

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO - GDI

EXPLORAÇÃO DE NOVOS MODELOS DE NEGÓCIOS NO CONTEXTO DOS RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS – ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E REGULATÓRIOS

LEONARDO HENRIQUE DE MELO LEITE(1); JOÃO PAULO ASSUNÇÃO DE SOUZA(2); HERBERT DE OLIVEIRA RAMOS(3); KEVERSON DE ALMEIDA CARVALHO(4); DANILO DERICK SILVA ALVES FITEC - FUNDACÃO PARA INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS(1); CONCERT TECHNOLOGIES S.A(2); FUNDAÇÃO PARA INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS - FITEC(3); CONCERT TECHNOLOGIES SA(4)

RESUMO

Considerando a potencial captação de novas oportunidades e negócios frente ao cenário de expansão dos Recursos Energéticos Distribuídos (RED), esse Informe Técnico aborda modelos de negócios representativos que podem ser explorados pelas distribuidoras de energia brasileiras nos contextos de facilitadora de agregações de RED, possibilitando uma comercialização bidirecional entre agregador e a operação da rede de distribuição, ou de atuação direta como uma empresa agregadora. Um estudo de caso prático, para a oferta de serviços ancilares à rede, a partir do gerenciamento de Sistema de Armazenamento de Energia com capacidade de 1.150 kVA / 1.750 kWh instalados na planta da CEMIG Distribuição é apresentado.

PALAVRAS-CHAVE

1.0 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, verificou-se o início de um processo de profundas mudanças tecnológicas no Setor Elétrico mundial, tendo como característica mais visível o ciclo expansionista de fontes renováveis. Assim, a composição da matriz elétrica mundial vem sendo gradativamente alterada, tendo em vista a busca de maior segurança energética, da resiliência aos impactos climáticos e da redução dos impactos causados pelas fontes fósseis.

Em termos prospectivos, é possível vislumbrar a continuidade da expansão de fontes renováveis centralizadas e distribuídas e a adoção de medidas de gerenciamento da demanda, bem como a difusão de sistemas de armazenamento de energia e da eletrificação da mobilidade urbana, através de veículos elétricos e de sistemas de carregamento veiculares conectados à infraestrutura de energia. Todo este processo de difusão dos denominados Recursos Energéticos Distribuídos (RED) está sendo acompanhado por uma crescente digitalização e automação dos sistemas de controle, avanços em dispositivos de eletrônica de potência e aumento da abrangência dos sistemas de comunicação.

Diante do potencial de difusão de RED, os critérios de operação, o planejamento e a expansão das redes de distribuição precisarão ser revistos. A metodologia tradicional (“*fit-and-forge*”), que privilegia o estudo da capacidade da rede para suportar as restrições físicas dos horários de pico, deixará de ser a única empregada, em função de uma difusão elevada de RED e da associação dos benefícios e sinergias que podem ser obtidos por esta nova tecnologia, por este novo paradigma (1).

Desta forma, os RED irão, cada vez mais, impor ao Setor Elétrico grandes mudanças e reformulações, abrindo espaço para inovações regulatórias e nos modelos de negócio, inclusive com o aparecimento de novos agentes (Prosumidores e Agregadores). Em suma, a difusão de RED está determinando novos paradigmas operativos, regulatórios e tarifários do sistema elétrico, especialmente no segmento de distribuição de energia, os quais já podem ser observados em países com alta concentração de fontes renováveis, como a Austrália e Alemanha, onde já existem serviços de agregação para prosumidores.

Os desafios regulatórios para a utilização de Recursos Energéticos Distribuídos pelas concessionárias no Brasil estão na falta de regulação de como esses recursos serão remunerados, na definição de quais serviços ancilares poderiam ser ofertados e se os RED de consumidores poderiam ser controlados pela concessionária. Os desafios técnicos consistem em como gerenciar diversos recursos distribuídos de forma coordenada para atingir determinados

objetivos e em como garantir a comunicação entre diversos RED e o centro de supervisão e controle da concessionária.

Nesse contexto, a atuação das distribuidoras de energia mediante penetração dos RED pode ser classificada em três diferentes estágios: passiva, facilitadora e integradora. No contexto da atuação passiva, os RED ainda possuem pouca penetração no mercado (tipicamente sendo de propriedade do consumidor final), sendo o papel da distribuidora prover os parâmetros técnicos para que estes se conectem à rede. No segundo estágio, denominado como atuação facilitadora, os RED já se estabelecem de forma significativa no setor elétrico e são aplicados em modelos de negócios gerenciados por terceiros, enquanto a distribuidora facilita o uso por parte de usuários finais. Finalmente, no terceiro estágio a distribuidora é denominada como integradora. Nessa atuação, a distribuidora caracteriza-se por uma plataforma de serviços distribuídos que integram os RED dispersos na rede de distribuição como potenciais soluções às necessidades do setor elétrico (2).

À medida que se evolui quanto à classificação das distribuidoras na prática, exige-se atenção especial dos órgãos competentes capazes de adequar o ambiente regulatório necessário aos agentes do mercado e RED, abrindo espaço para modelos de negócios inovadores e aplicando maior flexibilidade ao relacionamento entre distribuidora, empresas agregadoras e prosumidores.

No contexto internacional, a figura do agregador de recursos energéticos distribuídos tem evoluído com a liberalização do mercado de energia. Com a ascensão da energia renovável e da geração distribuída, o papel do agregador expandiu-se para operar plantas virtuais de geração de energia, gerenciando múltiplas unidades de geração distribuída dispersas. A atuação dos agregadores independentes pode aumentar a competitividade e reduzir os custos na geração, transmissão e distribuição de energia, embora exija mudanças regulatórias significativas. Já os agregadores vinculados às distribuidoras ou a produtores de energia são mais compatíveis com a estrutura centralizada do mercado, mas podem prejudicar a competitividade.

Nos Estados Unidos, Austrália e vários países da Europa, para citar alguns, diferentes modelos de negócio de agregadores têm sido implementados. Esses modelos variam desde o armazenamento virtual de energia solar até a oferta de serviços ancilares, resposta à demanda, comercialização de energia e criação de plantas virtuais de geração. Cada país possui sua própria regulação que permite a atuação dos agregadores e define as condições para a prestação de serviços de recursos energéticos distribuídos. O objetivo desses modelos é aproveitar os recursos energéticos distribuídos de forma eficiente e participar dos mercados de energia, proporcionando benefícios tanto para os consumidores quanto para os operadores do sistema elétrico.

Considerando a potencial captação de novas oportunidade e negócios frente ao cenário de expansão dos RED no Brasil, esse Informe Técnico abordará modelos de negócio representativos que podem ser adotados pelas distribuidoras de energia brasileiras nos contextos de facilitadora de agregações, expressando uma comercialização bidirecional entre o agregador e a operação da rede de distribuição, ou de atuação direta como uma empresa agregadora. Um estudo de caso prático, para a oferta de serviços ancilares à rede, a partir do gerenciamento de sistema de Armazenamento de energia (1.150 KVA / 1.750 kWh) instalados na planta da CEMIG Distribuição será apresentado.

2.0 MODELOS DE NEGÓCIO COM RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS

2.1 APLICÁVEIS À CONCESSIONÁRIA

As concessionárias de distribuição podem utilizar RED para garantir a qualidade do fornecimento de energia aos consumidores, operando seus próprios RED ou obtendo acesso a RED de terceiros. A utilização de RED permite às concessionárias lidar com problemas de regulação de tensão e frequência, que são agravados pela alta penetração de geração distribuída oriunda de fontes variáveis. Desse modo, surgem alguns modelos de negócio aplicáveis às concessionárias:

- **Exploração de Serviços Ancilares:** são requisitos técnicos essenciais para garantir a qualidade e segurança do Sistema Interligado Nacional (SIN), sendo reconhecido para fim regulatório pela ANEEL (ANEEL, 2009) o controle primário e secundário de frequência, reserva de potência para controle primário e secundário, reserva de prontidão, suporte de reativos, auto restabelecimento (*black start*), e sistemas especiais de proteção. Para RED com inversores de potência e controle adequados, é possível fornecer vários serviços ancilares, além do suporte a tensão com controle volt-VR e controle volt-Watt.
- **Alternativa ao Planejamento de Expansão Tradicional:** através da utilização de RED como alternativas de expansão sem fio (NWA, do inglês *Non-Wire-Alternatives*) à expansão tradicional (uso de fio) tem se mostrado economicamente e ambientalmente vantajosa. Os RED como NWA podem postergar ou evitar investimentos em infraestrutura, suprir energia e pavimentar o caminho para que agregadores se estabeleçam de forma sustentável no mercado, abrindo espaço para a atuação de distribuidoras como integradoras e agregadoras, porém é necessária uma análise cautelosa caso a caso.

2.2 APLICÁVEIS À EMPRESAS AGREGADORAS

Considerando a possibilidade de utilização coordenada de recursos energéticos distribuídos por um agregador, empresas e consumidores comuns podem se unir em cooperativas ou consórcios para agregar seus recursos em um sistema centralizado de controle, a fim de fornecer serviços para a rede ou para benefício próprio.

2.2.1 MODELOS DE NEGÓCIO DIRECIONADOS AO CONSUMIDOR

Diante as capacidades técnicas dos RED, conciliado às diferentes modalidades tarifárias e um mercado de créditos de energia, emergem alguns modelos de negócio direcionados ao consumidor:

- **Arbitragem de Energia:** Empresa visa otimizar a compra e venda energia de acordo com os diferentes horários tarifários, comprando a energia quando a tarifa é baixa e vendendo quando a tarifa é alta;
- **Gerenciamento de Demanda:** Consumidores respondem a sinais de preço ou incentivos para reduzir contas de energia, seja através do aumento da eficiência energética ou do deslocamento de suas demandas para horários com menor carga na rede;
- **Venda de Capacidade e Reserva Operativas:** Agregadores oferecem gestão de energia para participação em programas de resposta à demanda;
- **Fornecedores de Sistemas de Gerenciamento de Energia:** Oferecem softwares ou soluções de otimização de consumo e demanda para consumidores industriais, comerciais e públicos que não oferecerem suas capacidades ou reservas operativas ao mercado ou distribuidoras;
- **Sistemas de Armazenamento Distribuído (AD):** Permitem armazenar energia para uso posterior, sendo aplicado em três grupos de modelos de negócios (3): AD para serviços de rede; AD para otimização da carga de usuários finais; AD para co-otimização da carga de usuários finais. A principal distinção realizada entre os modelos decorre do nível de integração com a operação do sistema.;

2.2.2 MODELOS DE NEGÓCIOS DIRECIONADOS A REDE

De maneira análoga aos modelos direcionados ao consumidor, emergem alguns modelos de negócio direcionados à rede:

- **Resposta da Demanda e Gestão de Energia:** Empresa agregadora atua como intermediária entre distribuidoras de energia e consumidores, comprando capacidade de energia e compartilhando receitas. As receitas são obtidas pela cobrança direta da distribuidora ou do compartilhamento das economias ou receitas obtidas pelos clientes com a resposta da demanda e a venda de capacidade.
- **Armazenamento de Energia para Serviço de Rede:** O financiamento ou a própria venda de ativos de AD, bem como a prestação de serviços de energia à rede, caracterizados principalmente pela disponibilidade de reservas operacionais e capacidade firme são as fontes de receita nesses tipos de negócios.
- **Armazenamento de Energia para Co-otimização da Carga de Usuários e Operação do Sistema:** visam implantar AD *behind-the-meter* na oferta de serviços como capacidade firme e reservas operacionais (3; 4). As receitas advêm da venda/financiamento de ativos de armazenamento, cobranças de taxas relativas à intermediação nos mercados de energia, e do compartilhamento de economias obtidas nas faturas dos usuários (4).
- **Microrredes:** Sistemas autônomos ou em paralelo com a rede principal, com diferentes modelos baseados em contratos de compra de energia ou propriedade dos ativos.
- **Grid-Zero:** Sistemas que controlam o equilíbrio entre geração e carga para evitar a injeção de energia na rede, direcionando o excedente de geração para usos específicos.
- **Planta de Geração de Energia Virtual:** Recursos energéticos operados conjuntamente por um operador ou agregador, comprando capacidades de produtores de energia e gerenciando a produção com base na demanda em tempo real, com diferentes formas de remuneração.

3.0 DESAFIOS PARA AS DISTRIBUIDORAS ATUAREM COMO FACILITADORA E INTEGRADORA DE RED

Fica evidente, portanto, a partir da análise dos modelos de negócios, que uma eventual regulamentação no sentido de se permitir a presença de empresas agregadoras não é o suficiente para difusão destas no mercado, tampouco incentivaria a atuação de uma distribuidora como facilitadora ou integradora de RED. Deve haver, de forma conjunta, iniciativas para se regular apropriadamente a penetração dos RED caracterizados como sendo ferramentas passíveis de serem utilizadas na prestação de serviços da agregação. Dentro dessa perspectiva, os desafios analisados a seguir considerariam implementações adicionais ou alterações na regulamentação vigente definida pela ANEEL ou mesmo a criação de uma regulamentação específica por parte da agência, bem como desafios de ordem operacional, técnica e de investimentos.

- **Regulamentação da Figura do Agregador:** Seria necessário um ambiente regulatório para agregadores de usinas virtuais e programas de resposta da demanda caracterizados para grandes usuários, inclusive

contemplando os fatores mencionados a seguir:

- Definição da capacidade mínima de cada componente participante da agregação;
 - Definição da capacidade máxima da agregação;
 - Definição dos limites geográficos da área de agregação;
 - Definição dos RED e agentes que poderão participar das agregações;
 - Definição dos serviços que poderão ser prestados pelos agregadores;
 - Definição do tempo mínimo para prestação de cada tipo serviço;
 - Possibilidade de penalidade.
- **Regulação de Microrredes:** Também seria necessário a definição de um arcabouço regulatório para microrredes que aborde os seguintes aspectos:
 - Garantir que o Operador do Serviço de Distribuição possa utilizar microrredes em casos economicamente eficientes;
 - Assegurar que os usuários atendidos pelas microrredes tenham os mesmos direitos dos outros usuários;
 - Definir quem poderá ser proprietário de microrredes;
 - Estabelecer padrões operacionais e de segurança;
 - Definir os tamanhos das microrredes (pequeno, médio, grande porte) em relação à quantidade/capacidade de RED instalados ou clientes atendidos e regras de acordo com esses tamanhos.
 - **Regulamentação Específica para o Armazenamento Distribuído:** A falta de regulamentação específica no Brasil para o armazenamento distribuído de energia impede seu pleno potencial e sua integração na rede elétrica. É necessária uma regulação que permita a injeção de energia na rede e a remuneração adequada dos serviços oferecidos pelos sistemas de armazenamento, bom como avaliar a possibilidade de que os sistemas de armazenamento possam se enquadrar no sistema de compensação de energia,
 - **Comercialização de Serviços Complementares:** A penetração de RED cria oportunidades para as distribuidoras oferecerem serviços complementares, além da distribuição de energia elétrica. Alterações nos contratos futuros de concessão são necessárias para permitir que as distribuidoras ofereçam esses serviços sem compartilhar suas receitas oriundas de serviços complementares que eventualmente possam ser fornecidas pelas distribuidoras agregadoras a outros agregadores e prosumidores.
 - **Remuneração a Prosumidores:** A falta de um programa flexível de remuneração para prosumidores no Brasil é um obstáculo para o papel das concessionárias como agregadora de RED. A implementação de sistemas de valoração específicos pode incentivar a injeção de energia na rede, considerando fatores como momento da injeção, localidade e benefícios ambientais, tornando o sistema ajustável e adaptável aos custos, inclusive refletindo melhor na estrutura tarifária.
 - **Integração de Sistemas:** A integração de recursos distribuídos enfrenta desafios devido à variedade de tecnologias, protocolos e falta de padronização. É fundamental estabelecer padrões técnicos abertos e promover a cooperação entre os agentes do mercado para uma integração eficiente dos RED nas redes de distribuição.
 - **Controle e Operação:** Outro desafio posto na atuação de concessionárias como integradoras ou agregadoras advém da necessidade de acompanhar a geração, o consumo e o status de todos os dispositivos conectados, sejam de propriedade da própria concessionária ou de outros agregadores. Para trazer visibilidade dessas informações aos centros de controle é necessário sistemas avançados de monitoramento e comunicação, sendo capazes de coletar, transportar, organizar e, em muitos casos, analisar dados em tempo real. Além disso, a previsão de demanda assume um papel de destaque na otimização do uso dos RED, envolvendo a análise de padrões de consumo, a previsão da geração de energia renovável e outros fatores relevantes. Nesse aspecto, a precisão dessas previsões é crucial para assegurar a eficiência operacional e minimizar desperdícios.
 - **Investimentos:** Os desafios e obstáculos mencionados anteriormente só podem ser resolvidos ou superados a partir de investimentos nessa nova lógica de operação da rede considerando os recursos distribuídos. Como vimos, seria necessário investir em uma infraestrutura tecnológica avançada, incluindo a implantação de sistemas robustos e flexíveis de monitoramento em tempo real, equipamentos de medição e controle, dispositivos de comunicação e redes de dados de grande porte, inteligência artificial para interpretação de grandes volumes de dados, algoritmos sofisticados, aprendizado de máquina capaz de identificar padrões, prever demandas futuras e otimizar a operação do sistema, segurança cibernética, recursos humanos, etc. Todo esse arcabouço tecnológico envolvendo um novo paradigma de controle e

operação ensejaria uma capacidade de investimento significativa por parte das concessionárias.

- **Conscientização:** A adesão dos consumidores aos programas lançados pela concessionária na atuação como agregadora pode ser um desafio, pois muitos podem não estar familiarizados com os benefícios e as opções disponíveis. A conscientização dos consumidores sobre RED é fundamental para que estes compreendam os benefícios, as vantagens econômicas e ambientais, bem como as opções de participação. Por outro lado, além da conscientização, o engajamento dos consumidores também é crucial. Os consumidores precisariam ser incentivados a participar ativamente dos programas, seja instalando painéis solares, adquirindo veículos elétricos, investindo em sistemas de armazenamento de energia ou ajustando seu consumo de acordo com a demanda. O engajamento poderia ser estimulado por meio de incentivos financeiros, tarifas diferenciadas, programas de recompensas ou outras estratégias.

4.0 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado é uma simulação conduzida em um alimentador real de média tensão da CEMIG, localizado na cidade de Belo Horizonte – MG. Esse alimentador é o responsável pelo suprimento de energia para o estádio Mineirão e de parte da Universidade Federal de Minas Gerais, tendo uma carga média de 2,6 MVA, com o pico de carga superando 6 MVA. Um cabo subterrâneo é responsável por conectar a subestação ao estádio, sendo que a conexão intermediária conecta à rede aérea da UFMG nesse cabo.

A planta fotovoltaica do estádio Mineirão, descrita em (5), com uma capacidade de geração de 1.320 kWp é conectada ao alimentador. Dois sistemas de armazenamento de baterias estão sendo instalados nesse alimentador, sendo um de tecnologia íon-lítio com 1MWh/750kVA da fabricante WEG, e outro de tecnologia chumbo-ácido avançado com 750kWh/400KVA da fabricante Moura.

O alimentador, em sua configuração original conta com quatro pontos de medição de potência: um na subestação, um na usina fotovoltaica do estado Mineirão, um na entrada da UFMG e outro dentro da rede aérea da UFMG. A Figura 1 mostra (a) o traçado do alimentador no mapa e (b) a localização dos medidores e dos grupos de carga. São apresentados dois estudos de caso para prestação de serviços a rede: corte de pico de carga e suporte de tensão mediante a transferência de carga.

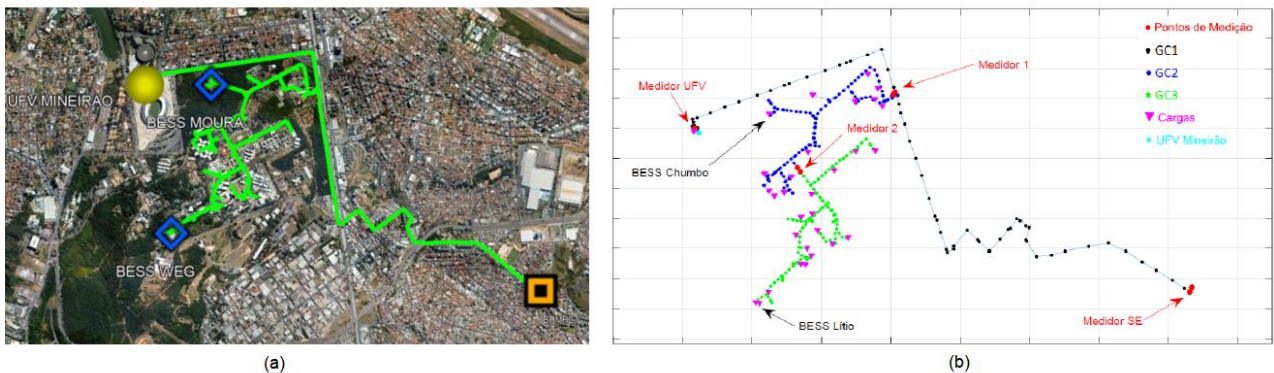


Figura 1 – Alimentador de média tensão estudado.

4.1. CORTE DE PICO DE CARGA (*PEAK-SHAVING*)

O primeiro conjunto de testes consiste em avaliar a utilização dos sistemas de armazenamento com baterias para a realizar a limitação da potência na subestação, evitando assim a existência de picos acentuados de carga. O comportamento das cargas foi modelado de acordo com medições feitas nos dias em que houve eventos no estádio do Mineirão, o que provoca picos de carga na subestação. A Figura 2 mostra as medições de potência nesses dias de comportamento atípico da carga, sendo também mostrado um comportamento típico de acordo com o horário de início dos eventos. Como o nível de potência é bastante variável, para cada dia foi definido uma potência de corte diferente, que são mostradas na Tabela 1.

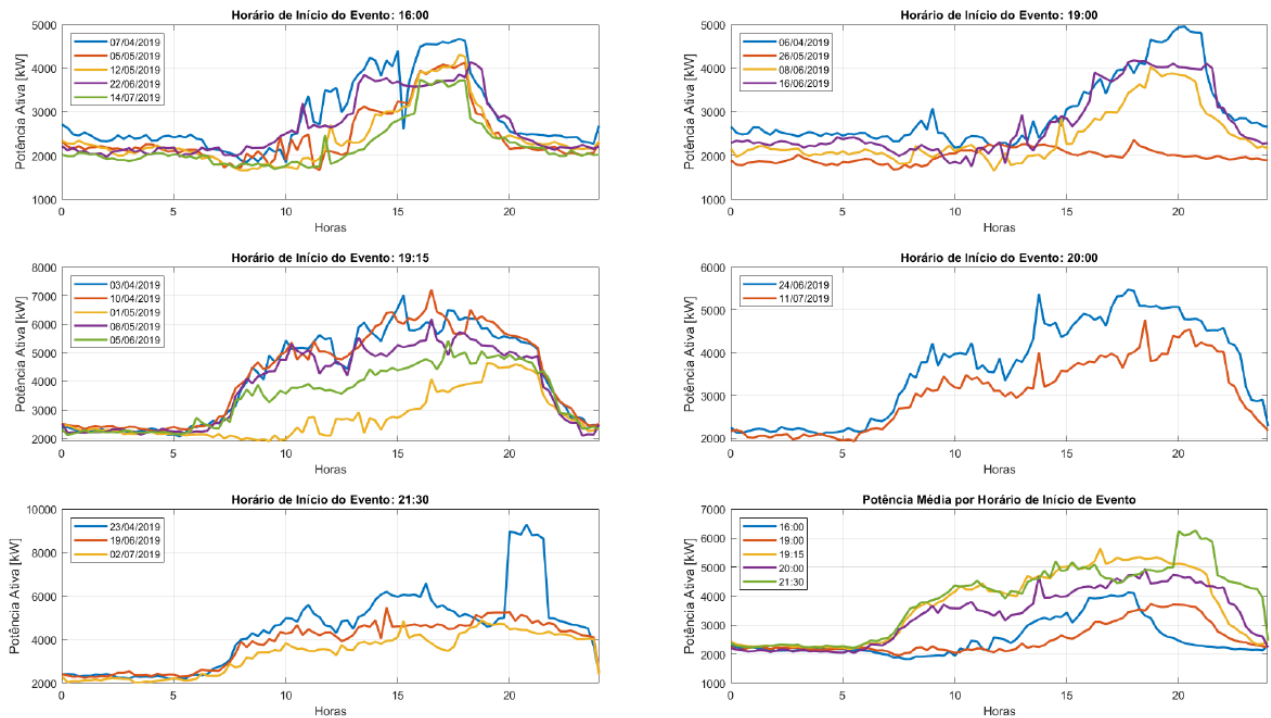


Figura 2 – Potência na subestação em dias de eventos no Mineirão.

Tabela 1 -Potências de Corte

Data	Horário	Potência de Corte	Data	Horário	Potência de Corte
03/04/2019	19:15	6000 kW	05/06/2019	19:15	4500 kW
06/04/2019	19:00	4000 kW	08/06/2019	19:00	3500 kW
07/04/2019	16:00	4000 kW	16/06/2019	19:00	3500 kW
10/04/2019	19:15	6000 kW	19/06/2019	21:30	4500 kW
23/04/2019	21:30	8000 kW	22/06/2019	16:00	3500 kW
01/05/2019	19:15	4000 kW	24/06/2019	20:00	5000 kW
05/05/2019	16:00	3500 kW	02/07/2019	21:30	4500 kW
08/05/2019	19:15	5500 kW	11/07/2019	20:00	4000 kW
12/05/2019	16:00	3500 kW	14/07/2019	16:00	3500 kW
26/05/2019	19:00	2200 kW			

A Figura 3 mostra os resultados da potência na subestação, na qual é observado que com exceção das simulações com as curvas dos dias 06/04/2019 e 16/06/2019, os Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias (SAEB) foram capazes de realizar a operação de limitar o pico de carga na subestação.

O efeito do caso de uso na tensão mínima do alimentador ao longo do dia é ilustrado na Figura 4, onde é possível observar que a injeção de potência no horário de pico aumentou o nível mínimo de tensão na simulação do dia 23/04/2019 no momento da em que ocorreu o corte de pico de carga.

É importante ressaltar que nessa simulação é obtido o maior pico de carga, de quase 9000 kW, todavia a tensão no alimentador não chega sequer a 0,95 pu. Isso se deve ao fato de que o aumento repentino de potência se dá na carga do estádio Mineirão, e o caminho percorrido por essa potência é um alimentador expresso, subterrâneo e curto, o que faz com que a queda de tensão no mesmo seja reduzida.

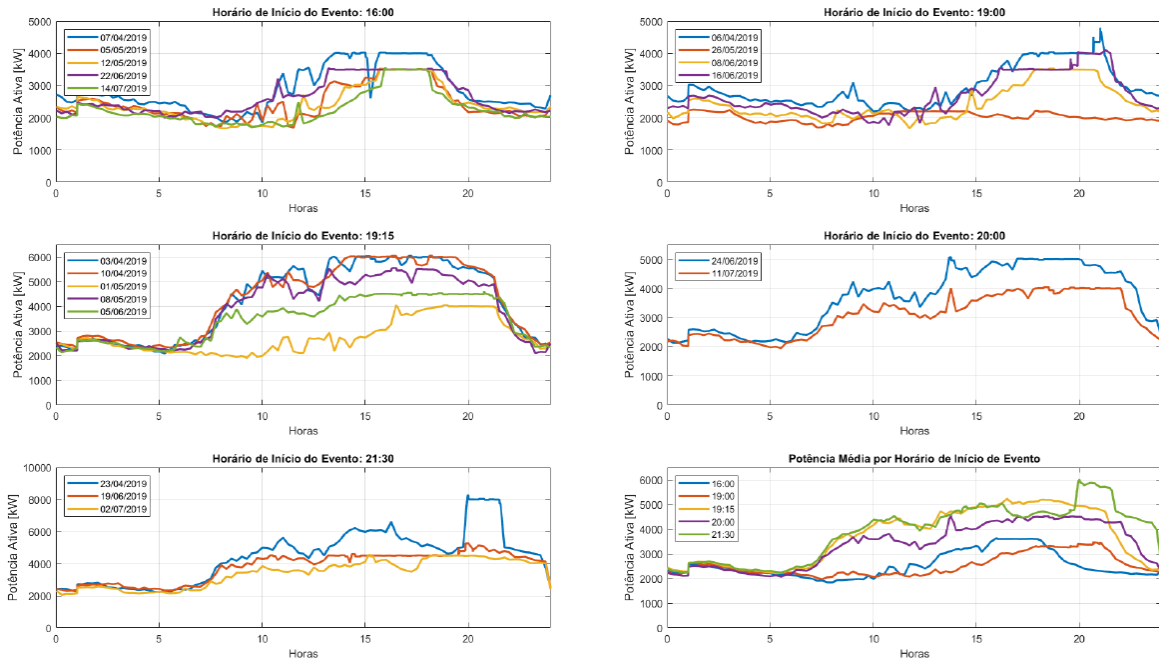


Figura 3 – Potência na subestação em dias de eventos no Mineirão após a operação de peak-shaving.

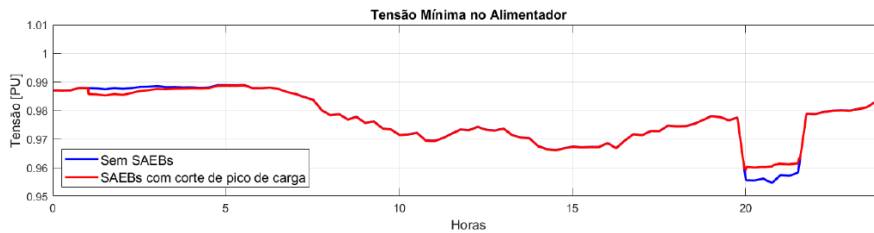


Figura 4 – Influência do corte de pico de carga no nível mínimo de tensão do alimentador.

4.2. SUPORTE DE TENSÃO

Utilizando como base valores aquisitados nos medidores ilustrados na Figura 1, durante o período compreendido entre os dias 01/04/2019 até o dia 17/09/2019, foram elaboradas uma curva de carga para cada grupo de carga do alimentador. O processo de obtenção das curvas é demonstrado em detalhes em (6). Um perfil de geração de energia em um dia sem nuvens foi elaborado com base nas medições de potência gerada da Usina Fotovoltaica do mineirão. O cenário de simulação consiste em analisar o perfil de tensão no alimentador quando é feita a transferência de um bloco de carga de um alimentador adjacente. O trecho transferido é ilustrado na Figura 5.

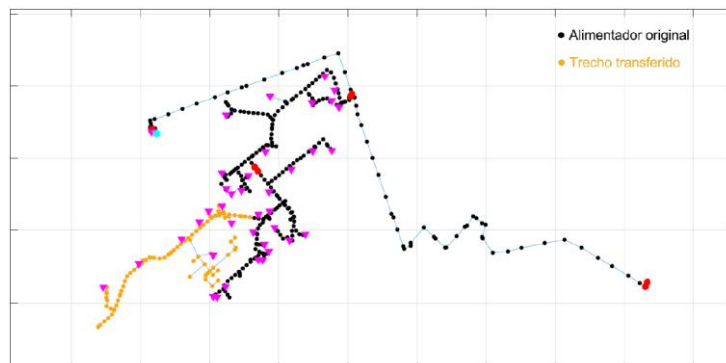


Figura 5 – Trecho transferido para o alimentador.

A Figura 6 mostra o perfil de tensão mínima ao longo do dia no alimentador considerando apenas a operação da usina fotovoltaica do estádio mineirão em azul. É possível notar que a tensão se encontra abaixo de 0,95 PU depois de 13:45 e antes das 17:00. Analisando a tensão nas barras do alimentador às 15:00, é notável que as barras do trecho transferido possuem a tensão menor que 0,95 PU bem como as barras próximas ao local onde está instalado

o SAEB de Lítio (WEG), como ilustrado na Figura 6 (a). Sendo assim, a curva volt-VAR do SAEB de lítio é configurada para injetar o máximo de potência reativa possível quando a tensão for menor que 0,95 PU, com a zona morta entre 0,98 e 1,02 PU. Para que o SAEB de chumbo-ácido avançado possa também fornecer suporte a regulação de tensão, a curva volt-VAR do mesmo é configurada para injetar o máximo de potência reativa possível quando a tensão for menor que 0,97 PU, com a zona morta situada entre 0,99 e 1,02 PU. O estado de carga inicial dos SAEB é considerado em 100%.

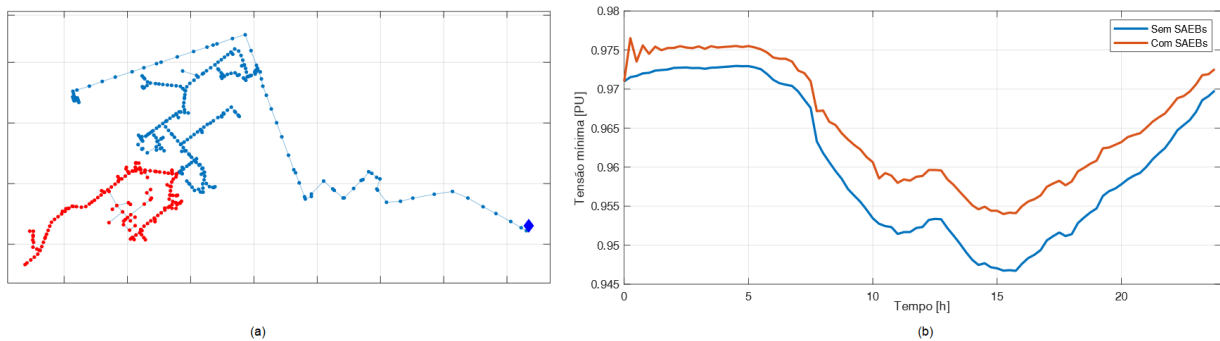


Figura 6 – (a) Tensão nas barras do alimentador às 15:00. (b) Perfil de tensão mínima no alimentador ao longo do dia resultante da simulação.

O resultado do perfil de tensão mínima no alimentador é ilustrado na Figura 6 (b), em vermelho, e mostra que o perfil de tensão mínima do alimentador utilizando os dois SAEB para prestar suporte de tensão a rede ficou acima de 0,95 PU, mostrando assim a capacidade da utilização dos RED na rede pela concessionária para a prestação de serviços ancilares à rede de distribuição.

5.0 CONCLUSÕES

A investigação dos modelos de negócios envolvendo RED, explorados tanto pelas empresas distribuidoras de energia quanto por agregadores servem de subsídios na elaboração de recomendações de ajustes regulatórios que tragam maiores impactos positivos ao sistema de distribuição, embasadas em critérios como: sustentabilidade econômica das distribuidoras, solução de problemas nos sistemas elétrico e condições mais adequadas para a difusão de RED tanto para terceiros quanto para a própria distribuidora como alternativas ao planejamento da expansão tradicional.

Entende-se que uma evolução em diversos âmbitos seja necessária para que a figura do agregador floresça de maneira consistente e sustentável no mercado de energia, não bastando apenas uma regulamentação específica no sentido de acomodá-los entre os agentes. É imperioso um conjunto de ações regulatórias e mercadológicas adjacentes capaz de prover um arcabouço regulatório consistente para RED e seus respectivos modelos de negócios.

Baseado nos resultados dos estudos de caso apresentados, é possível verificar a eficácia da utilização de RED para a prestação de serviços direcionados a rede. Porém, a capacidade da concessionária controlar os recursos energéticos distribuídos diretamente do seu centro de controle é fundamental para coordenar a operação desses dispositivos a fim de obter o melhor benefício para a rede. Todavia, a questão de permissão para as concessionárias realizarem a integração dos RED de propriedade dos prossumidores com o objetivo de garantir uma operação estável da rede esbarra em questões regulatórias que precisam ser tratadas no Brasil.

É também necessário endereçar a questão da remuneração ao prossumidor e a terceiros que possam vir a operar e agregar os RED na rede de distribuição para a prestação de serviços ancilares e formação de plantas virtuais de energia, garantindo que haja um ambiente favorável ao investimento na utilização desses recursos distribuídos.

6.0 AGRADECIMENTOS

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

7.0 Referências Bibliográficas

1. SIGLASUL & PSR. *Revisão Bibliográfica Sobre Recursos Energéticos - Anexo 1- Tomada de Subsídios nº11/2021*. 2020.

2. **Frantzis, L., et al.** *Photovoltaics business models*. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States). 2008. Tech. rep.
3. **Burger, Scott e Luke, Max.** Business models for distributed energy resources: A review and empirical analysis. October de 2017, Vol. 109, pp. 230-248.
4. **Basterra, Macarena Larrea e Ozamiz, Maider Bilbao.** Modelos de Negocio en Recursos Distribuidos de Electricidad. 2020.
5. *One-Year Monitoring PV Power Plant Installed on Rooftop of Mineirão Fifa World Cup/Olympics Football Stadium.* **Monteiro, Luís, et al.** s.l. : MDPI AG, 14 de February de 2017, Energies, Vol. 10, p. 225.
6. *Analysis of Reactive Power Control Using Battery Energy Storage Systems for a Real Distribution Feeder.* **Souza, João, et al.** s.l. : Springer Science and Business Media LLC, 9 de January de 2022, Journal of Control, Automation and Electrical Systems, Vol. 33, pp. 1198-1216.

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) **LEONARDO HENRIQUE DE MELO LEITE.** Doutor em Engenharia Elétrica (UFMG 2016). Consultor Técnico Sênior da FITec – Fundações para Inovações Tecnológicas – há mais de 22 anos, atuando como Coordenador Técnico de diversos projetos em empresas do setor de energia. Professor de Pós Graduação – Master Setor Elétrico e Automação de SEP da PUC-MG. Secretário do Comitê de Estudos C6 – Redes de Distribuição Ativas e Recursos Energéticos Distribuídos do Cigré Brasil. Áreas de atuação: Recursos Energéticos Distribuídos, Redes Inteligentes de Energia (Smart Grids), Fontes de Energia Renováveis, Automação do SEP, Co-Simulação de Sistemas de Energia e Telecomunicações, Telecomunicações para Sistemas Operativos de Missão Crítica e Segurança Cibernética

(2) **JOÃO PAULO ASSUNÇÃO DE SOUZA.** Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Ouro Preto e mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais. Já atuou como professor no departamento de engenharia elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto. Atualmente é pesquisador na Concert Technologies, atuando em projetos de P&D aplicados no planejamento e operação de sistemas elétricos de potência. Suas áreas de interesse incluem modelagem e simulação de sistemas elétricos com ênfase em sistemas de distribuição com recursos energéticos distribuídos, smart grids, otimização e inteligência artificial aplicadas a engenharia elétrica.

(3) **HERBERT DE OLIVEIRA RAMOS.** Especialista na Fundação para Inovações tecnológicas - FITEC - Belo Horizonte/MG, atua em Projetos de P&D voltados para sistemas elétricos de potência. Graduiu-se em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI-Itabira) em 2016, obteve o título de Mestre em Engenharia elétrica na área de Eletrônica de Potência na Universidade Federal de Minas Gerais - PPGEE/UFMG (2019) enquanto atuava como Professor Substituto na UNIFEI (2018-2019). Especialista em Inteligência Artificial pela Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco (2021) e atualmente doutorando em Engenharia Elétrica no campo de Compatibilidade Eletromagnética e Qualidade de Energia no PPGEE/UFMG.

(4) **KEVERSON DE ALMEIDA CARVALHO.** Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela UFMG. Iniciou a carreira trabalhando nas áreas de engenharia e computação, onde ganhou experiência em projetos de sistemas elétricos e em desenvolvimento de softwares. Atualmente, lidera um time de desenvolvimento de softwares voltados para sistemas elétricos, defesa e utilidades. Ao longo da carreira, adquiriu uma ampla gama de habilidades técnicas em engenharia elétrica e computação, incluindo o conhecimento em sistemas elétricos de potência, programação de software, desenvolvimento de algoritmos, análise de dados, e gerenciamento de projetos.

(5) **DANILO DERICK SILVA ALVES.** Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG - 2010). Atualmente, é Engenheiro de Gestão de Ativos na empresa Cemig Distribuição S/A, onde trabalha na gestão de normas e padrões técnicos da distribuidora para conexão de acessantes geradores na rede de distribuição de energia elétrica. Atua também em projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados à integração de recursos energéticos distribuídos ao sistema de distribuição, notadamente, geração distribuída e sistemas de armazenamento de energia.