

Desenvolvimento de Sistema de Gerenciamento, Supervisão, Controle e Aquisição de Dados da Microrrede Universitária do Campus do Pici – UFC

Jose Cleison Cassiano Ribeiro*
 Ruth Pastôra Saraiva Leão*
 Raimundo Furtado Sampaio*
 Aluísio Vieira Carneiro**

*Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará,
 Brasil (e-mail: cleisoncassiano@hotmail.com; rleao@dee.ufc.br; rfurtado@dee.ufc.br).

** Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará
 IFCE-Campus Cedro,

Brasil (e-mail: avcarneiros@gmail.com).

Abstract: For the safe and efficient operation of a microgrid (MR), the development and implementation of a supervisory system is of utmost importance. This work aims to present the development and implementation of a data acquisition, supervision and management system for an MR installed at the Federal University of Ceará. The three-phase MR has three single-phase photovoltaic (FV) generation subsystems, named SFV-1, SFV-2 e SFV-3 which operate connected to the grid, but have different operating characteristics: SFV-1 is capable of operating in on-grid and off-grid mode with the support of a battery system; SFV-2 has two strings of FV modules that can operate connected in series, parallel or just one string; and SFV-3 can be connected to any of the three phases of the grid, according to the operator's decision. To develop the supervision and management system, the Elipse Power software was used for SCADA, the SoMachine software for programming the MR's PLC and HMI, and the SQL Server software for creating the database. The Modbus TCP / IP protocol was used to communicate all the equipment used by the supervisory system. Tests were carried out to evaluate the performance of the management and SCADA functions in the supervision and operation of each FV subsystem, under different operating conditions of the MR. The graphic screens developed in SCADA have proved the proper functioning of the supervisory system and the record of the quantities collected in the database created for the MR.

Resumo: Para a operação segura e eficiente de uma microrrede (MR), é de suma importância o desenvolvimento e implantação de um sistema supervisório. Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e implantação de um sistema de aquisição de dados, supervisão e gerenciamento de uma MR instalada na Universidade Federal do Ceará. A MR trifásica possui três subsistemas monofásicos de geração fotovoltaica, denominados SFV-1, SFV-2 e SFV-3, os quais operam conectados à rede, mas possuem características de operação distintas: SFV-1 é capaz de operar em modo *on-grid* e *off-grid* com o suporte de um sistema de baterias; SFV-2 possui dois conjuntos (*strings*) de módulos FV, que podem operar conectados em série, em paralelo ou com apenas uma *string*; e SFV-3 pode ser conectado a qualquer uma das três fases da rede, segundo decisão do operador. Para desenvolver o sistema de supervisão e gerenciamento, foram usados o software Elipse Power para o SCADA, o software SoMachine para programação do CLP e da IHM da MR e o software SQL Server para criação do banco de dados. O protocolo Modbus TCP/IP foi utilizado para comunicação dos equipamentos supervisionados. Testes foram realizados para avaliar o desempenho das funções de gerenciamento e do SCADA na supervisão e operação de cada subsistema FV, sob diferentes condições de operação da MR. As telas gráficas criadas no SCADA comprovaram o devido funcionamento do sistema supervisório e o registro das grandezas coletadas no banco de dados criado para a MR.

Keywords: Microgrid; Supervisory; SCADA; Elipse Power; Database.

Palavras-chaves: Microrrede; Supervisório. SCADA; Elipse Power; Banco de Dados.

1. INTRODUÇÃO

A recente tendência de integração de recursos energéticos distribuídos às redes de distribuição de energia elétrica tem favorecido à formação de microrredes (MRs). As microrredes são sistemas elétricos de pequeno porte, que integram fontes

convencionais (p.ex., microturbinas, geradores a diesel etc.) e renováveis (p.ex., solar, eólico etc.), armazenadores de energia (p.ex. baterias, supercapacitores, inércia volante etc.), cargas controláveis, sistemas de supervisão, controle e proteção, e sistema de informação e comunicação. As MRs podem ser projetadas para operar conectadas à rede

hospedeira (modo de funcionamento *on-grid*), em *backup* à rede hospedeira e/ou isolada da rede hospedeira (modo *off-grid*) (Oliveira, 2017). A Fig. 1 ilustra uma microrrede interligada à rede elétrica hospedeira.

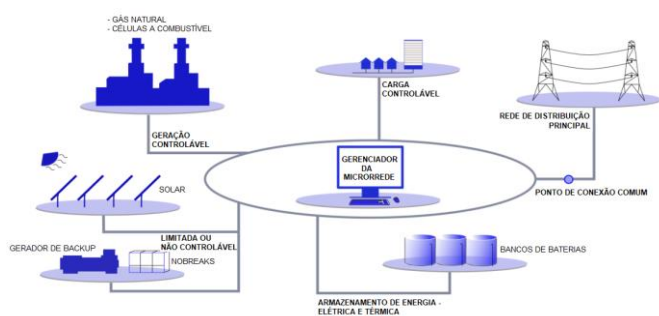


Fig. 1 Arquitetura de uma MR (adaptada de Scott, 2016).

Do ponto de vista técnico, as MRs apresentam vários benefícios, como confiabilidade e segurança devido à proximidade do usuário final e à diversidade de recursos energéticos, eficiência e qualidade da eletricidade com a redução de perdas elétricas, sobrecarga e queda de tensão, economia com a redução das contas de energia, e rápida construção com resposta rápida ao crescimento de carga. No entanto, a despeito do moderno desenvolvimento tecnológico e das vantagens citadas, as MRs trazem muitos desafios, tais como o alto custo de desenvolvimento pela ainda baixa escala de produção; dificuldades técnicas em controlar um grande número de recursos energéticos; falta de regulação, em particular sobre segurança cibernética, bem como sobre novos modelos de negócio, como transação de energia com clientes e entre microrredes, e com a própria rede principal; ausência de padronização que contribua para a interoperabilidade entre os vários dispositivos de uma MR; e ainda, a resistência das concessionárias à mudança de paradigma nas redes de distribuição que cada vez mais migram para redes ativas. (Carneiro, 2017) (Krueger, 2020).

A complexidade de um sistema de distribuição operando com MRs demanda um sistema capaz de monitorar, controlar e fornecer os dados de operação da microrrede, além de permitir o armazenamento dos dados de interesse, coletados em um banco de dados (BD) para consultas posteriores.

Sistemas supervisórios, ou simplesmente SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* – do inglês, Supervisão, Controle e Aquisição de Dados), são softwares destinados a monitorar e rastrear informações de um processo produtivo, de um sistema elétrico, ou de uma instalação física qualquer. Essas informações são obtidas por sensores, cujos dados são medidos, comparados, analisados, podendo haver atuação de comando como resultado da análise, armazenados e apresentados ao usuário quando solicitados.

Muito utilizados em automação industrial, os sistemas supervisórios também são usados em subestações de médio e grande portes. Através do SCADA, o operador do sistema elétrico pode saber quando, por exemplo, um transformador está em sobrecarga ou um elemento do sistema elétrico está fora de serviço em função da atuação da proteção ou de serviços de manutenção. Dessa forma, o SCADA permite uma rápida identificação e solução do problema, fator

essencial para a confiabilidade de uma rede elétrica. De uma forma geral, o SCADA permite o monitoramento online de um sistema elétrico ou microrrede, com produção de alarmes que sinalizam falhas em tempo real, facilita a tomada de ações proativas e permite a intervenção remota sobre a rede a partir da análise de tendências,

Uma arquitetura de SCADA para uma MR é mostrada na Fig.2, a qual é dividida em três partes. A primeira parte é formada pelos módulos de processamento locais, responsáveis por coletar os dados de operação da geração distribuída, dos sistemas de armazenamento e das cargas, e controla os dispositivos correspondentes. O módulo de comunicação *gateway* realiza a troca de informações entre os módulos locais e o módulo de controle do SCADA. Por fim, o módulo de controle do sistema supervisório é responsável pela análise avançada da MR e pela complexa tomada de decisões para gerar os controles correspondentes à operação do sistema (Chen, et al., 2013).



Fig. 2 Arquitetura do sistema SCADA de uma MR (adaptada de Chen, et al., 2013).

O armazenamento das informações coletadas pelos sistemas supervisórios geralmente é realizado por bancos de dados (BDs). Um BD é um sistema computadorizado com a finalidade geral de armazenar informações e permitir que usuários busquem e atualizem essas informações quando necessário (Date, 2003). Softwares que possuem recursos que podem manipular as informações dos BDs e interagir com o usuário são chamados de sistemas de gerenciamento de bases de dados (SGBD). Esses sistemas possuem controle de informações mais eficientes, otimizam as consultas e possuem grande capacidade de armazenamento.

Um SGBD envolve quatro componentes maiores: dados, hardware, software e usuários. Os dados são as informações registradas em um BD. O hardware é formado pelas memórias secundárias onde residem os BDs (discos rígidos, dispositivos de estado sólido – *solid state drive* ou SSD – etc.), em conjunto a outros dispositivos associados, unidades de controle etc. Os softwares, ou propriamente SGBDs, é a camada de interface entre o BD físico e o usuário, e todas as solicitações dos usuários para acessar o BD são manipuladas pelo SGBD. Usuários de BDs são divididos em 3 classes: o programador de aplicações, que escreve os programas de aplicação que utilizam os BDs, o usuário final, que acessa os

dados armazenados no BD, e o administrador do banco de dados, responsável por manter e atualizar o BD (Date, 2003).

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver, implantar e integrar um SCADA comercial em uma MR universitária. Os objetivos específicos deste trabalho são: realizar a comunicação de todos os componentes da MR com o SCADA; programar o controlador lógico programável (CLP) para monitorar entradas e atuar saídas; desenvolver interface homem-máquina (IHM) para visualizar os estados dos subsistemas da MR; desenvolver um SCADA para monitorar e comandar os subsistemas da MR; e criar um banco de dados (BD) para armazenar e visualizar as informações de operação da MR.

2. MICRORREDE

O SCADA foi desenvolvido e implementado em uma MR instalada no Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes (LabREI), localizado no Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A MR é formada por 30 módulos fotovoltaicos (FVs) para geração nominal de 7,8 kWp, divididos em três subsistemas monofásicos de 2,6 kWp cada. Também possui um sistema de armazenamento com 4 baterias de 200 Ah cada.

A Fig. 3 mostra os principais componentes da MR do LabREI, com exceção dos painéis fotovoltaicos e do sistema de baterias. Na Fig. 3 podem ser vistos os inversores monofásicos dos três subsistemas fotovoltaicos, SFV-1, SFV-2 e SFV-3. Os inversores (a) e (b) são de fabricação SMA, modelo Sunny Island (SI) 3.0M-11 e Sunny Boy (SB) 3000TL-21, respectivamente, permitindo ao SFV-1 operar em modo *on- / off-grid*. O inversor (c), do SFV-3, é do fabricante Renesola, modelo Replus 2000TL, e o inversor (d), do SFV-2, do fabricante Fronius, modelo Galvo 2.0.1. O SFV-2 e o SFV-3 operam somente *on-grid*.



Fig. 3 MR no LabREI do DEE/UFC.

O quadro de distribuição geral da microrrede (QDGMR), visto em (e), na Fig. 3, é dividido em duas seções. Na primeira seção (lado esquerdo do quadro), estão os equipamentos de proteção e manobra da MR (disjuntores e contadores). É também nesta seção onde é realizada a operação manual da MR, através de botoeiras de comando instaladas na porta do quadro. Cada botoeira no QDGMR aciona um conjunto de componentes de acordo com a sua função. Cada conjunto foi nomeado de chave de

monitoramento e manobra (CMM), sendo responsável por realizar o acionamento dos subsistemas da MR. Essa seção do QDGMR possui ainda um analisador de energia, modelo NEXUS 1500, do fabricante *Electro Industries Gaugetech* (EIG), conectado no ponto de conexão comum (PCC) da MR. Este equipamento é responsável pela aquisição dos dados de qualidade de energia da MR. Na segunda seção do QDGMR (lado direito do quadro) estão localizados os equipamentos de comando da MR, que incluem o controlador lógico programável (CLP), os relés e interfaces de conexão entre os relés e os contadores. O CLP, de fabricação Schneider Electric, modelo TM251MESE, é do tipo modular, permitindo a instalação de módulos de expansão para conexão de entradas e saídas. Esta seção possui também uma interface IHM (Interface Humana-Máquina). A IHM é uma pequena tela com função *touchscreen*, que permite o acionamento e o monitoramento simples de equipamentos gerenciados pelo CLP.

A MR possui também dois bancos de cargas, monofásica (g) e trifásica (f). O banco monofásico de 2 kW é utilizado para simular uma carga prioritária conectada ao SFV-1 quando operando em modo *off-grid*. O banco trifásico é formado por 3 módulos resistivos de 2 kW cada, conectados em estrela, com cada módulo formado por 10 estágios de 200 W.

O gerenciamento da MR é feito no Centro de Operação da Microrrede (COMR), localizado no LabREI, como mostra a Fig.3 (h). Do COMR é possível supervisionar, operar e gerenciar remotamente a MR. O COMR conta com um computador *desktop*, uma UPS e um monitor onde são projetadas as telas desenvolvidas no SCADA para visualização do diagrama unifilar de toda a MR e de cada subsistema, telas de alarmes, telas gráficas etc.

Cada SFV da MR possui uma forma própria de operação. Essas características distintas foram projetadas com o objetivo de estudar diferentes formas de operação, tornando a MR mais flexível para a pesquisa e ensino. O SFV-1 foi projetado para trabalhar fornecendo energia à rede da UFC, e no modo *off-grid* atende um conjunto de cargas prioritárias. A operação *on- / off-grid* é realizada através dos dois inversores: o SB, utilizado para conexão *on-grid*, e SI, para formar a rede isolada, tendo o banco de baterias como fonte para referência de tensão durante a operação *off-grid*.

O SFV-1 está conectado à fase C da rede de distribuição, e seu acionamento é feito por chaves CMM. Quando está operando no modo *on-grid*, o inversor SB fornece energia para o banco resistivo monofásico, ou injeta na rede quando houver excedente. Além disso, nesse modo de operação o SI carrega o banco de baterias quando necessário. No caso de falta de energia, a chave de transferência automática (C.T.A.) da MR é responsável pela comutação do sistema SFV-1 do modo *on-grid* para *off-grid*. No modo *off-grid*, o inversor SI, alimentado pelo banco de baterias, juntamente com o inversor SB, alimentado pelos módulos do SFV-1, passam então a suprir a demanda da carga prioritária. A Fig.4 mostra o esquema unifilar do SFV-1.

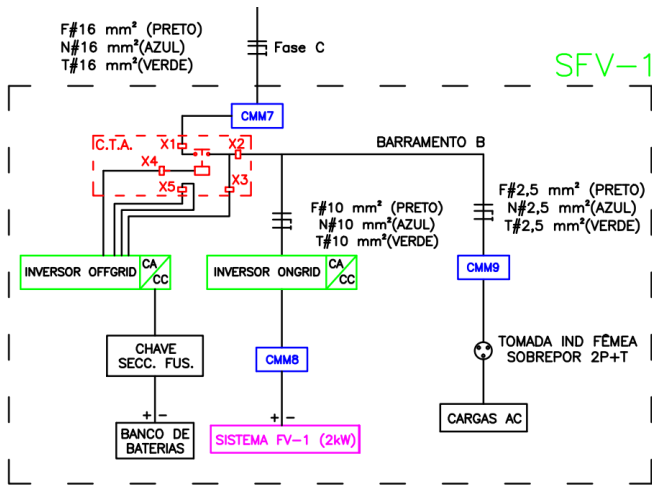


Fig. 4 Diagrama unifilar do SFV-1 (fonte: adaptada de Carneiro, 2017).

O SFV-2 opera somente no modo *on-grid*, está conectado à fase B da rede de distribuição e utiliza um inversor *on-grid*, que possui duas entradas para conexão dos módulos FVs, nas portas A e B do inversor. Em cada entrada, está instalado um conjunto (*string*) de cinco módulos FVs em série. Essas *strings* podem ser conectadas em série, em paralelo ou apenas uma das *strings* pode operar por vez. A Fig. 5 apresenta o diagrama unifilar de SFV-2.

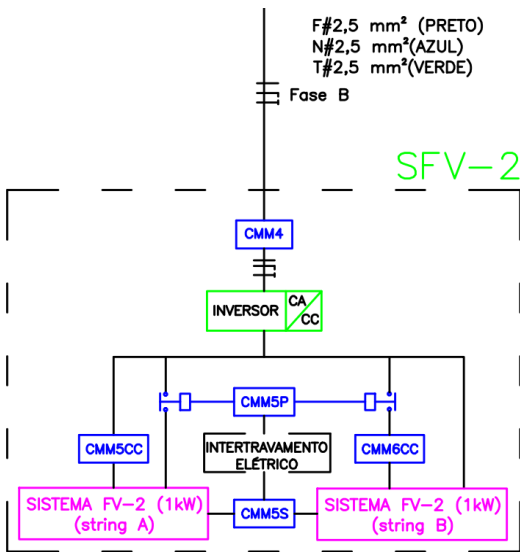


Fig. 5 Diagrama unifilar do SFV-2 (fonte: adaptada de Carneiro, 2017).

O acionamento e a comutação entre as três configurações de funcionamento do SFV-2 (*strings* em série, paralelo ou apenas uma) é realizado através de CMMs, como mostra a Fig.5. Duas dessas CMMs possuem um intertravamento elétrico, necessário para evitar que as *strings* A e B sejam conectadas em série e em paralelo simultaneamente, o que acarretaria danos ao inversor deste subsistema.

Assim como o SFV-2, o SFV-3, opera somente no modo *on-grid*, e foi projetado com a flexibilidade de ser conectado a qualquer uma das fases (A, B ou C) da rede hospedeira, permitindo, pois, a comutação entre fases. O SFV-3 permite

ao operador da MR, por exemplo, a compensação do desequilíbrio de carga ao permutar o subsistema para a fase com maior solicitação de energia. Por outro lado, essa flexibilidade permite provocar desequilíbrio para avaliar efeitos e soluções ao desequilíbrio. A Fig. 6 mostra o diagrama unifilar de SFV-3.

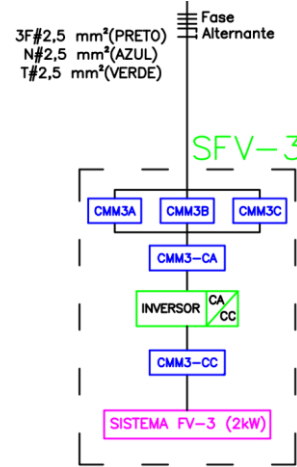


Fig. 6 Diagrama unifilar do SFV-3 (fonte: adaptada de Carneiro, 2017).

A escolha da fase a qual o SFV-3 deverá ser conectado é realizado por uma CMM instalada em cada fase. As três chaves possuem intertravamento físico entre si para evitar curto-circuito por acionamento simultâneo. Após o acionamento da chave da fase onde o subsistema vai se conectar, devem ser acionadas as CMMs gerais do lado alternado e do lado contínuo do inversor.

Uma descrição com maior riqueza de detalhes sobre os comandos e SFVs da MR pode ser encontrada em (Ribeiro, 2020).

3. DESENVOLVIMENTO DO SCADA LABREI

Para desenvolver o sistema supervisor para a MR do LabREI, foi utilizado o software Elipse Power Studio versão 4.6.163, da empresa Elipse Software. Os dados a serem lidos e exibidos no SCADA são coletados por três equipamentos: o analisador de energia, que fornece os dados em tempo real das grandezas de interesse, o CLP, que faz a leitura dos estados dos disjuntores e contadores do QGMR além de acionar as CMMs do quadro, e o inversor *off-grid* do SFV-1 (inversor SI), que fornece o nível de carga do banco de baterias da MR.

O primeiro passo para desenvolver o SCADA LabREI foi o estabelecimento da comunicação entre os equipamentos que fazem parte do COMR. Todos os equipamentos de coleta de dados são compatíveis com o protocolo TCP/IP. Para comunicação física entre os equipamentos, foi instalado um *Switch* de 16 portas. A arquitetura da comunicação dos equipamentos do COMR é resumida na Fig. 7.

Após configurar a comunicação entre todos os equipamentos do COMR, foi necessário configurar a comunicação dos equipamentos com o software Elipse Power Studio. Para isso,

foi utilizado um driver de comunicação, disponível no site da Elipse Software, que é compatível com o protocolo TCP/IP.

Realizada a configuração, podem ser criadas pastas para abrigar as variáveis a serem lidas pelo supervisor. Neste trabalho, foi criada uma pasta para cada equipamento que deve ser monitorado pelo SCADA (o inversor SI, o analisador de energia e o CLP), cada uma com seus próprios blocos de comunicação e configurações para leitura das informações coletadas, como mostrado na Fig. 8.

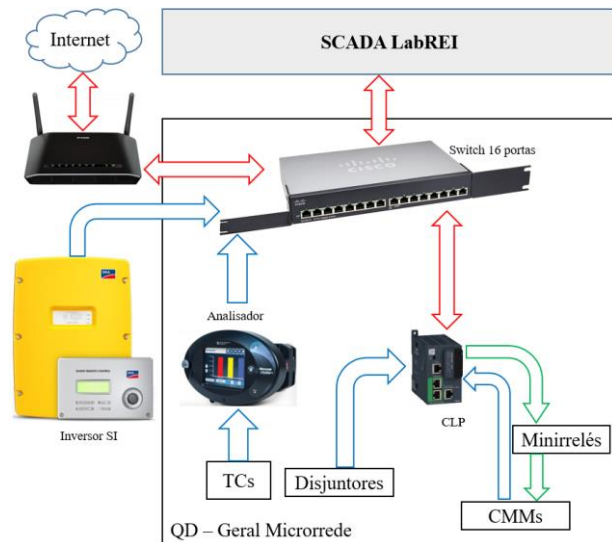


Fig. 7 Arquitetura de comunicação da MR do LabREI.

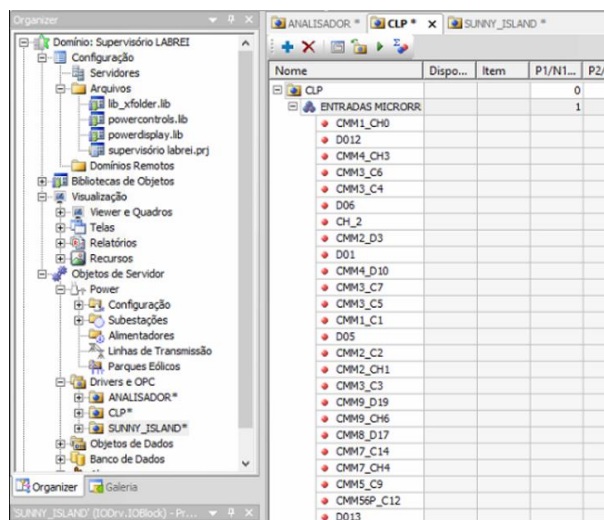


Fig. 8 Configuração das variáveis a serem lidas pelo SCADA.

O passo seguinte foi a programação do CLP. Para isso, foi utilizado o software SoMachine, da Schneider Electric. Esse software possui duas ferramentas principais para programação dos controladores: o *Logic Builder*, para programar o CLP, e o *Vijeo-Designer*, para programar IHMs.

No *Logic Builder* foi utilizada a linguagem gráfico funcional contínuo (CFC) para desenvolver os circuitos lógicos que acionam todas as CMMs da MR, com o intuito de facilitar o acionamento dos SFVs pelo SCADA. Ainda nesta ferramenta, foram criados circuitos para enviar o estado das

entradas lidas pelo CLP para o supervisor, como mostram a Fig. 9 e a Fig. 10.

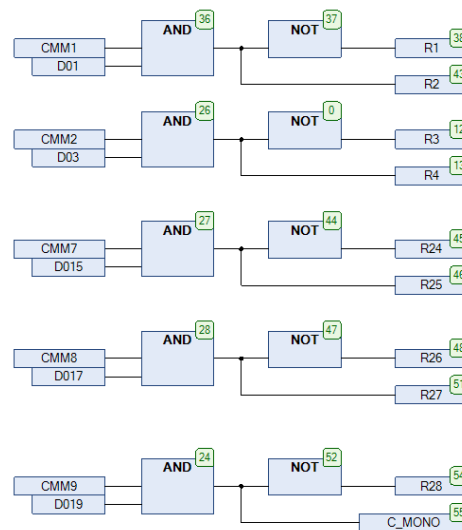


Fig. 9 Circuitos de acionamento de saídas no *Logic Builder*.

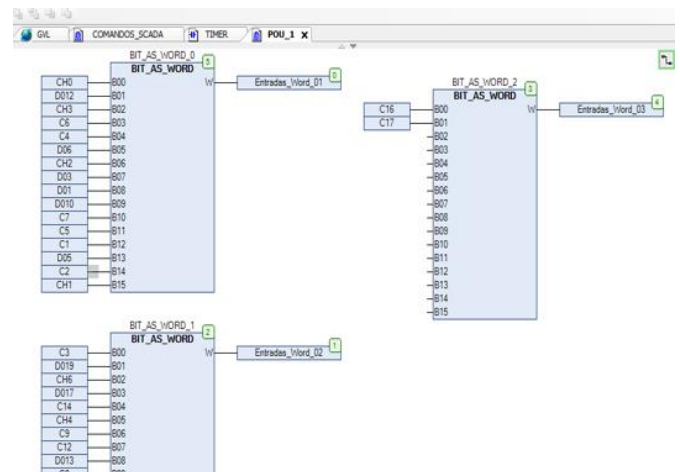


Fig. 10 Circuitos para envio de valores de entrada ao SCADA LabREI (no *Logic Builder*).

A ferramenta *Vijeo-Designer* foi utilizada para programar a IHM da MR. Foram desenvolvidas as telas apresentadas na Fig. 11, que permitem visualização do estado atual de cada subsistema da MR.

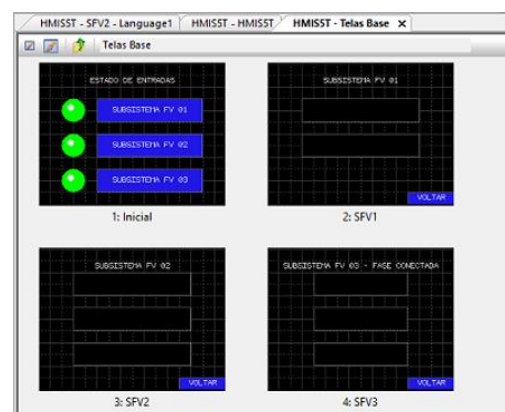


Fig. 11 Telas criadas para a IHM no *Vijeo-Designer*.

Com a programação do CLP e da IHM concluídas, foi realizado o desenvolvimento do SCADA LabREI em si. O Elipse Power possui um recurso que permite a modelagem de sistemas elétricos no próprio software, facilitando a configuração de componentes e a criação das telas do supervisor. Toda a MR foi modelada, como mostrada na Fig.12, possuindo como base o diagrama unifilar de cada subsistema, além de incluir elementos adicionais para auxiliar no entendimento de cada SFV, tornando sua visualização mais didática. Neste modelador elétrico, os disjuntores que acionam circuitos de força foram representados como chaves seccionadoras; as CMMs, que acionam os subsistemas, foram representadas como disjuntores.

Após a modelagem da MR, foi realizada a importação e a configuração dos elementos da MR. O Elipse Power permite a configuração de cada elemento inserido no modelador elétrico em uma guia separada. Após a importação, foi realizada a configuração dos estados das CMMs (aberto ou fechado), seus comandos (que saídas serão acionadas quando a CMM for fechada a partir do supervisor) e os intertravamentos (por exemplo, para o SFV-3, evitando que duas fases sejam acionadas simultaneamente). Com todos os elementos da MR modelados e configurados, foram desenvolvidas as telas do SCADA LabREI.

Para desenvolver essas telas, foi criado um quadro dividido em três seções horizontais, como mostra a Fig.13. A parte superior funciona como uma área de menus, permitindo a navegação para todas as telas do SCADA. A parte inferior mostra os alarmes e eventos ocorridos na operação da MR. Por fim, a parte central exibe a tela atualmente ativa do SCADA.

Além da tela de menus e alarmes, foram criadas seis telas: uma de visão geral, que mostra a MR como um todo e os subsistemas ativos; uma tela para cada subsistema FV, mostrando detalhes como disjuntores, diagramas unifilares e dados de operação, como tensão e corrente; uma tela para gráficos, onde dados do analisador de energia são registrados no BD da MR e exibidos; e uma tela para pesquisa de histórico de alarmes.

A tela de gráficos foi criada utilizando um segundo quadro com duas divisões verticais: uma para selecionar a grandeza a ser exibida (Fig. 14) e a outra mostra o gráfico com os valores das grandezas (Fig.15). A tela de menu dos gráficos possui 7 botões principais: Tensão trifásica (em V), Tensão monofásica (em V), Corrente (em A), Potência aparente (em VA), Potência Ativa (em W), Potência Reativa (em kvar) e Estado da bateria (%).

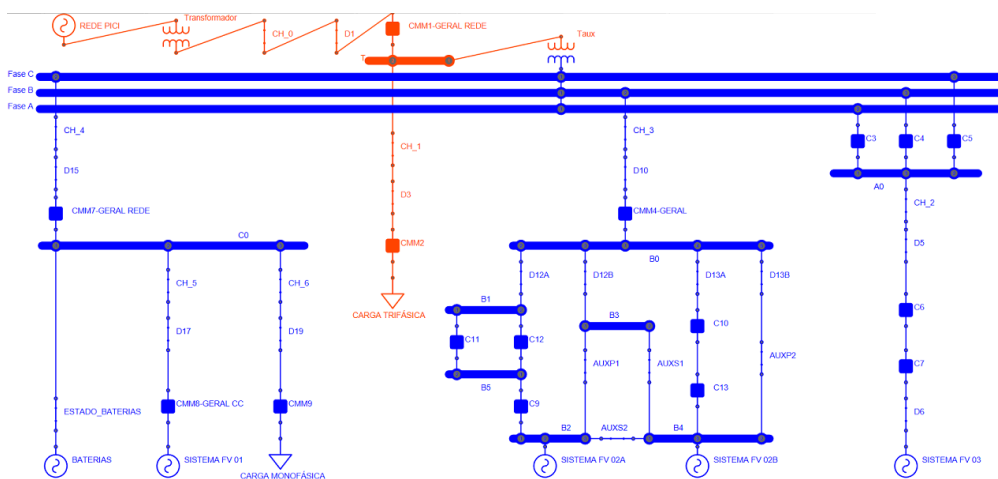


Fig. 12 – MR desenvolvida no modelador elétrico do EP.

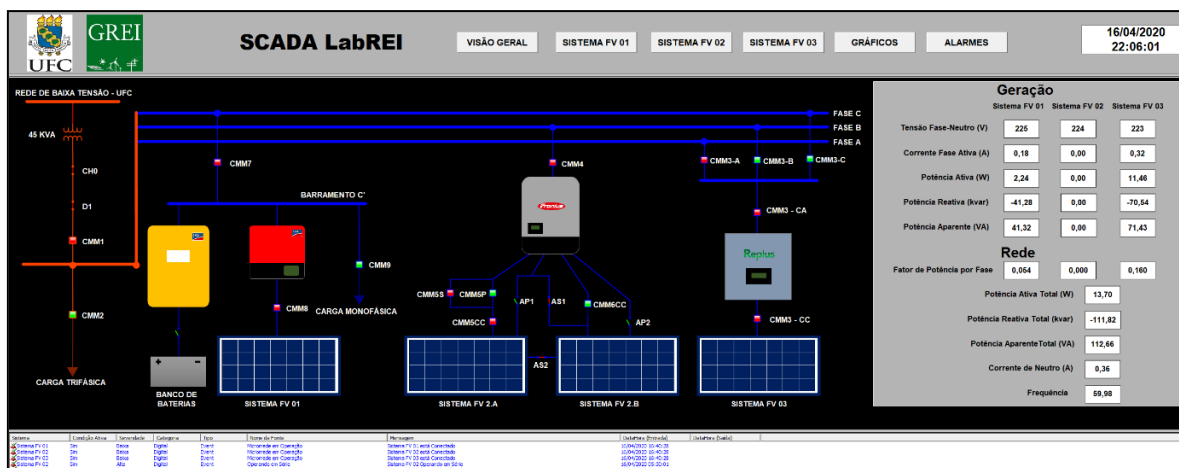


Fig. 13 Tela Inicial do SCADA LabREI.

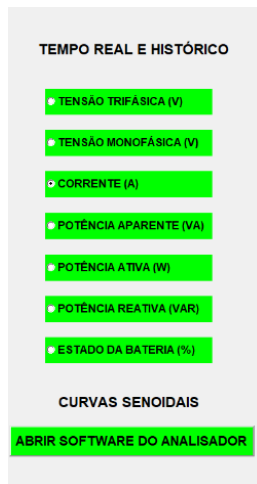


Fig. 14 Opções do menu da Tela de gráficos.

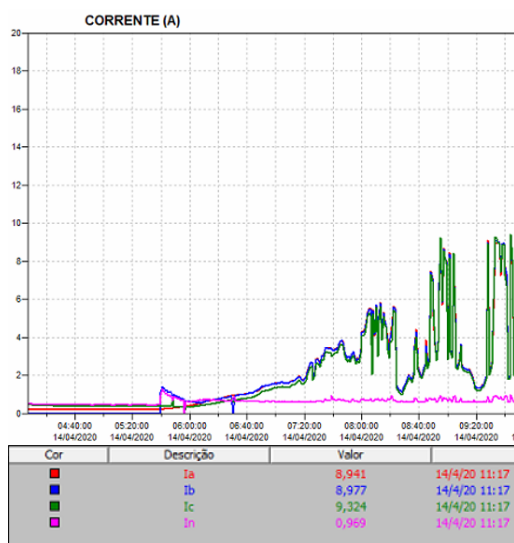


Fig. 15 Área gráfica da Tela de gráficos.

Os dados do analisador de energia e os alarmes e eventos do supervisor são registrados em um BD criado no software Microsoft SQL Server 2017 Express, uma versão que permite armazenamento gratuito de até 10 GB de dados. Após a criação do BD no SQL Server, foi realizada a comunicação entre o SCADA e o banco no Elipse Power. A configuração dos dados registrados, além do intervalo entre os registros, também foi realizada no próprio Elipse Power.

4. RESULTADOS DO DESENVOLVIMENTO

Após a criação de todas as telas necessárias para o SCADA LabREI, a aplicação foi colocada em execução. A tela inicial executada será a de visão geral, e os subsistemas FV são acionados no modo padrão de funcionamento, apresentado na Fig. 16, que consiste na operação em modo *on-grid* dos três subsistemas da MR conectados à rede de distribuição. Em caso de falta de energia, o SFV-1 desliga momentaneamente e entra no modo *off-grid*, onde o inversor SI se isola da rede de distribuição e forma uma rede ilhada para que o inversor *on-grid* volte a operar normalmente até o retorno da rede. Dependendo da solicitação da carga, o banco de baterias também pode ser acionado no modo *off-grid*.

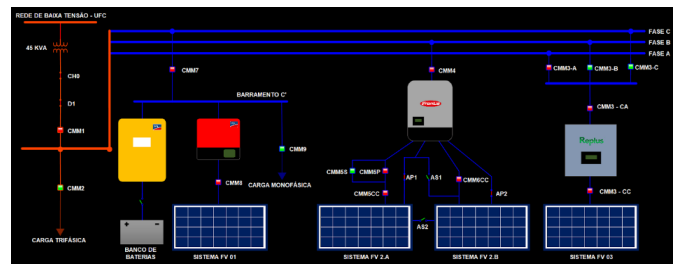


Fig. 16 Modo de funcionamento padrão da MR

Para comprovar o funcionamento da coleta de dados do SCADA pelo analisador e do registro das informações pelo BD, os subsistemas foram acionados de acordo com o seu funcionamento, e os valores coletados registrados nas telas de gráficos, mais precisamente pelos gráficos de corrente (que mostra os subsistemas em funcionamento) e potência ativa (que mostra se o subsistema está fornecendo ou não energia à rede de distribuição).

A Fig. 17 mostra os gráficos dos dois modos de operação do SFV-1. Nela, é possível verificar o momento em que o subsistema passa do modo *on-grid* para *off-grid*, quando há o desligamento momentâneo da carga por 20 segundos, tempo que o inversor SI leva para formar a rede de *backup*. Percebe-se também que os parâmetros da carga continuam sendo monitorados durante este modo. Após o restabelecimento da rede, ocorre um pequeno intervalo de transitório, no qual o inversor SI transfere a alimentação do SFV-1 de volta para a rede de distribuição (momento no qual pode ocorrer picos de corrente). Após esse período, a geração volta a atingir os valores do modo *on-grid*.

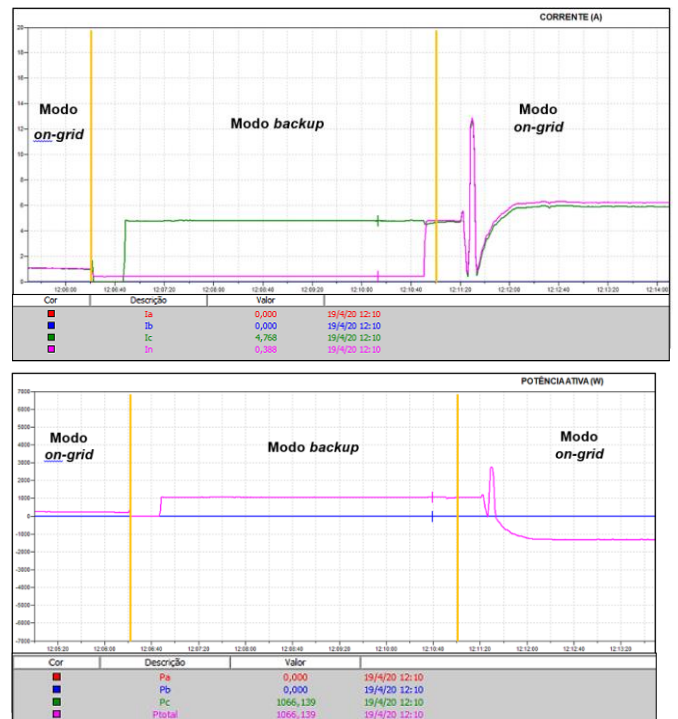


Fig. 17 Gráfico de corrente e potência ativa do SFV-1.

A Fig. 18 mostra os gráficos da operação do SFV-2 nas três configurações possíveis. Neles, é possível perceber que a geração (corrente e potência) do subsistema na configuração

com apenas uma das *strings* (A ou B) é aproximadamente a metade da gerada nas outras duas configurações. A transição entre os modos reinicia o inversor deste subsistema (Fronius) para evitar conflitos de intertravamento.

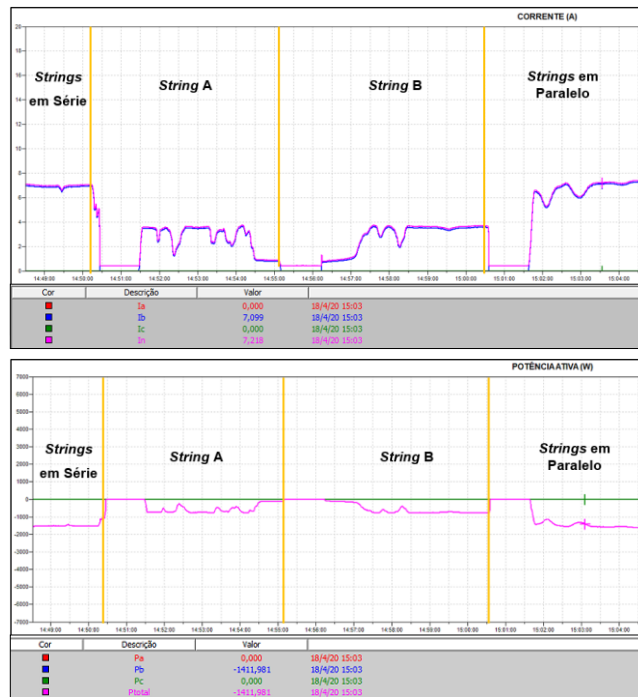


Fig. 18 Gráfico de corrente e potência ativa do SFV-2.

A Fig.19 mostra os gráficos da operação do SFV-3 em cada uma das fases. Neles, é possível verificar que a geração atual do subsistema (corrente e potência) é totalmente transferida à fase selecionada, e a comutação de fase é quase imperceptível à rede.

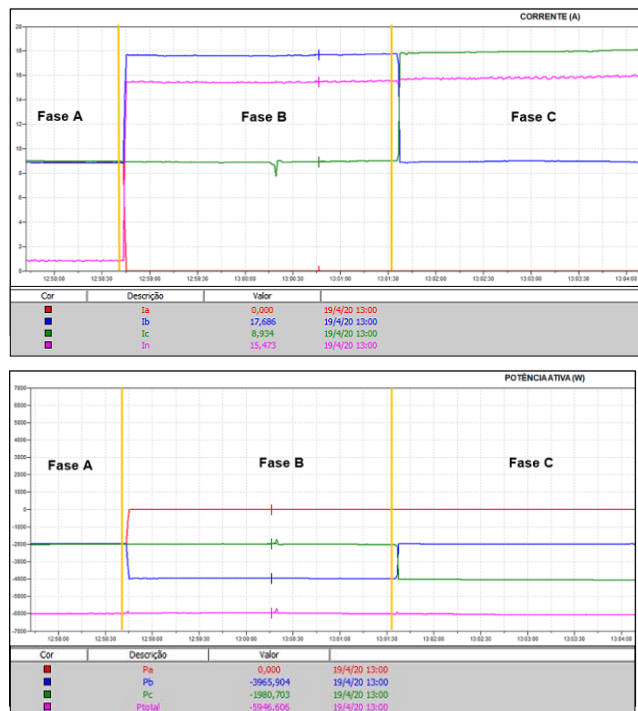


Fig. 19 Gráfico de corrente e potência ativa do SFV-3.

5. CONCLUSÕES

Um sistema de supervisão, controle e aquisição de dados foi desenvolvido para a microrrede (MR) universitária instalada no Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes da Universidade Federal do Ceará. O sistema SCADA desenvolvido permitiu o monitoramento e o comando remoto dos subsistemas da MR, e a visualização de informações de grandezas como corrente, tensão, potência ativa, reativa e aparente, estado das chaves e alarmes.

Para comunicação dos equipamentos do sistema supervísório, como CLP, IHM, analisador de qualidade de energia, inversor, computador onde está instalado o supervísório e o roteador de acesso à internet do LabREI, foi utilizado o protocolo TCP/IP por ser um protocolo muito utilizado e todos os equipamentos citados são compatíveis com este protocolo. Telas foram criadas, que permitem a visualização geral da MR com imagens dos inversores, dos módulos fotovoltaicos e das baterias, a visualização de cada subsistema da MR (SFV-1, SFV-2 e SFV-3) e a tela de alarmes, que mostra os principais eventos ocorridos na MR.

Vários testes foram realizados para comprovação da operação adequada do sistema supervísório. Os testes realizados e a obtenção de gráficos demonstraram o funcionamento adequado dos registros armazenados no BD da MR. Os gráficos mostram a forma como cada subsistema se comporta, bem como quando os subsistemas estão fornecendo energia à rede principal.

REFERÊNCIAS

- Carneiro, A.V. *Projeto, desenvolvimento e implementação de microrrede em campus universitário com tecnologia solar fotovoltaica e de armazenamento*. Dissertação – UFC, 2017.
- Chen, Y., Pei, W. *Design and implementation of SCADA system for micro-grid*. *Information Technology Journal*, 12 (24): 8049-8057, 2013. DOI: 10.3923/ij.2013.8049.8057. 2013.
- Coelho, M. *Apostila de sistemas supervísórios*. IFSP – Campus Cubatão, 2017.
- Date, C. J. *Introdução a sistemas de banco de dados*. 8ª ed., Rio de Janeiro, RJ: Editora Elsevier, 2003.
- Krueger, M. *The pros and cons of microgrids*. Pacific Data Integration, acessado em 20/06/2020 (<https://www.pacificdataintegrators.com/insights/microgrid-pros-and-cons>)
- Oliveira, G.A. *Microrredes em mercados de energia elétrica*. Dissertação – UFSC, 2017.
- Ribeiro, J. C. C. R. *Desenvolvimento de sistema de gerenciamento, supervisão, controle e aquisição de dados da microrrede universitária do Campus do Pici – UFC*. Dissertação – UFC, 2020.