

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO - GDI

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS CONECTADOS A ALIMENTADOR DE DISTRIBUIÇÃO DA CEMIG - SIGRED

LEONARDO HENRIQUE DE MELO LEITE(1); DANIEL CALVO(1); JOÃO PAULO ASSUNÇÃO DE SOUZA(2); MARINA HASSEN DE SOUZA(3); MARCELO DARIDE GASPAR(1); HERBERT DE OLIVEIRA RAMOS(1); LUCAS DE GODOI TEIXEIRA(1); DANILO DERICK SILVA ALVES FITEC (1); CONCERT TECHNOLOGIES S.A.(3); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS(4)

RESUMO

Esse Informe Técnico apresenta uma metodologia para a integração de Recursos Energéticos Distribuídos conectados à rede de distribuição ao Centro de Operação da CEMIG D, de forma que tais recursos possam ser monitorados e controlados, a partir de um Sistema de Gerenciamento de Recursos Energéticos Distribuídos, com o objetivo de aumentar a confiabilidade e a qualidade do fornecimento de energia e minimizar os principais impactos causados por esses recursos. São apresentados: i) arquitetura detalhada do SIGRED; ii) Casos de Uso de RED e iii) Resultados de testes em um alimentador contendo dois sistemas de armazenamento totalizando 1.150 kVA / 1.750 kWh e uma usina solar de 1,4 MWp.

PALAVRAS-CHAVE

Recursos Energéticos Distribuídos (RED); Distributed Energy Resource (DER); Sistema de Gerenciamento de Recursos Energéticos Distribuídos (SIGRED); Distributed Energy Resource Management System (DERMS); Modernização da Rede de Energia Elétrica; Smart Grids

1.0 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, verificou-se o início de um processo de profundas mudanças tecnológicas no Setor Elétrico, tendo como característica mais visível o ciclo expansionista de fontes renováveis e alternativas. Dessa forma, a composição da matriz energética mundial vem sendo alterada, de forma gradativa, com destaque para os países desenvolvidos, motivada pela busca de maior segurança energética e da redução dos impactos ambientais causados pelas fontes fósseis. Nesses termos, constata-se que a expansão da Geração Distribuída (GD), dos sistemas de armazenamento por baterias e dos veículos elétricos estão sendo, atualmente, elementos centrais na transição para sistemas elétricos caracterizados pela presença de Recursos Energéticos Distribuídos (RED), ou em inglês *Distributed Energy Resources* (DER).

No contexto brasileiro, a difusão da GD nos sistemas de distribuição, disciplinada pela resolução normativa ANEEL 482/2012 (1), é evidente, especialmente após os dois últimos anos, onde o número de novas conexões anuais de GD saiu de 122.717 em 2019 para a marca de 210.713 ao fim de 2020. No ano de 2021, mesmo no contexto de pandemia, já são 209.352 sistemas instalados. Em números acumulados, o Brasil conta com 601.163 unidades de GD e 7 GW de potência instalada (2). Nesse cenário, a Companhia Energética de Minas Gerais-Distribuição (CEMIG-D) que é o agente que lidera o mercado nacional em GD, detém cerca de 16,95% das instalações (101.942), com 18,14% da potência instalada (1,27GW).

Em termos prospectivos, é possível vislumbrar a continuidade da expansão de fontes renováveis distribuídas e a adoção de medidas de gerenciamento da demanda, bem como a possibilidade da difusão de sistemas de armazenamento de energia e da mobilidade elétrica, através, por exemplo, de veículos elétricos plug-in e de sistemas de baterias. Todo este processo de difusão dos RED está sendo acompanhado por uma crescente digitalização e automação dos sistemas de controle, avanços em dispositivos de eletrônica de potência, redução de custos de componentes e equipamentos e aumento da abrangência dos sistemas de comunicação (3).

Nesse cenário de elevada dispersão de RED conectados à rede de distribuição de média e baixa tensão, os sistemas de supervisão e controle convencionais apresentam limitações para o gerenciamento desses recursos, sendo necessárias ferramentas específicas para gerenciá-los e controlá-los. Nesse contexto, o Sistema de Gerenciamento de Recursos Energéticos Distribuídos ou DERMS (do inglês, *Distributed Energy Resource Management Systems*) se apresenta como ferramenta potencialmente capaz de organizar, controlar e gerenciar o funcionamento de milhares de RED conectados à rede de distribuição de energia, buscando maior flexibilidade e confiabilidade operacional e garantia dos parâmetros de qualidade do produto e de serviço de energia elétrica (4).

A utilização do DERMS permite agregar RED dispersos conectados à rede para otimizar a sua operação através de monitoramento e controle dos dispositivos envolvidos, bem como coordenar o despacho de energia elétrica na rede a partir de fatores técnicos, econômicos e estratégicos (5). Do ponto de vista técnico, o DERMS pode atuar, em cenários de penetração massiva de RED, para mitigar a violação de limites da rede e assegurar níveis maiores da capacidade de hospedagem de recursos na rede (do inglês *Hosting Capacity*) (6).

Para enfrentar esse novo paradigma e fazer frente ao crescente número de RED conectados à rede, a fim de entender os riscos, as oportunidades e a forma de gerenciá-los de forma integrada aos seus respectivos sistemas de supervisão e controle, um grupo de concessionárias americanas, coordenado pela *Smart Electric Power Alliance* (SEPA), se uniu em um projeto comum para desenvolver um conjunto de requisitos para a operação e controle da rede de energia do futuro, incluindo a operação de RED (7).

Especificamente, o sistema de distribuição da CEMIG tem sido impactado pela progressiva conexão de geração distribuída. Atenta a esse contexto, a empresa está implementando algumas iniciativas para suportar a interconexão, integração e gerenciamento de Recursos Energéticos Distribuídos em sua rede. Esse trabalho, resultante do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL P&D D649 – Sistema de Gerenciamento de Recursos Energéticos Distribuídos, executado pela CEMIG, FITec, Concert e consultoria da Vrinda, apresenta uma metodologia para a integração dos RED dispersos na rede de distribuição de energia ao Centro de Operação da Distribuição (COD), de forma que tais recursos possam ser monitorados, sensorizados e controlados, a partir de uma plataforma de software denominada SIGRED (Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Energéticos Distribuídos), com o objetivo de aumentar a confiabilidade e a qualidade do fornecimento de energia e, concomitantemente, minimizar ou mitigar os principais impactos causados por esses recursos na rede de distribuição. No que segue, esse Informe Técnico está organizado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados a arquitetura sistêmica, as características da planta de aplicação e dos respectivos recursos energéticos distribuídos, os casos de usos e resultados de simulações; na seção 3 são apontadas as conclusões desse trabalho e perspectivas futuras e, por fim, são apresentadas as referências bibliográficas.

2.0 ARQUITETURA GERAL

A plataforma de software objeto do projeto foi implantada como parte de um projeto piloto para controle de recursos energéticos distribuídos instalados em um alimentador real da rede de distribuição da Cemig-D.

Além de implementar diversos casos de uso projetados para exercitar as capacidades da ferramenta, outro objetivo do projeto é identificar, implementar e validar as integrações com os demais sistemas atualmente utilizados para operação da distribuição pela CEMIG, tais como o SCADA (do inglês, *Supervisory Control and Data Acquisition*) e o GIS (do inglês, *Geographic Information System*). Adicionalmente, o piloto visa suportar a definição de processos e procedimentos internos da CEMIG e contribuir com a definição de normas nacionais para implantação e gerenciamento de recursos energéticos distribuídos.

A Figura 1 apresenta a arquitetura geral da solução. O DERMS instanciado no COD da CEMIG, através de uma infraestrutura de telecomunicações, irá realizar a comunicação com os dois sistemas de armazenamento de energia (BESS, do inglês *Battery Energy Storage System*) e com a Usina Fotovoltaica (UFV) instalada no teto do estádio de futebol Governador Magalhães Pinto (Mineirão).

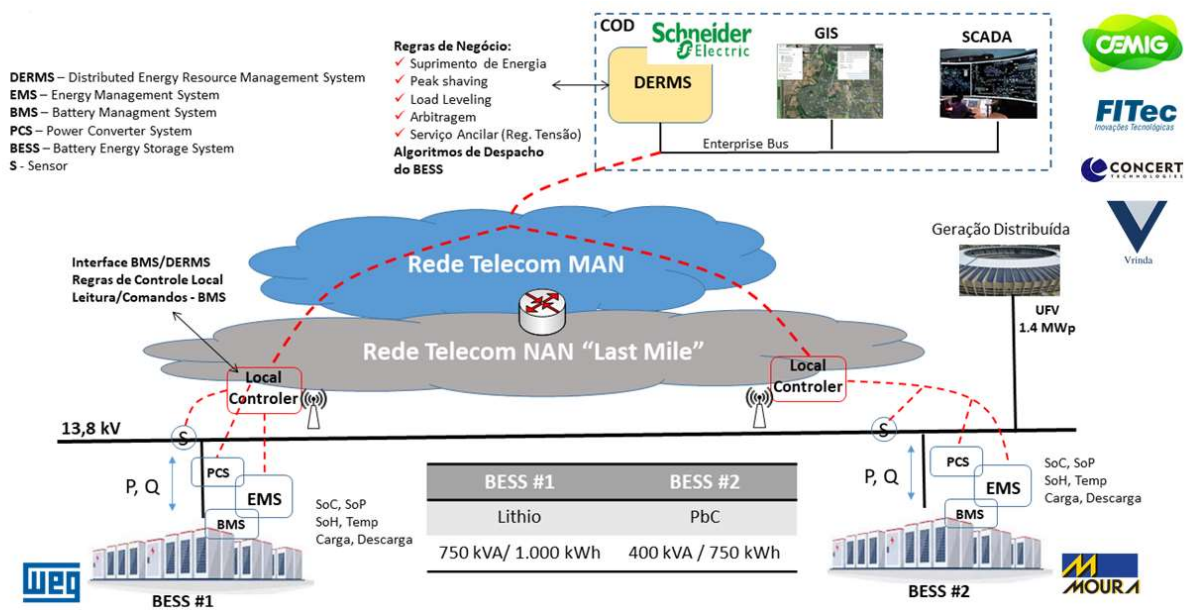


Figura 1- Diagrama da arquitetura da solução SIGRED

2.1 Diagrama em Blocos - DERMS

A Figura 2 apresenta os blocos construtivos do DERMS e os principais sistemas com os quais ele é integrado:

- **GDIS:** o GDIS é o sistema da CEMIG utilizado para calcular o fluxo de potência do alimentador e disponibiliza o estado dos dispositivos que não são tele controlados (modelo "as-switched"). Adicionalmente, o GDIS provê funcionalidades de GIS, fornecendo os dados de topologia e dados cadastrais do alimentador e dos seus ativos, incluindo os recursos energéticos distribuídos. O GDIS também disponibiliza informações sobre curvas de carga típicas e tem previsão para fornecer futuramente curvas típicas de geração;
- **SCADA:** o SCADA em operação no COD da CEMIG é o xOMNI e é responsável por fornecer informações em tempo real, como por exemplo, o estado dos religadores tele controlados, valores de tensão e corrente, entre outros;
- **Dados meteorológicos:** os dados climáticos e de previsão meteorológica são recebidos de serviços externos e consolidados em um banco de dados da CEMIG. Esses dados, juntamente com dados históricos de carga e geração e curvas típicas, são utilizados para viabilizar previsões de carga e geração.
- **Recursos Energéticos Distribuídos:** no caso do projeto piloto, todos os recursos são de propriedade da CEMIG, compostos por uma usina fotovoltaica de 1,4 MWp e dois sistemas de armazenamento de energia (BESS – *Battery Energy Storage System*), totalizando 1.150 kVA e 1.7500 kWh. Os três RED estão conectados ao mesmo alimentador de distribuição.

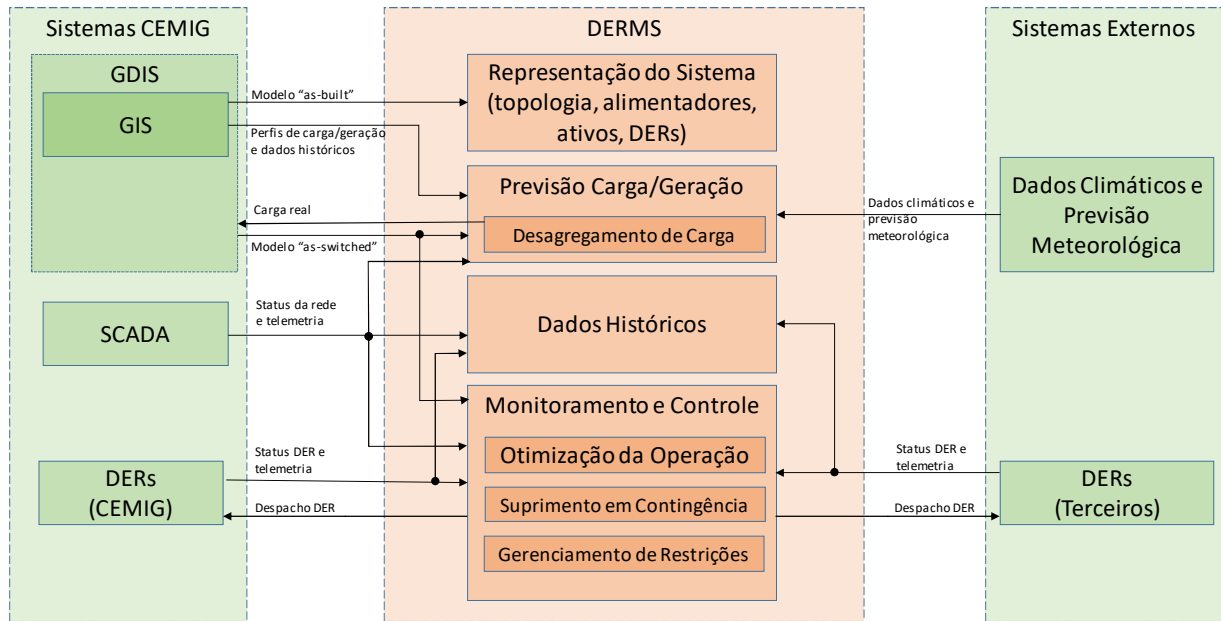


Figura 2 - Diagrama de blocos da solução SIGRED

As principais funcionalidades implementadas pelo DERMS são:

- Importação de informações topológicas e cadastrais do alimentador e de seus ativos, incluindo os recursos energéticos distribuídos, a partir do GIS;
- Previsão de carga e geração, a partir de dados históricos, curvas típicas de carga e geração e dados de previsão meteorológica.
- Manutenção e gerenciamento de dados históricos;
- Monitoramento e controle, com funcionalidades como *peak shaving*, minimização de desvios de tensão em regime permanente, limitação da energia gerada pelos RED, fornecimento de energia em situação de contingência, entre outras.

2.2 Planta de Aplicação

Naturalmente, a planta a ser submetida ao controle de um sistema tal como DERMS deve possuir RED de potências suficientes para que os efeitos de sua atuação resultem como efetivos na rede de distribuição com respeito ao resultado esperado de determinada ação de controle executada. As características do alimentador, das cargas e RED são descritos a seguir.

2.2.1 Características do Alimentador

O alimentador selecionado para a planta de aplicação possui extensão total de 11,9 km e atende a uma demanda de 9,257 MVA distribuídos em 45 consumidores não residenciais (33 no primário e 12 no secundário). Possui 7 chaves monopolares, 1 chave tripolar tele controlada, 10 religadores tele controlados, 59 transformadores e 36 chaves fusíveis. O alimentador apresenta uma perda técnica de 2,4%.

O diagrama unifilar do alimentador em estudo é apresentado na Figura 3. Nota-se a origem do alimentador na subestação na parte superior. O diagrama indica também o ponto de interligação com outros alimentadores, da mesma subestação e de outras, que podem atuar como contingência. São apresentados ainda os 14 grupos de carga (LG1 a LG14) e os RED: UFV Mineirão, BESS de íons de lítio (BESS 01) e BESS de chumbo-carbono (BESS 02).

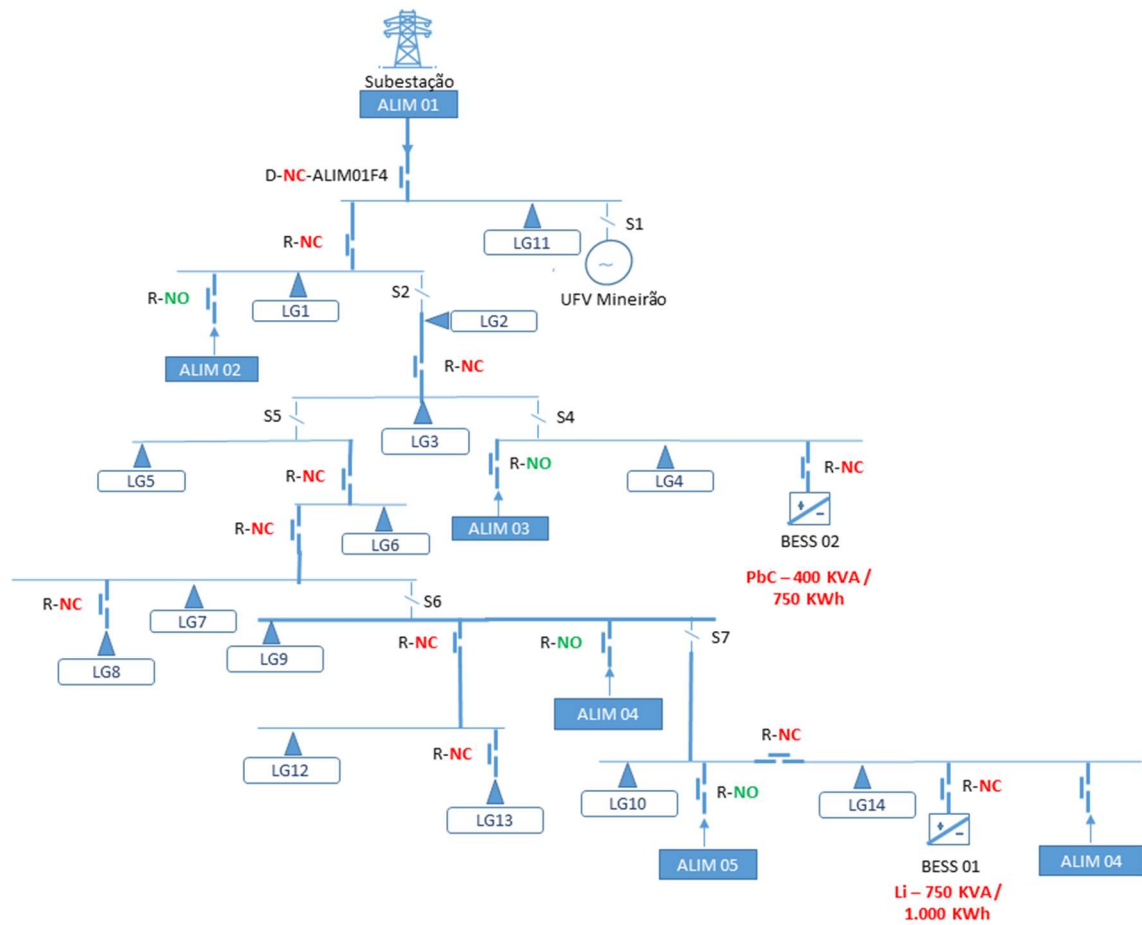
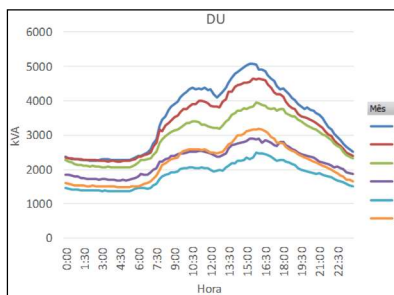
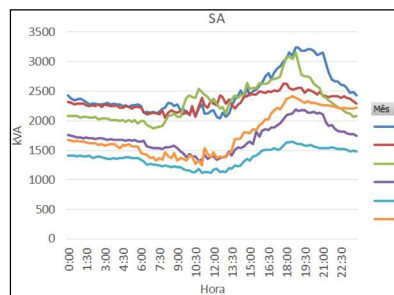


Figura 3 - Diagrama Unifilar do Alimentador. Fonte: Cemig

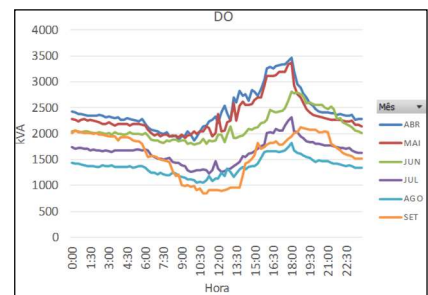
As cargas conectadas ao alimentador estão agrupadas em grupos de cargas (*Load Group* – LG). O que divide os LGs são os dispositivos da rede, sejam eles religadores ou chaves seccionadoras, que podem ser manobrados localmente ou remotamente de forma a proporcionar alimentação de um ou mais grupos, através de diferentes fontes. O valor da demanda do alimentador varia substancialmente a depender do mês, do dia e da hora considerada. A Figura 4 (a), (b) e (c) apresenta o comportamento da potência média das cargas vistas pelo alimentador em dias úteis, sábados e domingos, respectivamente. A Figura 4 (d), (e) e (f) apresenta o comportamento da potência instantânea comparando dias típicos com dias atípicos, considerando, respectivamente, dias úteis, sábados e domingos.



(a)



(b)



(c)

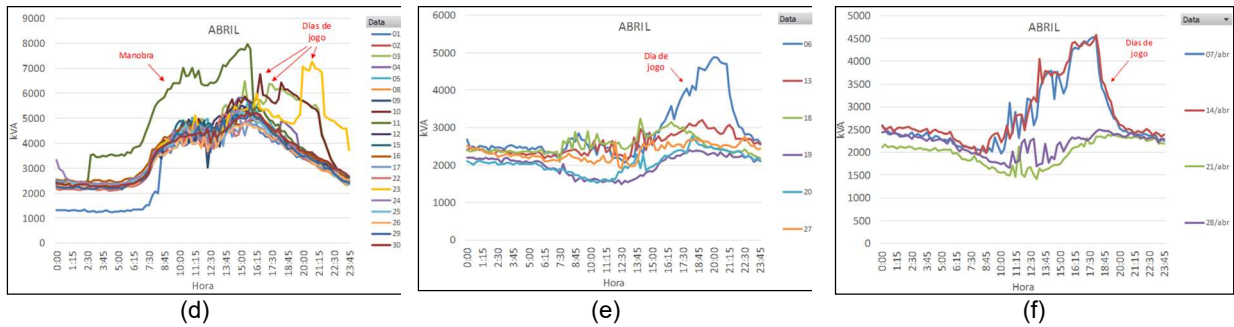


Figura 4 - Potência média das cargas em: (a) dias úteis, (b) sábados e (c) domingo. Potência instantânea das cargas para dias típicos e atípicos: (d) dias úteis, (e) sábados e (f) domingo

2.2.2 Características dos Recursos Energéticos Distribuídos

São considerados três RED conectados ao alimentador: UFV Mineirão, BESS de tecnologia de íons de Lítio (BESS 01), fornecido pela Weg e BESS de tecnologia de chumbo-carbono (BESS 02), fornecido pela Moura. A UFV Mineirão já está presente no alimentador, enquanto a instalação dos BESS está prevista para o final de 2021. As características de cada recurso energético distribuído estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos RED

Característica	UFV Mineirão	BESS 01- Li	BESS 02 - PbC
Potência Nominal	1.400 kVA	750 kVA	400 kVA
Capacidade de armazenamento	-	1.000 kWh	750 kWh
Tecnologia	Painéis de Silício cristalino	Íon-Lithium	Chumbo-carbono
Tensão de conexão	276 V, 13,8 kV	13,8 kV	13,8 kV
Frequência nominal	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Protocolo de comunicação	DNP3	DNP3	DNP3

2.3 Casos de Uso

Os casos de uso, agrupados por funcionalidades, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Casos de uso agrupados por funcionalidades

Casos de uso	Objetivos	Funcionalidades Testadas
Cadastro, Monitoramento e Controle de RED	<ul style="list-style-type: none"> Identificar os diferentes tipos de RED conectados à rede de distribuição, em relação ao tipo, características técnicas e operacionais; Verificar a capacidade do DERMS de gerenciar RED de tipos diferentes e fornecidos por diversos fornecedores; Verificar a compatibilidade da integração do DERMS com os dados e tecnologias utilizadas pela CEMIG; Verificar a capacidade para previsão de carga e geração. 	<ul style="list-style-type: none"> Modelagem do alimentador e dos seus ativos, incluindo os RED. Visualização dos dados estáticos e dinâmicos do alimentador e dos seus ativos; Monitoramento da operação do alimentador (alarmes, eventos, medições em tempo real); Monitoramento dos valores de carga, geração e potência líquida no alimentador ou seções de circuito; Visualização da previsão de carga e geração (<i>forecasting</i>) para o alimentador, trechos do alimentador ou ativos específicos; Atuação direta dos RED, individualmente ou em grupos, para operações de conexão/desconexão, ajuste de <i>setpoints</i>, despacho de potência ativa e reativa, etc. Execução de operações agendadas de despacho/consumo dos BESS.

Otimização da Operação	<ul style="list-style-type: none"> • Demonstrar a capacidade do DERMS de agrupar, agendar e despachar RED de tipos diferentes e fornecidos por diversos fornecedores visando atender a objetivos operacionais específicos; • Verificar a capacidade para realizar funcionalidades como peak shaving, load leveling, limitação na energia despachada pelos RED, mitigação de variações de tensão, entre outras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Despacho dos RED, visando limitar o fluxo de energia reverso no alimentador e na subestação, permitindo configurar limites por transformador, por alimentador e por subestação; • Despacho dos RED, visando manter a demanda do alimentador abaixo de um limite configurado (<i>peak shaving</i>), considerando a demanda atual e a demanda prevista (<i>forecasting</i>); • Despacho dos RED visando manter a demanda do alimentador dentro de uma determinada faixa (<i>load leveling</i>), considerando a demanda atual e a demanda prevista (<i>forecasting</i>); • Despacho da potência ativa ou reativa dos RED visando mitigar desvios de tensão, utilizando estratégias do tipo Volt/VAR e Volt/Watt, entre outras.
Gerenciamento da Capacidade de Equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Demonstrar a capacidade de atuação do DERMS quando limites operacionais dos equipamentos forem excedidos, tais como limites de tensão, potência e térmicos; • Verificar a capacidade para antecipar problemas de ultrapassagem dos limites operacionais dos equipamentos, considerando as previsões de carga e geração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Despachar os RED em resposta a um aumento repentino na carga ou redução repentina na geração; • Despachar os RED em resposta a uma redução repentina na carga ou aumento repentino na geração.
Suprimento de Energia em Situações de Contingência	<ul style="list-style-type: none"> • Demonstrar a capacidade de atuação do DERMS para reduzir a duração da falta de energia e reduzir a área afetada, despachando os DER e atuando de forma autônoma ou recomendando ações para mitigar a falta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Despacho dos RED para fornecer energia para o trecho afetado pela falta; • Execução de forma automática ou recomendação de execução de manobras e outras ações necessárias para minimizar o tempo de interrupção e a área afetada pela falta, além de garantir níveis de tensão adequados para os blocos de cargas transferidos para outra fonte.

3.0 TESTES NA PLANTA PILOTO

Nessa seção são apresentados os resultados de testes para alguns casos de uso listados na Tabela 2. Emprega-se a ferramenta EcoStruxure DERMS, fornecida pela Schneider Electric, como um pacote de software do Sistema de Gestão de Distribuição Avançado (ou ADMS, do inglês, *Advanced Distribution Management Systems*) denominado EcoStruxure ADMS. Devido a indisponibilidade dos BESS na rede até a data de elaboração desse documento, todos os testes e resultados apresentados foram obtidos através do ambiente de simulação do próprio DERMS.

Para teste do “Cadastro, Monitoramento e Controle de RED”, optou-se pela operação agendada. Através da aplicação da função Watt/VAr *Flexibility*, apresentada na Figura 5, o usuário pode visualizar uma curva de previsão da demanda para um alimentador e em quais faixas horárias a demanda supera os limites definidos pelo operador. De posse dessa informação, é possível agendar o despacho dos RED de modo a realizar *peak shaving* ou *load leveling* e gerenciar os recursos disponíveis.

Para “Otimização da operação” empregou-se a aplicação da função de Alívio de carga (*Load Relief*), na qual após uma variação abrupta da geração fotovoltaica, o DERMS detectou duas violações de fluxo reverso e atuou automaticamente acionando os BESS, corrigindo as violações, como indica o relatório apresentado na Figura 6.

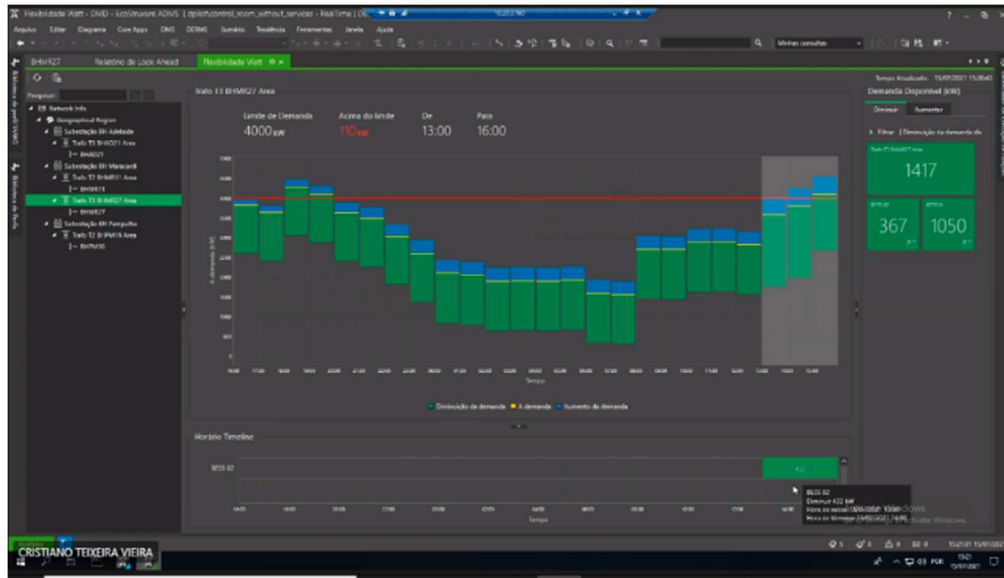


Figura 5 - Cadastro, Monitoramento e Controle de RED: Operação agendada através da aplicação Watt/Var Flexibility

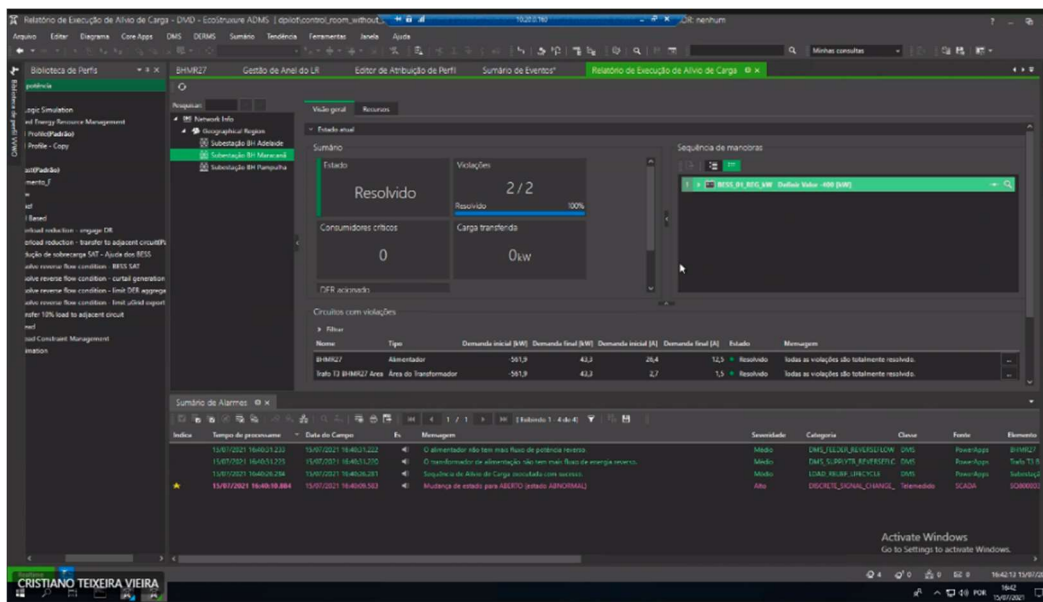


Figura 6 - Otimização da Operação: Relatório de execução de alívio de carga automática frente à fluxo reverso no alimentador após mudança repentina na irradiação.

Para avaliar a capacidade de “Suprimento de Energia em Situações de Contingência” através do DERMS, abriu-se a chave S7 (ver Figura 3) simulando uma interrupção do fornecimento. Desse modo, é possível criar um sistema ilhado para suprir temporariamente os grupos de carga LG10 e LG 14 através do BESS 01, durante a contingência. A Figura 7 mostra o diagrama unifilar da rede, onde o trecho na cor avermelhada indica que o sistema está ilhado. Além disso, as mensagens do sumário de alarmes reforçam tal situação. Após a contingência, é possível desfazer a ilha e voltar a operar o sistema em operação normal, com suprimento de energia pela fonte principal.

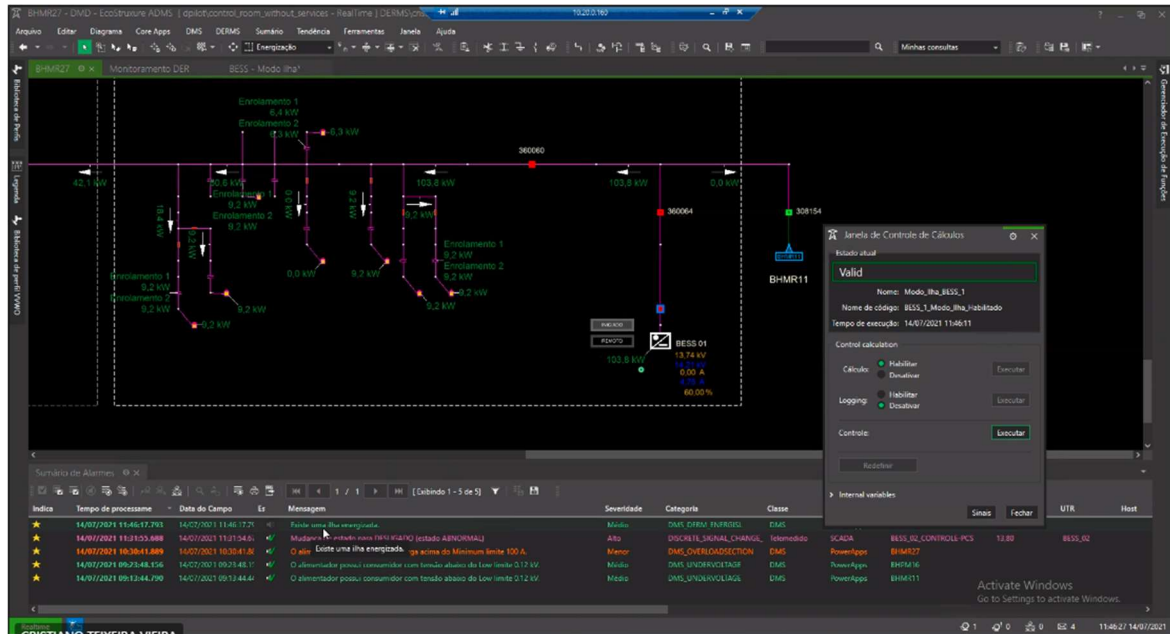


Figura 7 - Suprimento de Energia em Situações de Contingência: Seção de circuito energizado em modo ilhado.

4.0 CONCLUSÕES

Diante do potencial de difusão de RED, os critérios de operação, o planejamento e a expansão das redes de distribuição precisarão ser adaptados. A metodologia tradicional (*"fit-and-forget"*), que privilegia o estudo da capacidade da rede de suportar as restrições físicas dos horários de pico, deixará de ser a única a ser empregada, em função de uma difusão elevada de RED e da associação dos seus benefícios. Uma metodologia abrangente, apoiada pela definição das principais aplicações e pela utilização de uma plataforma de software adequada para gerenciar uma grande dispersão de RED na rede de distribuição, se mostra como uma abordagem adequada para as distribuidoras de energia brasileiras. Os resultados preliminares alcançados com o projeto piloto, a partir de casos de uso reais, certificam as potencialidades dessa nova abordagem. O próximo desafio é executar os testes em ambiente de operação, tão logo os sistemas de armazenamento de energia estiverem instalados e conectados ao alimentador em estudo.

5.0 AGRADECIMENTOS

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

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Resolução Normativa ANEEL 482/2012. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Brasília, 2012.
- (2) Banco de Informação de Geração ANEEL - Geração Distribuída. Acesso em 15/09/21. Disponível em https://www.aneel.gov.br/ouorgas/geracao/-/asset_publisher/mjhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&.
- (3) Peterson, Zac, Michael Coddington, Fei Ding, Ben Sigrin, Danish Saleem, Kelsey Horowitz, Sarah E. Baldwin, et al. 2019. An Overview of Distributed Energy Resource (DER) Interconnection: Current Practices and Emerging Solutions. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A20-72102. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72102.pdf>.
- (4) EPRI. Understanding DERMS, EPRI, Palo Alto, CA: 2018. 3002013049, 2020.
- (5) Wang, J., Lu, X., & Chen, C. Guidelines for Implementing Advanced Distribution Management Systems. Argonne National Laboratory, 2015.
- (6) Renjit, Ajit et al. Evaluating the Value of DERMS: Methods and Mitigation to Increase Feeder Hosting Capacity. 2019.

- (7) Smart Electric Power Alliance - SEPA. DISTRIBUTED ENERGY RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM – DERMS REQUIREMENTS. - Version 2, February, 2019.

DADOS BIOGRÁFICOS



LEONARDO LEITE Doutor e Mestre em Engenharia Elétrica (UFMG – 2016 / 2005). Graduação em Engenharia Elétrica (UFMG – 2000). Técnico em Eletrônica Industrial (CEFET - 1993). Engenheiro Eletricista Sênior da FITec há mais de 20 anos. Coordenador Técnico de diversos projetos em empresas de energia elétrica. Professor dos Cursos de Pós-graduação – Master Setor Elétrico, Automação de SEP e Proteção de SEP - PUC-MG. Professor adjunto do curso de Engenharia Elétrica do UNI-BH (11 anos). Revisor de periódicos nacionais e internacionais. Áreas de atuação: Geração Distribuída de Energia, Smart Grids, Energia Renováveis, Automação de SEP, Co-Simulação de Sistemas de Energia e Telecomunicações, Sistemas de Missão Crítica.

(2) **DANIEL CALVO** Graduado em Ciência da Computação (DCC/UFMG 1990), possui mais de 30 anos de experiência em projeto e desenvolvimento de sistemas, atuando como líder técnico, arquiteto de software/sistemas, desenvolvedor de software e SCRUM master. Possui larga experiência no desenvolvimento de sistemas para as áreas de energia, telecomunicações, saúde e transporte, com foco em sistemas embarcados, de tempo-real e distribuídos. Particularmente, na área de energia, atuou no desenvolvimento e implantação de sistemas SCADA (distribuição e transmissão de energia), no desenvolvimento de sistemas de controle para microrredes de energia, além de algoritmos para controle de sistemas de armazenamento de energia.

(3) **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.

(4) **MARINA HASSEN DE SOUZA** Graduada em Engenharia Elétrica pela PUC-MINAS e mestranda em Compatibilidade Eletromagnética e Qualidade de Energia pela UFMG. Já atuou como técnica de supervisão e controle do sistema elétrico de distribuição de energia no Centro Integrado de Operação da Distribuição (COD) da CEMIG. Além disso, atuou em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento relacionados à fontes renováveis de energia e recursos energéticos distribuídos.

(5) **MARCELO DARIDE GASPAR** é analista de sistemas sênior na FITec em Belo Horizonte/MG. Graduado em Ciência da Computação pela UFMG, mestre em Ciência da Computação pela mesma universidade e especialista em inteligência artificial pela UPE. Possui mais de 20 anos de experiência com desenvolvimento de software. Desenvolveu vários projetos nas áreas de energia elétrica, automobilística, governo eletrônico, segurança cibernética, automação industrial e comunicações. Desde 2011 na FITec, participou de vários projetos de P&D para o setor elétrico. Seus principais interesses estão relacionados ao desenvolvimento de sistemas de aprendizado de máquina principalmente para o setor elétrico.

(6) **HERBERT DE OLIVEIRA RAMOS** Especialista em desenvolvimento de sistemas na Fundação para Inovações tecnológicas - FITEC. Graduiu-se em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI (2016). Obteve o título de Mestre em Engenharia elétrica no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais - PPGEE/UFMG (2019). Atualmente doutorando em Engenharia Elétrica na área de Qualidade de Energia no PPGEE/UFMG e especializando em Inteligência Artificial pela Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco - POLI/UPE.

(7) **DANILO DERICK SILVA ALVES** Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG - 2010). Atualmente, é Engenheiro de Planejamento, Tecnologia e Normalização na empresa Cemig Distribuição S/A, onde trabalha na gestão de critérios técnicos para conexão de acessantes geradores na rede de distribuição de energia elétrica e no suporte aos demais processos da empresa relacionados ao tema. 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.

(8) **LUCAS DE GODOI TEIXEIRA** Mestre em Engenharia Elétrica pela UFMG (2019). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela UFOP, campus JM (2017). Atualmente é Engenheiro Eletricista Pleno na FITec (Fundação para Inovações Tecnológicas), onde atua em projetos de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) da ANEEL, nas áreas de Distribuição de Energia Elétrica, Recursos Energéticos Distribuídos (Geração Distribuída Fotovoltaica, Sistemas de Armazenamento em Baterias, Veículos Elétricos), Integração, Coordenação e Gerenciamento de Elementos da Distribuição e Extração, modelagem e análise de redes reais das concessionárias de distribuição.