

DESENVOLVIMENTO DE SUPERVISÓRIO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE UMA MICRORREDE

Jose Cleison Cassiano Ribeiro (UFC) - cleisoncassiano@hotmail.com

Ruth Pastora Saraiva Leao (UFC) - rleao@dee.ufc.br

Raimundo Furtado Samoio (UFC) - rfurtado@dee.ufc.br

Resumo:

As mini e micro gerações têm influenciado no planejamento e operação dos sistemas de distribuição de energia elétrica. O crescimento da geração distribuída demanda um reordenamento na operação das redes de distribuição e o desenvolvimento de microrredes surgem como soluções práticas para a integração em larga escala da geração distribuída. As microrredes são sistemas elétricos de pequeno porte, constituídas de fontes baseadas em recursos renováveis e não renováveis, cargas locais controláveis e dispositivos de armazenamento de energia, dotadas de um sistema de controle e gerenciamento. O objetivo deste artigo é apresentar o sistema de automação e supervisão de uma microrrede acadêmica instalada na Universidade Federal do Ceará. A microrrede é composta por três sistemas solar fotovoltaicos monofásicos de 2 kWp cada, um conjunto de baterias de 579 kW e cargas monofásicas e trifásicas. Um dos sistemas PV é capaz de operar nos modos de operação conectado e desconectado da rede principal e os demais somente operam conectados à rede. Na automação da MR foi usado um CLP e aplicado um sistema SCADA comercial, permitindo a supervisão, controle e gerenciamento da microrrede. Testes realizados com o sistema supervisório demonstraram a eficácia do supervisório e do sistema de comunicação entre os componentes da microrrede.

Palavras-chave: *Automação, Microrrede, SCADA.*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Controle e monitoramento de sistemas fotovoltaicos*

DESENVOLVIMENTO DE SUPERVISÓRIO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE UMA MICRORREDE

Jose Cleison Cassiano Ribeiro¹ – cleisoncassiano@hotmail.com

Ruth Pastora Saraiva Leão¹ – rleao@dee.ufc.br

Raimundo Furtado Sampaio¹ – rfurtado@dee.ufc.br

¹Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. As mini e micro gerações têm influenciado no planejamento e operação dos sistemas de distribuição de energia elétrica. O crescimento da geração distribuída demanda um reordenamento na operação das redes de distribuição e o desenvolvimento de microrredes surgem como soluções práticas para a integração em larga escala da geração distribuída. As microrredes são sistemas elétricos de pequeno porte, constituídas de fontes baseadas em recursos renováveis e não renováveis, cargas locais controláveis e dispositivos de armazenamento de energia, dotadas de um sistema de controle e gerenciamento. O objetivo deste artigo é apresentar o sistema de automação e supervisão de uma microrrede acadêmica instalada na Universidade Federal do Ceará. A microrrede é composta por três sistemas solar fotovoltaicos monofásicos de 2 kWp cada, um conjunto de baterias de 579 kW e cargas monofásicas e trifásicas. Um dos sistemas PV é capaz de operar nos modos de operação conectado e desconectado da rede principal e os demais somente operam conectados à rede. Na automação da MR foi usado um CLP e aplicado um sistema SCADA comercial, permitindo a supervisão, controle e gerenciamento da microrrede. Testes realizados com o sistema supervisório demonstraram a eficácia do supervisório e do sistema de comunicação entre os componentes da microrrede.

Palavras-chave: Automação, Microrrede, SCADA.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados da Enerdata (2019), o consumo global de energia elétrica apresentou taxa de crescimento superior a 3,5% em relação a 2018. Devido os impactos negativos ao meio ambiente causados pelos combustíveis fósseis, fontes renováveis de energia estão sendo cada vez mais exploradas em muitos países para geração de eletricidade. As fontes renováveis tipo eólica e principalmente solar fotovoltaica (FV) têm sido disseminadas em sistemas de distribuição de média e baixa tensão, trazendo benefícios como atendimento ao crescimento da demanda local/regional, geração de eletricidade limpa, renovável e sustentável, sem emissões de gases de efeito estufa, sem resíduos e sem ruído, operação sem necessidade de água, aliviando a pressão sobre os recursos hídricos escassos (Absolar, 2020), redução de perdas no transporte de energia, postergação de investimentos e aumento da confiabilidade do suprimento. No entanto, a disseminação de fontes cria um sistema elétrico mais descentralizado e altera a dinâmica tradicional dos sistemas de distribuição, a exemplo de um fluxo unidirecional de corrente em sistemas sem geração distribuída (GD).

O uso generalizado de GDs tem contribuído para o desenvolvimento de microrredes (MRs). As MRs são sistemas de pequena escala, controladas, operadas e monitoradas com sucesso por meio de softwares desenvolvidos, tornando-se mais flexíveis que unidades de geração individuais. Podem integrar as MRs fontes baseadas em recursos energéticos renováveis, geração convencional, dispositivos de armazenamento de energia, cargas e sistema de comunicação. A combinação de fontes renováveis de potência de saída variável associadas a dispositivos armazenadores de energia para modular a variabilidade da geração traz maiores benefícios para a confiabilidade, gerenciamento e proteção das MRs,

As MRs oferecem novas oportunidades de negócio e serviço como suprimento de cargas críticas, energia de *backup* mediante falha na rede principal, resposta rápida à necessidade de aumento de geração, suporte de reativo e controle de tensão, suporte à recomposição de redes de distribuição, sistema de auto inicialização (*blackstart*) etc. (CARNEIRO, 2017), (MARÇAL et al. 2016).

Para os sistemas elétricos de distribuição, as MRs são vistas como uma entidade única controlável, e oferecem flexibilidade para operar conectadas à rede principal (modo *on-grid*), podendo a MR ser uma instalação hospedeira do sistema de distribuição local, e operar de forma autônoma, i.e., desligada da rede de distribuição (modo *off-grid*).

Para garantir confiabilidade e eficiência na operação, uma MR é dotada de um sistema de controle e gerenciamento, com estrutura tipicamente hierárquica de múltiplas camadas, como usado em grandes sistemas de potência. A segmentação do controle em níveis hierárquicos possibilita a combinação de processos com dinâmicas e bandas de frequências distintas, sem prejuízo no controle de cada camada. A ação de controle é executada por um número de controladores trabalhando em diferentes escalas de tempo (ALMEIDA, 2019).

A estrutura de controle hierárquico é normalmente disposta em três principais níveis, quais sejam, primário, secundário e terciário (MENG et al., 2016). O nível primário realiza o controle local de tensão, corrente e potência de cada recurso energético da MR, e os valores de referência dos parâmetros de controle são fornecidos pelos controladores de nível superior. O nível de controle secundário é responsável pela restauração da frequência e tensão bem como a

restauração de desequilíbrio de tensão, além da sincronização, detecção de ilhamento e conexão/desconexão da MR da rede elétrica principal. O nível terciário tem como objetivo gerenciar a troca de energia com a rede principal ou com outras MRs, visando otimizar a operação da MR a partir de méritos de interesses, sobretudo econômicos e de eficiência. Para o gerenciamento, é essencial conhecer a MR, a rede de distribuição à qual ela está conectada e microrredes circunvizinhas. Essa é a camada hierárquica superior de controle de uma MR, que executa as funções de supervisão, controle e aquisição de dados, ou simplesmente SCADA (MENG et al. 2016).

A Fig. 1 ilustra a estrutura de gerenciamento e controle de uma MR. O sistema SCADA é usado para aquisição de dados, monitoramento e controle dos dispositivos (p.ex. disjuntor) e equipamentos da MR, a exemplo de fontes como FV, eólica, célula a combustível (CaC) e sistema de armazenamento de energia e cargas. O SCADA faz uso de uma plataforma computacional, tecnologia de comunicação e tecnologia de automação. Com a aquisição e análise de dados em tempo real, o SCADA pode supervisionar e gerenciar a MR.

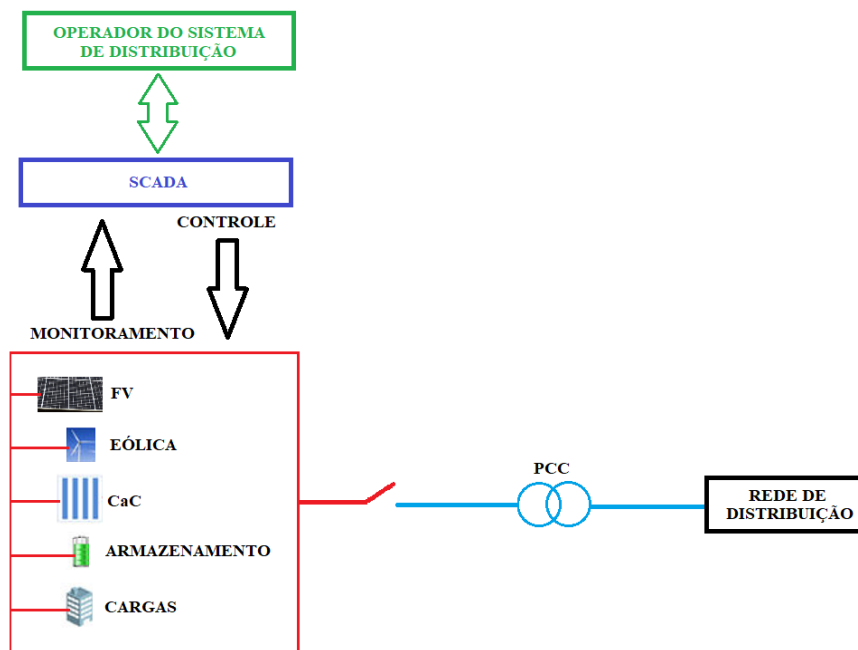


Figura 1 – Estrutura geral do controle terciário de uma microrrede.

O sistema SCADA de uma MR compreende uma estrutura de hardware e software dividida em módulos de processamento local, módulos *gateways* de comunicação e módulo de controle supervísório. O módulo de processamento local é responsável por coletar os dados de operação das fontes, armazenamento de energia e carga e controlá-los. O módulo de comunicação *gateway* é responsável pela troca de informação entre o módulo de processamento local e o módulo de controle supervísório. O módulo de controle supervísório é responsável por análises avançadas e tomadas de decisões complexas para gerar os correspondentes controles para operação do sistema, e normalmente está instalado em computador, como ilustrado na Figura 2 (CHEN et al, 2013), (GIREAUX, 2012).

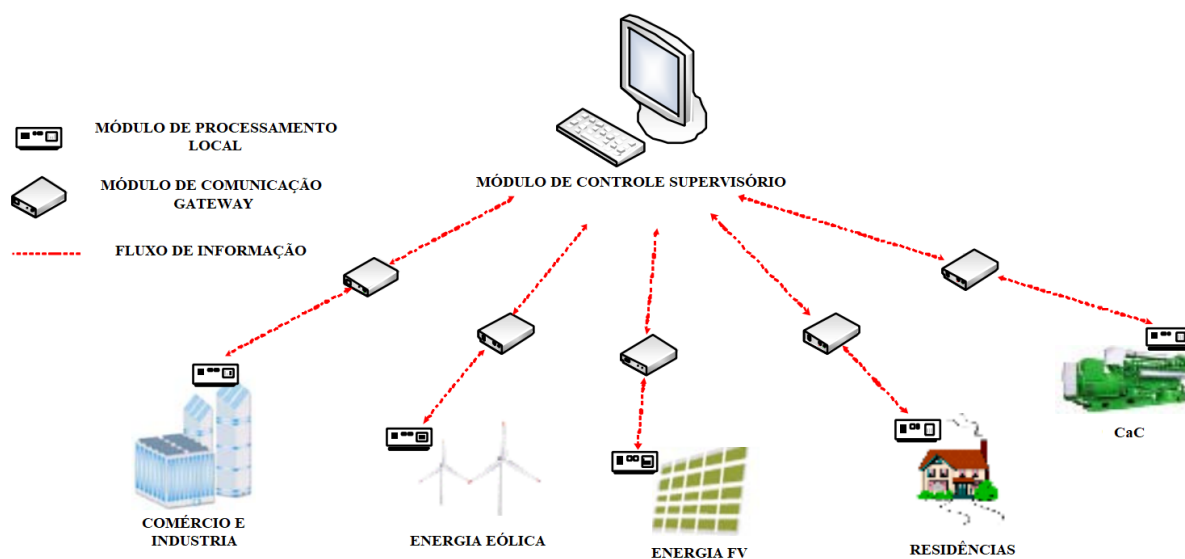


Figura 2 – Arquitetura do sistema SCADA de uma microrrede.

Fonte: Adaptado de Chen et al, 2013.

Periodicamente são coletadas informações do tipo estado *on/off* e dados de operação dos equipamentos da MR, com informações típicas como: estado de carga das baterias (*SoC – State of Charge*), potência consumida pela carga, tensão de saída das GDs, correntes de saída das GDs, corrente de carga/descarga das baterias, tensão do sistema, frequência e estado do disjuntor de ligação da MR com a rede principal.

Segundo Oliveira (2014), ao se realizar a automação de qualquer sistema, é fundamental garantir que os equipamentos utilizados na MR possam permitir acesso às informações desejadas. A automação de uma MR tem como objetivo a preservação da segurança, da eficiência e da confiabilidade do sistema, das conexões existentes e do meio ambiente. O controle de uma MR visa também melhorar a qualidade da energia e benefícios econômicos.

Para assegurar um gerenciamento eficiente de uma MR é necessária infraestrutura de comunicação para coordenar as ações de controle e transmitir os dados coletados às partes interessadas que podem estar alocados em lugares distantes. A arquitetura de comunicação de uma MR está associada à estratégia de controle usada, podendo ser centralizada ou distribuída. Na arquitetura centralizada, controladores locais dos recursos energéticos da MR (inversores) se comunicam em tempo real com um controlador central da MR. A vantagem da arquitetura centralizada é a total observabilidade e controle dos ativos da MR em tempo real. A principal desvantagem é a confiabilidade do sistema de comunicação usado, com baixa tolerância à falha. Por outro lado, na arquitetura distribuída de controle e comunicação os ativos da MR se comunicam diretamente entre si, melhorando a escalabilidade do sistema. Este método é mais imune a falhas locais, entretanto, mais complexo e requer maior capacidade de processamento de cada controlador local, o que consequentemente aumenta o custo do sistema (SALEH et al., 2019).

A arquitetura de comunicação baseada em sistema SCADA é centralizada, com modo de comunicação mestre - escravo / cliente – servidor, com as mensagens iniciadas pelo servidor. O mestre da rede, que pode ser o sistema de supervisão ou um Controlador Lógico Programável (CLP), envia e recebe dados dos escravos que são os inversores de frequência dos recursos energéticos da MR. A comunicação é realizada através de protocolos. A norma IEC 61850-7-420 é referência internacional para comunicação para recursos energéticos distribuídos, e fornece padrões de protocolos a serem utilizados na comunicação. No entanto, o mais popular dos protocolos de comunicação é o Modbus, graças à sua simplicidade e facilidade de implementação, podendo ser utilizado em diversos padrões de meio físico, como: RS-232, RS-485 e Ethernet TCP/IP (Modbus TCP) (Klein, 2016). Ao transmitir dados via TCP / IP, a MR possui uma rede de interconexão unificada, e os componentes do sistema elétrico podem ser monitorados e controlados através da LAN (*Local Area Network*).

Para desenvolver um SCADA eficiente e adequado para uma MR, se fazem necessárias as seguintes condições:

- Instalação de contatos auxiliares que monitorem o estado dos equipamentos e componentes da MR e da rede de distribuição;
- Instalação de equipamentos de comando e manobra remotos (controlador lógico programável – CLP – e contadores);
- Disponibilização de mapas de registradores dos equipamentos a serem monitorados e comandados. Essa informação normalmente é obtida com o fabricante do equipamento;
- É desejável que todos os equipamentos da MR possuam portas de comunicação padronizadas e mais atuais (Ethernet/ fibra óptica);
- Também é desejável que todos os equipamentos possam se integrar através de um mesmo protocolo. Caso isso não seja possível devido à especificidade de um equipamento, se faz necessário o uso de conversores de protocolo para garantir a integração.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e implementação de um sistema SCADA para uma MR universitária que opera em baixa tensão, composta por três sistemas fotovoltaicos monofásicos. Este artigo é organizado em 4 seções. A seção 2 apresenta os componentes da MR e do supervisor desenvolvido. A seção 3 descreve a implementação do sistema supervisor. A seção 4 mostra os resultados dos ensaios realizados a partir do SCADA, e a seção 5 apresenta as conclusões do trabalho.

2. A MICRORREDE DA UFC

O SCADA foi desenvolvido para uma MR instalada no Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A MR é formada 30 módulos fotovoltaicos (FV), no total de 6 kW de geração, divididos em 3 subsistemas monofásicos, de 2 kW cada, operando conectados à rede de distribuição do campus Pici da UFC. Cada subsistema possui uma característica de operação específica. O centro de operação da MR está localizado no Laboratório de Redes Inteligentes (LABREI), no DEE, cujo diagrama unifilar é mostrado na Figura 3. O dimensionamento e a montagem da MR estão descritos em Carneiro (2016).

O subsistema FV 01 (SFV-1) está conectado na fase C da rede de distribuição, e foi projetado com um sistema de *backup*. O SFV-1, além do inversor *on-grid*, possui um inversor que trabalha em modo ilhado (*off-grid*) e um sistema de armazenamento formado por 4 baterias de 579 W cada e autonomia total de 3 horas. O inversor *off-grid* é responsável por suprir a carga prioritária da MR em caso de falta de energia da rede principal e recarregar as baterias quando necessário, sendo capaz de restabelecer a conexão *on-grid* no retorno da alimentação pela rede de distribuição do campus.

O subsistema FV 02 (SFV-2) opera somente no modo *on-grid* e está conectado na fase B. O inversor do subsistema SFV-2 possui duas entradas de *strings* (conjunto de módulos FV). Nesse subsistema, foi instalada uma *string* de 10 módulos em cada entrada do inversor, e as *strings* podem operar em série ou em paralelo. A conexão série é usada

mediante baixa irradiação, para que seja obtido nível de tensão adequado para operação do inversor; caso contrário, as *strings* operam em paralelo.

O subsistema FV 03 (SFV-3) opera também somente no modo *on-grid*, porém foi projetado para permitir a conexão em qualquer uma das fases da rede elétrica. Dessa forma, o SFV-3 pode se conectar na fase que esteja solicitando maior carga durante seu funcionamento ou para aliviar condição de desequilíbrio de carga.

A MR possui ainda dois bancos de cargas resistivas para teste, sendo um trifásico de 6 kW e outro monofásico de 2 kW. Cada banco possui módulos que estão divididos em estágios acionáveis de 200 W cada, permitindo variar a carga a ser testada na MR. O banco monofásico foi projetado para operar como a carga prioritária do SFV-1.

O comando da MR é realizado por contatores e mini relés que permitem o acionamento remoto dos subsistemas da MR. Esses equipamentos são gerenciados por um controlador lógico programável (CLP) que foi programado para acionar os subsistemas da MR conforme ação do supervisor. O protocolo utilizado na comunicação entre o CLP e o SCADA foi o Modbus TCP.

Para monitorar o estado da rede de distribuição onde a MR está conectada, foi instalado um analisador de energia capaz de analisar em tempo real a qualidade da energia no ponto comum de conexão da MR. O supervisor acessa os dados em tempo real do analisador e usa as informações para tomada de decisão. Os dados são registrados em um banco de dados no computador onde o SCADA está instalado.

No diagrama unifilar geral da MR apresentado na Figura 2, as chaves de monitoramento e manobra (CMMs) são botoeiras instaladas no quadro geral da MR para operação manual dos subsistemas, porém essas chaves foram montadas com recursos para operação automática via supervisor.

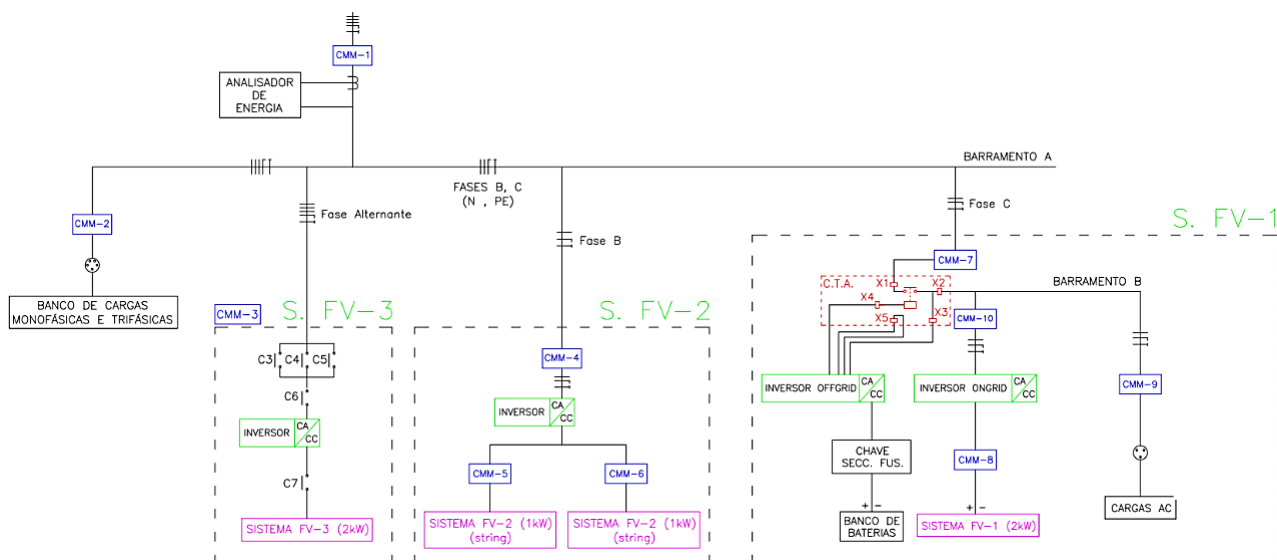


Figura 3 – Diagrama unifilar da MR do DEE (Fonte: adaptada de Carneiro,2016)

3. O SCADA IMPLEMENTADO

Neste trabalho, foi instalado um sistema supervisor para os três subsistemas fotovoltaicos da MR. A Figura 4 mostra o esquema de conexão e comunicação entre a MR e o SCADA. O supervisor monitora os dados dos componentes principais para a automação da MR: o analisador de energia, que irá fornecer os dados no barramento de conexão, o CLP, que monitora e atua os contatores do comando da MR, e o inversor *off-grid*, que monitora o SoC do sistema de armazenamento do SFV-1. O inversor *off-grid* e o analisador monitoram e repassam os dados ao supervisor; o CLP, além de monitorar o estado do subsistema e enviar os dados ao supervisor, também recebe as ordens de comando do operador de acordo com a situação. De modo similar, nos outros subsistemas FVs o CLP executa os comandos do supervisor de acordo com os dados monitorados pelo analisador de energia e segundo comando do operador do sistema.

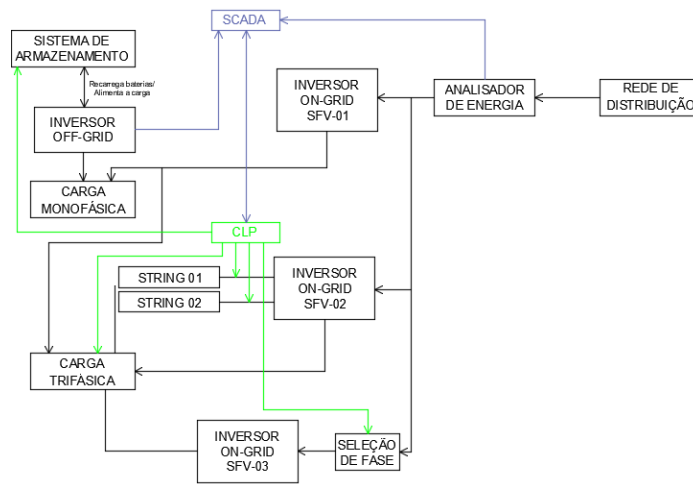


Figura 4 – Diagrama de blocos da conexão e da comunicação entre os principais elementos da MR.

O supervisor foi desenvolvido utilizando a plataforma Elipse Power, da Elipse Software. Todas as CMMs foram representadas no Elipse Power de forma similar ao diagrama unifilar da MR, de forma a facilitar o monitoramento e o acionamento dos subsistemas da MR.

A Figura 5 apresenta a MR em operação no LABREI e a Figura 6 apresenta a tela inicial do SCADA desenvolvido.



Figura 5 – Centro de Operação da Microrrede no LABREI.

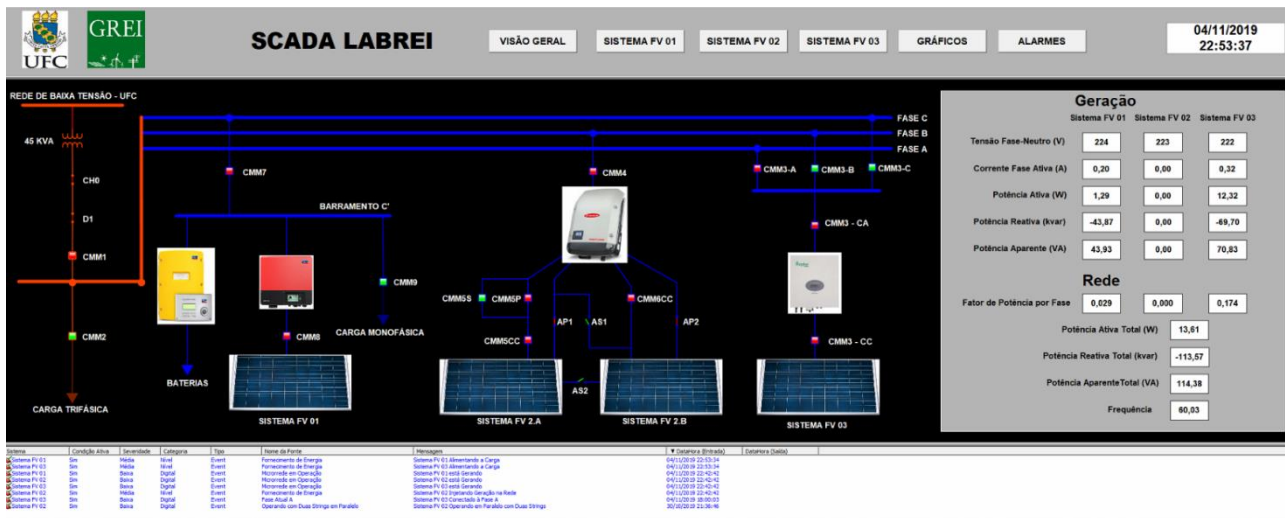


Figura 6 – Tela inicial do SCADA desenvolvido.

Também foi criado um banco de dados para armazenar as informações coletadas pelo SCADA a partir do analisador de energia e do CLP. O banco foi criado utilizando o software Microsoft SQL Server 2017.

4. TESTES COM O SCADA

Após a montagem do sistema supervisor, foram realizados ensaios nos três subsistemas FVs da MR, utilizando o supervisor para acioná-los e monitorá-los, com o intuito de constatar a correta operação do SCADA da MR. Esses ensaios consistiram em simular cenários de operação da MR. Em cada cenário, foram verificados os comportamentos da corrente no circuito do subsistema. Para isso, também foi desenvolvido no SCADA uma tela de gráficos, que permite o monitoramento dessas grandezas na rede de distribuição.

4.1 Ensaios do SFV-1

Os cenários realizados nos testes do SFV-1 com o supervisor foram:

- Operação no modo *on-grid*: este cenário visa a visualização dos parâmetros da operação do SFV-1 no SCADA;
- Abertura da CMM geral do subsistema, para forçar a transição do modo *on-grid* para *off-grid*: a abertura da chave geral do SFV-1 ativa a proteção anti-ilhamento do inversor *on-grid*, desenergizando momentaneamente a carga;
- Carga atendida pelo banco de baterias com ausência de geração FV: esse cenário ocorre enquanto o inversor *on-grid* reinicia a geração, caso os módulos deste subsistema estejam gerando no momento;
- Carga atendida pelo banco de baterias com a geração FV: após a sincronização do inversor *on-grid*, espera-se que a carga não sinta nenhuma variação visível de tensão ou corrente;
- Fechamento da CMM geral do subsistema, sincronizando o inversor *on-grid* com a rede de distribuição: neste cenário, espera-se que a carga volte a ser alimentada pela rede sem desligamento da carga prioritária.

Os resultados das simulações de cenários são mostrados na Figura 7. Cada número corresponde a um dos cenários ensaiados no subsistema.

É possível verificar a operação do SFV-1 atendendo a carga prioritária (banco monofásico) no modo *on-grid* (cenário 1), com valores de corrente variando devido a variações de irradiação na presença de nuvens.

Após o fechamento da chave (cenário 2), a proteção de ilhamento do inversor *on-grid* desliga momentaneamente o subsistema. Dessa forma, os valores de corrente permanecem em zero até o inversor *off-grid* acionar o banco de baterias.

Nos cenários 3 e 4, não é perceptível a diferença nos valores de corrente quando a carga é atendida pelas baterias na operação *off-grid* ou pelo inversor *on-grid*. Isso é esperado, pois o sistema supervisor coleta dados obtidos do analisador de energia, e, no modo *off-grid*, a corrente lida pelo analisador é a corrente da carga monofásica, significando que a carga não percebe a diferença quando o mesmo está sendo alimentado pelas baterias ou pelo inversor *on-grid*.

Finalmente, após a chave geral ser religada (cenário 5), o inversor *off-grid* reconecta o SFV-1 à rede de distribuição. Percebe-se que não há desligamento da carga no retorno à rede de distribuição, constatando o comportamento de operação do inversor *off-grid*.



Figura 7 – Corrente na fase durante os ensaios no SFV-1.

4.2 Ensaios do SFV-2

Os ensaios realizados nos testes do subsistema SFV-2 com o supervisor foram:

- Comutação de *strings* (em série, com apenas uma *string* e com as duas *strings* em paralelo);
- Usar apenas uma *string* para compensar uma determinada carga e na sequência, dobrar a carga inicial;

- Usar as duas *strings* em paralelo para compensar as mesmas cargas do cenário 2.

Os resultados dos ensaios são mostrados na Fig. 8. No cenário 1, constata-se a nítida mudança nos modos de operação em série (a), com uma *string* (b) e com *strings* em paralelo (c). Como o SFV-2 opera apenas no modo *on-grid*, ele reinicia na ausência temporária de energia que ocorre durante o chaveamento das strings deste subsistema, e o equipamento leva algum tempo para sincronizar novamente com a rede de distribuição. Percebe-se ainda, nesse cenário, que a corrente na fase no modo de operação de uma *string* é aproximadamente a metade da operação com duas *strings*, comportamento esperado para operação do subsistema.

Nos cenários 2 e 3, percebe-se uma variação da corrente total da fase quando a carga é dobrada. No cenário 2, como a geração de uma *string* já estava compensando quase totalmente a carga na fase, dobrar a carga levou a rede de distribuição a contribuir para alimentar a carga. Já no cenário 3, ao adicionar a segunda *string* quando a carga é dobrada, a corrente retorna a valores semelhantes de quando uma *string* estava compensando a carga original.

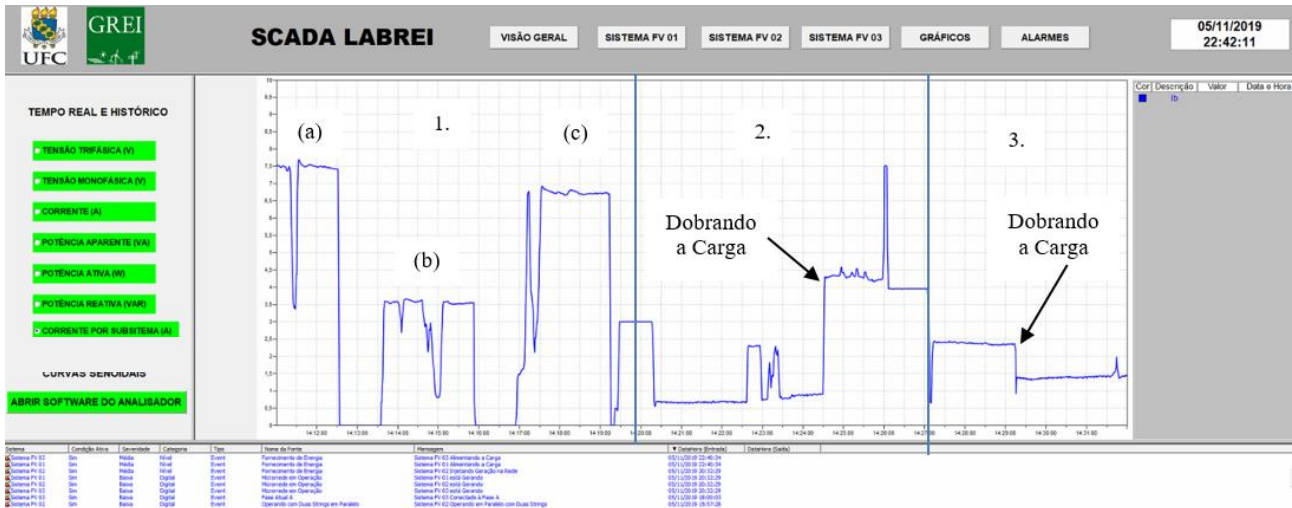


Figura 8 – Corrente na fase durante os ensaios no SFV-2.

4.3 Ensaios do SFV-3

Os ensaios realizados no SFV-3 com o supervisor foram os seguintes:

- MR alimentando carga trifásica sem geração FV;
- Inserção da carga monofásica ao cenário 1;
- Compensar a carga adicional do cenário 2 deste subsistema;
- Inserir o SFV-3 em cada fase.

Os resultados dos ensaios são mostrados na Fig. 9. No cenário 1, as cargas são equilibradas, comprovado pelo valor de corrente de neutro ser quase zero. No entanto, no cenário 2, o acréscimo da carga desequilibra o carregamento entre as fases, e, por isso, o neutro tem a forma da corrente equivalente à carga adicionada. Esse desequilíbrio é atenuado com a inserção da geração do SFV-3 nesta fase no cenário 3, compensando quase totalmente o consumo da carga adicional.

O cenário 4 verifica a comutação do SFV-3 nas três fases (a, b e c). É possível verificar que a geração do subsistema está compensando o consumo da fase onde ela se encontra conectada.

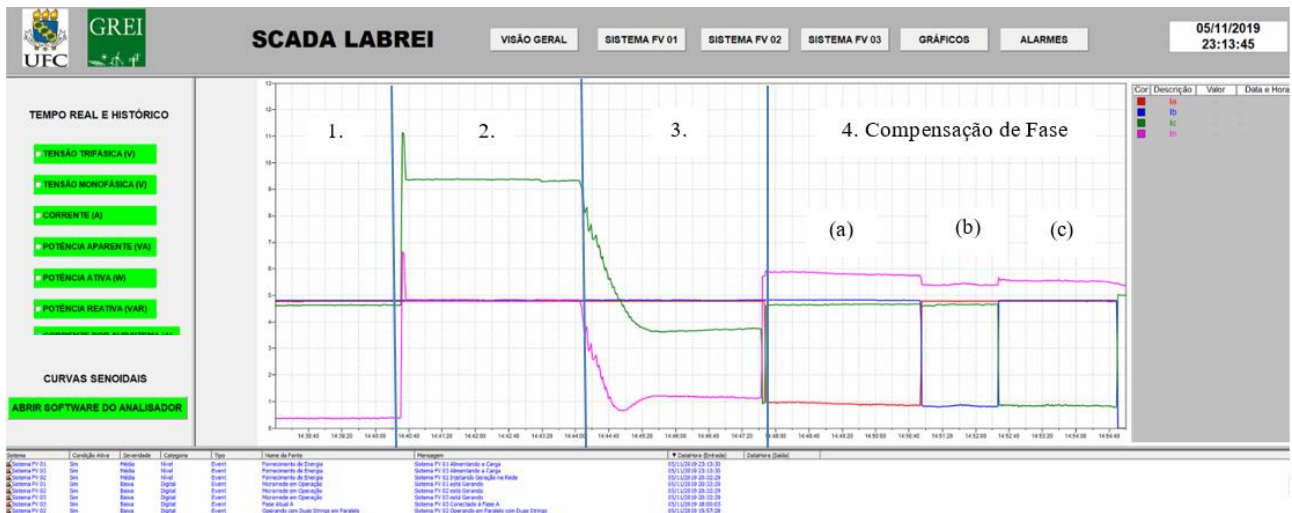


Figura 9 – Corrente na fase durante os ensaios no SFV-3.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados os sistemas de automação e supervisor de uma microrrede universitária, que opera em baixa tensão. Vários testes foram realizados em cada um dos subsistemas que formam a microrrede. Com os resultados dos ensaios, pode-se constatar a operação correta do sistema supervisor implementado em controlar, monitorar e coletar dados dos três subsistemas da MR estudada neste trabalho. O supervisor permite visualizar o estado dos principais componentes da microrrede e auxiliar na tomada de decisão do operador da MR em situações como compensação de fase mais carregada, e, por exemplo, quando suprir cargas prioritárias pelo sistema de armazenamento.

Com base nesses ensaios, constatou-se a eficiência da comunicação e da coleta dos dados dos componentes da MR, transmitindo em tela os dados obtidos conforme o comportamento do subsistema. Além disso, o acionamento dos modos de operação da microrrede (conectado à rede e ilhado no SFV-1, seleção de uma ou duas strings no SFV-2 e seleção de fase no SFV-3) através do SCADA, também se mostrou satisfatório, pois se comportaram como projetado. Constata-se ainda que o supervisor consegue monitorar o ponto de conexão com a rede de distribuição a partir do analisador com muita precisão, constatando o bom desempenho desse supervisor.

Com os resultados satisfatórios obtidos, o supervisor se prova eficiente no controle e monitoramento da MR do Campus do Pici, permitindo novas pesquisas no segmento das microrredes dentro da universidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro provido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e o apoio dado pela empresa Elipse Software durante o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- Absolar, Infográfico Absolar. Disponível em <http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>. Acessado em fevereiro, 2020.
- Carneiro, A.V., 2017. Projeto, Desenvolvimento e Implementação de Microrrede em Campus Universitário com Tecnologia Solar Fotovoltaica e de Armazenamento, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Chen, Y.; Pei, W. Design and Implementation of SCADA System for Micro-grid. *Information Technology Journal*, 12 (24): 8049-8057, 2013. DOI: 10.3923/itj.2013.8049.8057.
- Enerdata, 2019. Global Energy Statistical Yearbook 2019. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>. Acessado em novembro, 2019.
- Giroux, T.S., 2012. Automação de subestações utilizando a norma IEC 61850 – estudo de caso da subestação do Campus do Pici (69-13,8 kV), Trabalho Final de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Klein, R.S., 2016. Automatização e supervisão de microgrid baseada em energias renováveis, Trabalho Final de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Marçal, F.A.A.R.; Leão, R.P.S.; Almada, J.B.; Sampaio, R.F.; Rocha, J.E.; Barroso, G.C.; Antunes, F.L.M. Multi-agent Systems Applied for Restoration of Power Networks Supported by Micro Grids In: *International Conference on Industry Applications*, 2016, Curitiba. 12th IEEE/IAS Induscon, 2016. p.1 – 7.
- Meng, L., Sanseverino, E.R., Luna, A., Dragicevic, T., Vasquez, J.C., Guerrero, J.M., 2016. Microgrid supervisory controllers and energy management systems: A literature review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60, p.1263-1273.
- Oliveira, R.C., 2014. Estudo para aplicação de um sistema de automação para a microrrede do Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes, Trabalho Final de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Saleh, M.; Esa, Y.; Hariri, M.El; Mohamed, A. Impact of Information and Communication Technology Limitations on Microgrid Operation. *Energies* 2019, 12, 2926; doi:10.3390/en12152926.

SUPERVISORY DEVELOPMENT FOR MICROGRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Abstract. *Mini and micro generations have affected the planning and operation of power distribution systems. The growth of distributed generation demands a change in the operation of distribution networks and the development of microgrids appear as practical solutions for the large-scale integration of distributed generation. Microgrids are small electrical systems, consisting of renewable and non-renewable resources, controllable local loads and energy storage devices, equipped with a control and management system. The purpose of this paper is to present the automation and supervision system of an academic microgrid installed at the Federal University do Ceará. The microgrid is made up of three single phase photovoltaic systems of 2 kWp each, a battery pack of 579 kW and single-phase and three-phase loads. One of the PV systems is capable of operating in both grid-connected and off-grid modes while the others operate only grid-connected. In the automation of the microgrid, a PLC was used and a commercial SCADA system was applied, allowing the control, management and supervision of the microgrid. Tests carried out with the supervisory system demonstrated the effectiveness of the supervisory system and the communication between the components of microgrid.*

Key words: *Automation, Microgrid, SCADA.*