2011 a 2017, a potência de projetos em operação, construção ou estágio avançado de desenvolvimento cresceu de pouco menos de 0,3 GW para mais de 3,3 GW, totalizando 961 projetos, como apresentado na tabela. Além disso, se espera um aumento ainda mais expressivo nos próximos anos. Um artigo da consultoria IHS (2) aponta que a capacidade instalada pode chegar a 40 GW em 2022, uma expansão incrivelmente acelerada nos próximos cinco anos.

Tabela - Capacidade instalada mundial de sistemas de armazenamento utilizando baterias (1)

Projetos	Potência (MW)	Nº de projetos
Anunciados	623	146
Contratados	554	64
Em operação	1.782	742
Em construção	393	9
Total Geral	3.352	961

Apesar da grande evolução da tecnologia, 80% da capacidade instalada dos projetos utilizando baterias eletroquímicas contratados, em construção ou em operação se encontra nos EUA, Coreia do Sul, Japão e Alemanha, conforme se observa na Figura 2.



Figura 2 - Países com a maior capacidade instalada (1)

No Brasil os poucos projetos do tipo estão se iniciando no âmbito da Chamada de P&D Estratégico nº 21/2016, com destaque para a bateria de 161 kW instalada junto a Usina Hidrelétrica de Bariri. Os únicos projetos em operação na América do Sul estão no Chile e na Bolívia. No Chile, são dois projetos instalados, um em Angamos, com 20 MW de capacidade e outro em Los Andes, com 12 MW, totalizando 32 MW de capacidade. No caso boliviano, em Cobija, o sistema de bateria de lítio com 2 MW de capacidade é utilizado para reduzir reserva girante originalmente fornecida por uma planta a diesel, em um sistema de microgrid, em local remoto, com penetração de geração fotovoltaica da ordem de 40%.

O projeto de armazenamento de energia proposto para a solução dos problemas elétricos de Roraima seria o maior da América Latina e um dos primeiros a executar serviços de ilhamento, com controle de tensão e de frequência, aliados a compensação de intermitência de fontes renováveis.

Comparando com outros projetos de armazenamento baseados em baterias de Lítio, o projeto de Roraima com 70 MW de potência seria o terceiro maior do mundo e o primeiro da América Latina entre os projetos em

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG



construção e em operação. Considerando a capacidade de armazenamento de 35 MWh, seria o quinto maior do mundo.

2.2 Análise de viabilidade para ilhamento de cargas em Roraima

A qualidade do suprimento ao Estado de Roraima tem se deteriorado significativamente desde 2015, evidenciado pelo grande número de desligamentos com interrupção total das cargas, em total de 69 desligamentos nos dois últimos anos, conforme relatório do GT Roraima (3).

Desse modo, concomitante às análises de soluções de curto prazo utilizando a geração térmica local, foi vislumbrada a possibilidade de o sistema de armazenamento efetuar o ilhamento de cargas da subestação Centro após desligamentos da Interligação Brasil – Venezuela por tempo suficiente para a sincronização de unidades geradoras ou de retorno da Interligação.

Adicionalmente, foi também sinalizada a possibilidade do sistema de armazenamento prover potência reativa ao sistema Roraima, o que poderia ampliar o limite dinâmico da Interligação, acarretando em redução dos custos operacionais.

Inicialmente identificou-se a necessidade de maior aprofundamento da solução, sobretudo em relação ao desempenho dinâmico do sistema de armazenamento quando de desligamentos na rede elétrica e também em relação ao sincronismo entre a geração térmica e o sistema de armazenamento, a depender da curva de carga. A partir de então, os trabalhos focaram no desenvolvimento de modelagem eletromecânica do sistema de armazenamento, em primeiro momento, e posteriormente nos estudos de desempenho do sistema em regime permanente e durante transitórios.

Para tanto, foram definidas as configurações do sistema Roraima a serem analisadas, considerando o intercâmbio Brasil - Venezuela em 130 MW, com cenários de geração das usinas Monte Cristo e Novo Paraíso e aberturas monopolares e tripolares da Interligação.

Também foi definido que o sistema de armazenamento estaria localizado no setor de 69 kV da Subestação Centro, para atender à carga dessa subestação, de aproximadamente 60 MW, promovendo o ilhamento sem a necessidade do despacho contínuo da UTE Monte Cristo.

Com base em relatório da AES (4), em parceria com o Instituto Técnico de Automação e Estudos Elétricos S/S Ltda – ITAEE, com simulações em Matlab, verificou-se a necessidade de validação do modelo eletromecânico utilizado, com testes adicionais em aplicativo de transitórios eletromagnéticos, uma vez que certos fenômenos não podem ser observados no estudo eletromecânico, tal como a operação ilhada do sistema de armazenamento de energia com a carga da SE Centro (operação sem máquina síncrona na ilha).

A partir do relatório Microgrid Operational Study (5), que apresenta os resultados dos estudos realizados no PSCAD, com modelagem detalhada do sistema de armazenamento de energia, verificou-se o desempenho dinâmico de um sistema-teste com características similares ao sistema elétrico de Roraima, considerando a utilização de um Sistema de Armazenamento. O evento simulado neste relatório foi a abertura intempestiva da interligação. Inicialmente, foi solicitado que o SAE atendesse parte da carga do sistema sem a presença de uma máquina síncrona na ilha. Esse caso apresentou um comportamento dinâmico aceitável, ilustrando a alta velocidade de resposta do SAE e a sua eficiência para esta aplicação.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

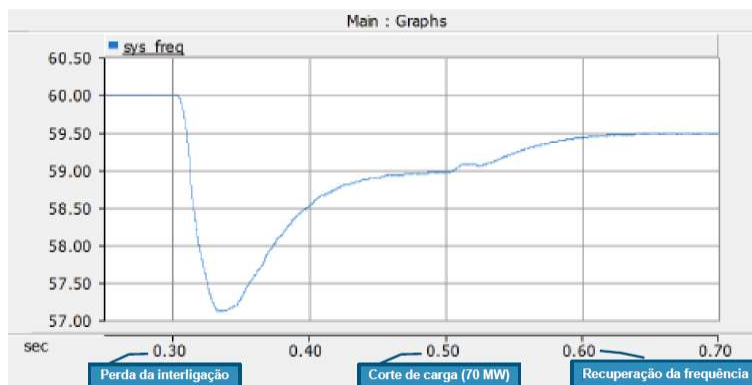


Figura 3 - Resultados da simulação da frequência do sistema de teste para atuação do SAE no evento de perda da interligação

O segundo simulado considerou uma máquina síncrona operando em ilha, com características similares às máquinas da UTE Monte Cristo. Neste caso, considerou-se a atuação do SAE na ocorrência da perda da interligação, de forma a propiciar uma operação estável com a máquina síncrona, modelada sem controle de velocidade e de tensão, preservando o máximo de carga possível do sistema. Todavia, foi identificada a necessidade de complementar as análises realizadas para evidenciar o comportamento do conjunto SAE e máquina síncrona.

No primeiro teste adicional, foi simulado o religamento monopolar com sucesso, com e sem a presença do SAE. Foi verificado que na ausência do SAE, durante o tempo morto do religamento monopolar, a máquina síncrona perdia a estabilidade com o sistema, ocasionando o blecaute do sistema Roraima, devido aos níveis degradados de tensão durante o tempo morto do religamento.

Com a presença do SAE, foi possível manter o sistema em operação durante o tempo morto. Neste teste, o sistema apresentou um comportamento dinâmico aceitável para o evento simulado, uma vez que o SAE contribuiu com injeção de potência ativa e reativa durante o transitório, participando do controle de tensão e frequência da rede.

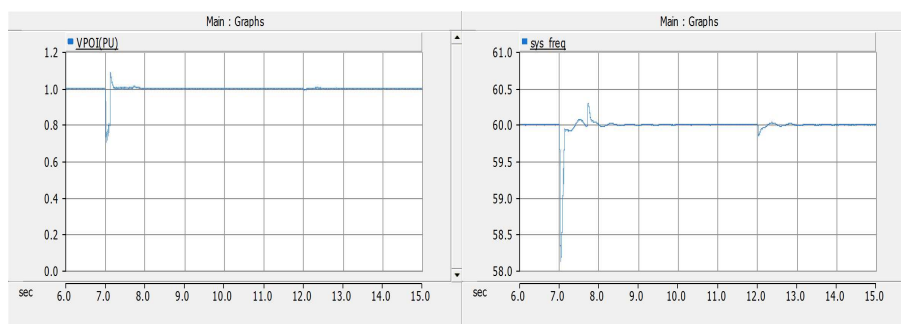


Figura 4 - Tensão (esquerda) e frequência (direita) do sistema com a presença do SAE para o evento de abertura da interligação com religamento monopolar com sucesso

O segundo teste consistiu na simulação do religamento monopolar sem sucesso. Foram realizados testes com e sem a presença do SAE. Sem a presença do SAE foi verificado um desempenho inaceitável do sistema perante

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG



esta contingência e consequente blecaute do mesmo.

Com a presença do SAE foi possível observar uma melhoria no comportamento dinâmico do sistema, obtendo níveis aceitáveis de tensão e frequência, mesmo após a abertura tripolar da rede.

Entretanto, após a abertura tripolar foi verificado o chaveamento do modo de controle dos inversores do SAE do modo conectado para o modo ilhado, o que provocou a motorização da máquina síncrona da UTE Monte Cristo, o que levaria à desconexão da máquina. Essa motorização ocorreu devido ao chaveamento do modo de controle dos inversores mencionado acima, pois quando o modo foi chaveado para o modo ilhado, estes equipamentos passaram a seguir uma onda senoidal interna como referência para chaveamento dos IGBTs, deixando de seguir a frequência da rede estimada pelo PLL, e o ângulo inicial desta onda foi inadequado naquele instante, provocando assim um fluxo de potência ativa reverso na máquina, e consequente oscilação de potência entre máquina e SAE.

Apesar disso, verificou-se que com o refinamento do controle e com estudos adicionais, seria possível encontrar uma solução técnica adequada de modo a suportar uma contingência deste porte e fazer com que o SAE ajude a preservar a máquina síncrona na ilha formada, mantendo o máximo da carga do sistema. Ademais, se a máquina síncrona da ilha tivesse um desempenho dinâmico melhor, os inversores não precisariam comutar de modo, e esta motorização não aconteceria.

Desse modo, as análises tiveram as seguintes conclusões:

- a. De modo geral, foi evidenciado nos estudos, que a solução do SAE para preservar parte da carga do sistema Roraima na ocorrência da perda da interligação com a Venezuela é tecnicamente viável, considerando a etapa de avaliação inicial apresentada;
- b. Tendo em vista o desempenho dinâmico do modelo utilizado para a máquina da UTE Monte Cristo, a presença do SAE aumenta a confiabilidade do sistema Roraima, preservando-o em contingências de faltas monofásicas seguidas de religamento monopolar com sucesso;
- c. Dada a natureza inovadora da solução e da aplicação e os resultados apresentados, o ONS entende que serão necessários estudos adicionais de modo a integrar este equipamento na rede elétrica de Roraima. Durante o projeto básico deverá ser melhor avaliado o comportamento do sistema na ocorrência da perda da interligação, considerando a operação paralela do SAE, máquinas síncronas e cargas;
- d. Esses estudos irão demandar uma modelagem detalhada de todo o Sistema Roraima e do SAE (incluindo seu algoritmo de detecção deilhamento/comutação de modo de controle), de forma a permitir a análise em um aplicativo de transitórios eletromagnéticos, tal como o PSCAD ou ATP, de modo a melhor representar o comportamento da rede com a integração do SAE, e aproveitar todos os recursos que esta nova aplicação poderá fornecer;
- e. O algoritmo de detecção deilhamento precisa ser seletivo o suficiente para não atuar em eventos que não caracterizem de fato o ilhamento do sistema Roraima e, rápido o suficiente para não demorar para transitar entre os modos de controle quando necessário. Ademais, na presença de uma máquina síncrona na ilha, deve-se ser avaliada uma solução em que não seja necessária a comutação do modo de controle dos inversores, nesse caso desnecessária. Cabe aqui destacar novamente, que essa comutação de modo de controle foi responsável pela motorização da unidade geradora da UTE Monte Cristo na simulação realizada.

Considerando que os estudos a serem realizados, incluindo os de Projeto Básico, seriam executados pelas empresas e pelos fabricantes que implantarão o equipamento, em etapa posterior à contratação, concluiu-se pela viabilidade técnica da bateria e que as considerações elencadas seriam incorporadas nos requisitos técnicos estabelecidos na licitação.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG



Desse modo, foi recomendada a implantação de sistema de armazenamento, com posterior detalhamento da forma de contratação e das especificações técnicas, o que foi detalhado em Nota Técnica elaborada por EPE e ONS (6).

Dentre as especificações, destacam-se a conexão do sistema de armazenamento no setor de 69 kV da SE Centro, a potência de 70 MW referente à previsão de demanda da SE Centro em 2021 e a capacidade de armazenamento por 30 minutos referente ao tempo suficiente para partida das máquinas e sincronização das demais unidades geradoras durante recomposição.

2.3 Comparativo dos custos de ilhamento

O sistema de armazenamento foi inicialmente estudado como alternativa para evitar o desligamento total das cargas de Roraima quando de aberturas da Interligação Brasil – Venezuela em relação ao ilhamento efetuado por meio de geração térmica.

Desse modo, o estudo preliminar da AES (7) apontou que um sistema de armazenamento com capacidade de 57 MW e autonomia de 30 min, demandaria investimentos da ordem de R\$ 208 milhões e custo de operação em torno de R\$ 1 milhão. Por outro lado, o sistema de ilhamento por meio da geração da UTE Monte Cristo teria custo médio mensal em torno de R\$ 13,2 milhões, totalizando R\$ 159 milhões em 12 meses (8). Percebe-se que por essa análise inicial, o sistema de armazenamento teria viabilidade, tendo sido recomendado o aprofundamento dessas análises como ações futuras.

Para o sistema com 70 MW de potência e 35 MWh de capacidade de armazenamento e atualização dos custos de investimento e de operação, com referência a dezembro de 2017, tem-se o custo de instalação de sistema de armazenamento por baterias de R\$ 247 milhões, acrescidos de R\$ 4 milhões anuais de operação. Do mesmo modo, o sistema de ilhamento por meio de geração térmica tem custo de operação adicional anual de R\$ 373 milhões. Com isso, por essa premissa, o sistema de armazenamento tem viabilidade econômica.

Em análise complementar, os desligamentos da interligação acarretaram total de energia não suprida de 4817 MWh em 2016 e 2832 MWh em 2017, sendo 3824 MWh interrompidos por ano, em média. Considerando que o sistema de armazenamento evitará a interrupção de 35% das cargas e agilizará a recomposição das demais cargas, é razoável uma redução de 50% da energia não suprida anual com a implantação do SAE.

Essa redução da energia não suprida, valorada ao custo de déficit de R\$ 4.596,31 por MWh interrompido, representaria redução anual de R\$ 8,78 milhões, o que remeteria a um tempo de retorno elevado, considerando os custos anuais de operação.

Desse modo, é razoável agregar outros possíveis benefícios com a utilização dos sistemas de armazenamento, abordados adiante.

Destaca-se, porém, que mesmo após a interligação com o SIN, o sistema de armazenamento poderá ser utilizado para evitar blecautes quando de perda dupla da LT 500 kV Manaus – Boa Vista, conforme critério estabelecido no Submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede, o que aumenta a aplicabilidade da solução.

2.4 Formas de contratação

As análises das formas de contratação do sistema de armazenamento dependem substancialmente da utilização do sistema. Ademais, no primeiro momento, o equipamento será utilizado para aumentar a confiabilidade do sistema Roraima ainda isolado e posteriormente poderá agregar benefícios quando houver a

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG



interligação com o SIN.

Acrescenta-se também o ineditismo da aplicação no sistema brasileiro, sendo que análises complementares deverão ser realizadas em etapas posteriores à contratação. Desse modo, há maior risco associado à implantação e operação desse sistema quando comparado às contratações de equipamentos de transmissão ou de soluções de geração comumente realizadas para o SIN.

Dessa forma, devem ser consideradas as seguintes formas de contratação:

- a. Contratação de um sistema de geração a ser instalado e operado pela distribuidora, com pagamento do investimento e dos custos variáveis por meio de receita fixa anual.
- b. Contratação de um sistema de geração a ser instalado e operado pela empresa vencedora do leilão, com pagamento do investimento e dos custos variáveis por meio de receita fixa anual.

3.0 - BENEFÍCIOS ADICIONAIS DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

Neste item são relatados os benefícios que poderão ser obtidos com a implantação do sistema de armazenamento adicionais ao ilhamento de cargas prioritárias. Esses possíveis benefícios, foram identificados inicialmente durante as análises do Grupo de Trabalho (GT), mas a consolidação e os efetivos resultados serão efetuados durante os estudos de detalhamento posteriores.

Também nesse sentido, a análise de viabilidade econômica não foi realizada durante as atividades do GT. No entanto, durante os trabalhos foram realizadas análises preliminares e serão abordadas neste relatório de modo a subsidiar as análises consolidadas.

3.1 Atendimento à ponta na interrupção do fornecimento de energia pela Venezuela

Desde o ano de 2013, dada a deterioração na qualidade do suprimento de energia pela Venezuela e às sinalizações de eventual interrupção prolongada do fornecimento de energia, o CMSE tem autorizado a contratação de geração térmica de reserva para Roraima.

Atualmente, o parque instalado tem capacidade de 216 MW e custos fixos mensais de R\$ 682.329 por MW instalado, conforme (3). Para o ano de 2019, a demanda prevista pela distribuidora é de 229 MW.

Desse modo, uma das possíveis utilizações para o sistema de armazenamento foi suprir parte da demanda diária no cenário de não fornecimento de energia pela Venezuela, uma vez que o SAE poderá ser carregado pela geração térmica em outras horas do dia e atender à parte da potência requerida na ponta.

Na Figura 5 é apresentada a potência complementada nos meses de maior demanda em relação ao atual parque térmico instalado, considerando a curva de carga diária prevista para o ano de 2019.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

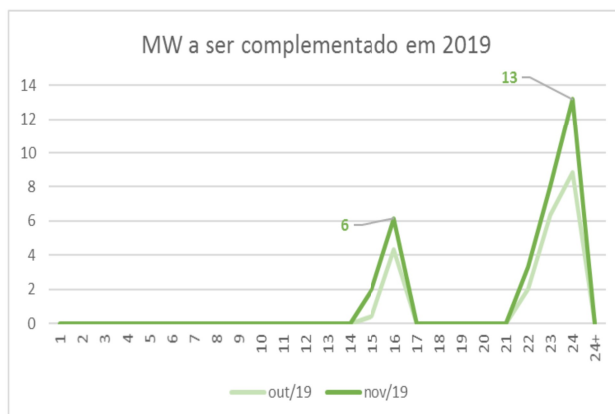


Figura 5 - Potência a ser complementada comparada ao parque térmico atual. Fonte dos dados: EDRR/ONS

Dada a capacidade de energia de 35 MWh, no cenário do SAE fornecer 7 MW de potência por 5 horas, o sistema será capaz de atender à diferença entre as pontas do dia e evitará a instalação de 7 MW de geração térmica adicional.

Na Figura 6 é apresentada a previsão de energia requerida adicional diariamente nos dias úteis de setembro a dezembro de 2019.

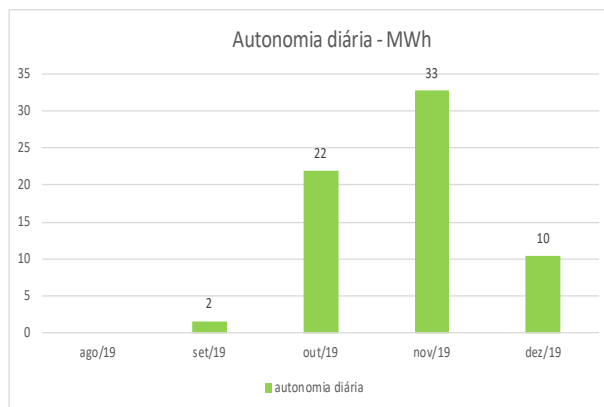


Figura 6 - Energia requerida complementar, por dia útil de setembro a dezembro de 2019. Fonte dos dados: EDRR/ONS

Pela Figura 6, o SAE seria capaz de fornecer a energia diária necessária, evitando a contratação de geração adicional. Desse modo, considerando a substituição dos montantes de contratação de geração térmica de 7 MW a 13 MW pelo fornecimento de potência pelo SAE proposto, haveria redução de custos fixos anuais entre R\$ 4,78 milhões e R\$ 8,87 milhões.

Destaca-se que essa análise é qualitativa, sendo que a capacidade do SAE efetuar a complementação de potência necessária no ambiente operativo deverá ser aprofundada nas etapas de desenvolvimento do projeto e implantação.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG



3.2 Complementação de energia de fontes intermitentes

Outro benefício adicional do sistema de armazenamento é a complementação de geração de fontes intermitentes, como tem sido utilizado por vários países, conforme Tabela. Durante as análises das soluções de médio e longo prazo, foi considerado o cenário de grande parte do mercado a ser atendido por geração de fontes intermitentes caso não haja a complementação da Venezuela ou do SIN. Para tanto, o sistema de armazenamento faria a compensação da geração intermitente.

A partir de estudos do NERC (9), EPE e ONS (6) definiram os requisitos técnicos, indicando, em análise conservadora, que poderá haver variação da geração das fontes fotovoltaica de 50% em intervalos de 60 segundos. Considerando que a fonte fotovoltaica é a que apresenta maiores variações de curto prazo, sob essa ótica, o sistema de armazenamento de 70 MW de potência seria capaz de complementar a variação da geração de 140 MW pico de fontes intermitentes.

Caso seja considerada uma capacidade de sobrecarga do SAE de 50% por até 1 minuto, um sistema de 70 MW (105 MW de capacidade transitória) poderia complementar a variação de até 210 MW de fontes intermitentes. A redução dos custos operacionais com a geração intermitente no cenário sem a Venezuela e sem a Interligação ao SIN, em análise conservadora, representa ganhos anuais que sinalizam viabilidade econômica do sistema de armazenamento, com tempo de retorno próximo a 1 ano.

4.0 - CONCLUSÕES

Os sistemas de armazenamento de energia têm se tornado alternativas tecnologicamente viáveis para melhoria de confiabilidade no atendimento aos consumidores e substituição de geração térmica em alguns sistemas elétricos. Foi analisada a aplicação de sistemas de armazenamento de energia como solução para preservação de cargas prioritárias no sistema Roraima quando de desligamentos da Interligação Brasil – Venezuela, tendo sido considerada tecnicamente viável.

A partir dessas constatações, foram detalhados em (6) os requisitos técnicos mínimos para os sistemas de armazenamento. No entanto, nos estudos de projeto básico e nos estudos pré-operacionais deverão ser detalhados os desempenhos dos sistemas de controle e os modos de operação do sistema de armazenamento na rede de Roraima.

Também foram analisados benefícios adicionais com a aplicação do SAE como redução de contratação de geração térmica adicional nos anos de 2019 e 2020 para atendimento à carga de Roraima no cenário de indisponibilidade de longa duração do suprimento de energia pela Venezuela.

O SAE também poderá ser utilizado para compensar a variação de geração de fontes intermitentes, possibilitando aumentar a penetração de fontes renováveis como solar e eólica na matriz de energia elétrica do Estado, mesmo no cenário sem Venezuela e até a interligação ao SIN.

Em comparação com soluções que utilizem geração térmica para evitar blecautes quando houver a perda da Interligação Brasil - Venezuela, o sistema de armazenamento tem viabilidade econômica.

Também em análise preliminar, considerando a redução da energia não suprida nos desligamentos da Interligação, a redução de geração térmica a ser contratada a partir de 2019 e a inserção de fontes intermitentes a partir de 2021, o sistema de armazenamento traria ganhos econômicos adicionais.

Com base nas análises efetuadas foram recomendadas as seguintes ações:

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG



- a. Nas etapas de especificação para leilão, ou autorização, e de projeto básico deverão ser detalhados os desempenhos dos sistemas de controle e os modos de operação do sistema de armazenamento na rede de Roraima.
- b. Deverá ser definida a melhor forma de contratação e operação do Sistema de Armazenamento.
- c. Deverá ser aprofundada a análise de viabilidade econômica para aplicação do sistema de armazenamento em Roraima.
- d. Por ser um projeto de grande porte e com uma aplicação inovadora, devem ser mitigados riscos de projeto e de aplicação na fase de habilitação das empresas, por meio de definição de requisitos como portfólio de projetos e implantação de sistemas de armazenamento de porte semelhante.

Ressalta-se que tais conclusões consideraram a continuidade do suprimento, ainda que com desligamentos frequentes, pela Venezuela. Ao longo de 2018, houve aumento do risco de interrupção do suprimento, ocasionado pela crise energética que a Venezuela passa. Desse modo, as premissas aqui adotadas foram alteradas, com impacto significativo na viabilidade econômica da solução.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) DOE, "DOE Global Energy Storage Database," 2018. [Online]. Available: <http://energystorageexchange.org>. [Acesso em 2018 fevereiro 2018].
- (2) S. Wilkinson, "The grid-connected energy storage market is set to explode, reaching a total of over 40 GW of installations by 2022," IHS, 2014.
- (3) MME, "Relatório final do Subgrupo I do Grupo de Trabalho sobre as Condições de atendimento à Roraima," 2018.
- (4) AES, "Desenvolvimento de um modelo para uso em software de transitórios eletromecânicos do sistema de armazenamento de energia da AES Energy Storage – Advancion," 2017.
- (5) E. P. Engineers, "Microgrid Operational Study," 2017.
- (6) EPE & ONS, "Avaliação dos Requisitos Mínimos e Definição dos Critérios para a Aplicação do Sistema de Armazenamento de Energia em Roraima (EPE-DEE-NT-103/2017 e ONS-NT-0153/2017)," 2017.
- (7) AES, "Memória de cálculo sobre Armazenamento de Energia," 2017.
- (8) MME, "Apresentação SEE - 117ª reunião CMSE," 2017.
- (9) NERC, "Accommodating High Levels of Variable Generation," 2009.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Alexandre de Melo Silva, nascido em Catalão – GO em 1982, é Engenheiro de Sistema de Potência – ONS, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais em 2016 e com Especialização em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá em 2011.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG



Aline Couto de Amorim, nascida em Niterói – RJ em 1979, é Analista de Pesquisa Energética na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense – UFF (conclusão em 2006) e com MBA em Gestão pela Qualidade Total pela mesma Instituição (conclusão em 2009).

Cristiano Saboia Ruschel, nascido em Guaíba – RS em 1988, é Analista de Pesquisa Energética na EPE, e Engenheiro Mecânico graduado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (conclusão em 2012). Possui mestrado em Energia também pela UFRGS (conclusão em 2015), e atualmente cursa doutorado nos mesmos programa e instituição.

Gustavo Pires da Ponte, nascido em Brasília – DF em 1984, é Consultor Técnico na EPE, graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Brasília - UnB (conclusão em 2008) e pós-graduado em Engenharia de Tubulações pela PUC-Rio (conclusão em 2010) e mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pela PUC-Rio e Technische Universität Braunschweig.

João Daniel de Andrade Cascalho, nascido em Goiânia – GO em 1985, é Analista de Infraestrutura exercendo a função de coordenador - geral no Ministério de Minas e Energia, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Goiás - UFG, em 2008, mestre em sistemas de potência pela Universidade de Brasília – UNB em 2015 e especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental pela PUC RIO, em 2017.



Michele Almeida de Souza, nascida em Rio de Janeiro – RJ, é Analista de Pesquisa Energética na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduada em Engenharia Elétrica pela UFF em 2007, pós-graduada em Engenharia de Automação e Instrumentação pelo PROMINP/UERJ em 2008 e atualmente cursa mestrado em Planejamento Energético pela COPPE/UFRJ.

1.0 -