

## Digitalização do setor elétrico

Por Julio Omori\*

# Capítulo IV

## A digitalização de recursos energéticos distribuídos e demais elementos da indústria 4.0

### A REVOLUÇÃO NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

A maior mudança que o sistema elétrico tem sofrido é devido à conexão em larga escala dos Recursos Energéticos Distribuídos, os chamados REDs. Este termo tem origem no inglês DER – Distributed Energy Resources e é definido como tecnologias de armazenamento ou geração de energia elétrica localizadas na área de concessão de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades de consumo ou atrás do medidor (behind-the-meter). Adicionalmente a esta definição, nos últimos anos, o conceito de resposta à demanda e ao gerenciamento pelo lado da demanda também tem sido integrado aos REDs.

Existe um grande desafio em conectar e operacionalizar a entrada destes recursos principalmente ao sistema de distribuição, pois, dependendo do ponto de conexão, a potência de curto-circuito é baixa, ocasionando potenciais problemas de qualidade da energia e de segurança.

Como foi tratado nos três primeiros capítulos desta série voltada para a digitalização do setor elétrico, este conceito também tem crescido muito durante os últimos anos e pode ser a ferramenta ideal para integrar os REDs aproveitando o máximo benefício possível.

Ainda com relação à transformação digital, é importante estabelecer uma relação com os elementos da Indústria 4.0 e o seu potencial de aplicação no sistema elétrico. Praticamente todas as tecnologias - Internet of Things, Big Data, inteligência artificial, robotização, realidade virtual, sistemas analytics, computação em nuvem, blockchain, segurança cibernética, entre outras – podem ser aplicadas sem restrições.

O segmento de distribuição de energia está, especialmente,

passando por um grande processo de automação com as redes elétricas inteligentes, conforme foi descrito no capítulo 3 deste fascículo. Desta forma, pode-se considerar que está aderente aos conceitos de aplicação de sensores, atuadores e controladores, integrados através de um sistema de comunicação de dados, aderente à Indústria 3.0. A oportunidade que se apresenta é aproveitar o grande desenvolvimento tecnológico da digitalização para aplicar os conceitos da Indústria 4.0 praticamente simultaneamente.

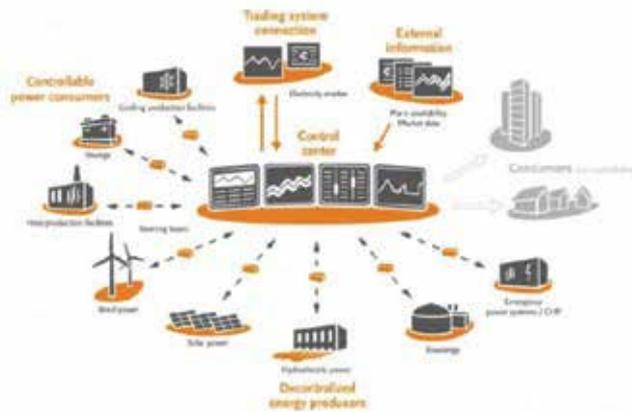
### A DIGITALIZAÇÃO E OS RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS

A geração de energia próxima da carga, que representa uma forma de RED, não é um movimento novo. Os sistemas elétricos de potência nasceram desta forma, com a geração local atendendo também a uma carga local. Com o crescimento dos sistemas de transmissão e a necessidade de interligação, assim como o surgimento de grandes plantas de geração de energia, a geração de pequeno porte perdeu importância. Agora no século XXI, com a facilidade de geração de energia de poucos MWs ou até mesmo KWs e o desenvolvimento tecnológico do controle e proteção digital, além do apelo ambiental pela integração de fontes de energia renováveis, a geração distribuída ganhou um impulso sem precedente.

As variáveis controladas pelo sistema de geração de energia permanecem as mesmas: tensão, frequência, potência ativa e potência reativa. Grande parte das unidades de geração distribuída é concebida para operação em regime de paralelismo permanente com o sistema elétrico, utilizando o grande sistema interligado nacional como barra infinita para recepção desta potência.

Como o controle e a proteção de praticamente todas as novas unidades de geração – incluindo as de pequeno porte – são digitais, existe uma facilidade de integração destes sistemas com sistemas de comunicação de dados e as distribuidoras podem integrar estes recursos, assim como fazem com seus próprios equipamentos de rede como medidores, transformadores, chaves, religadores, reguladores de tensão e sensores.

A Figura 1 ilustra as integrações possíveis de vários recursos energéticos distribuídos e os sistemas de controle já utilizados pelos agentes do setor elétrico.



**Figura 1 – Controle dos recursos energéticos distribuídos.**  
Fonte: emsysvpp.

**Geração distribuída: de um problema a uma solução**

O Sistema Elétrico de Potência não foi idealizado para que a geração de energia seja maior que a carga nos segmentos de mais baixa potência, como o de distribuição. Nesta condição, o fluxo de potência passa a ser invertido, indo na direção da carga ao sistema elétrico.

Esta inversão no fluxo de potência pode acarretar problemas para o sistema elétrico como, por exemplo, sobretensão, descoordenação da proteção, dificuldade para previsão da demanda e energia, elevação da complexidade para operação, possibilidade de ilhamento não intencional, entre outros.

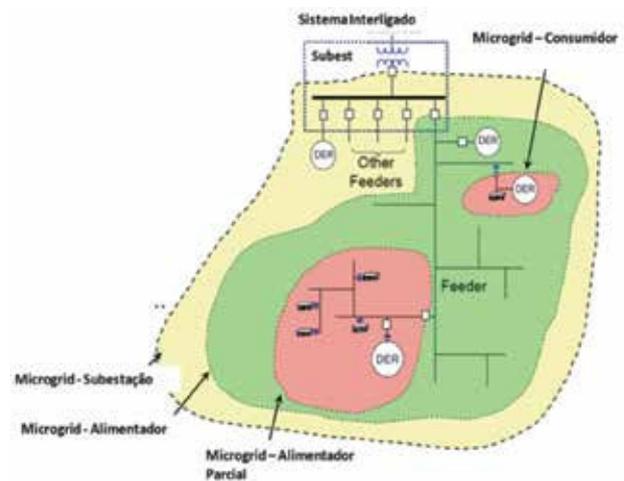
Por outro lado, a geração de energia próxima da carga pode acarretar os seguintes benefícios: postergação de investimentos pela redução da carga, melhoria da qualidade da energia se for possível executar ilhamento entre a geração e parte dos consumidores, redução de perdas técnicas quando ocorre a redução da carga, aumento da eficiência energética, entre outros.

Avaliando esta condição pode-se concluir que a geração distribuída pode ser um problema ou uma solução, o que depende do local, da quantidade e da forma como esta geração pode ser controlada. Com a digitalização e a possibilidade de integração dos sistemas de controle dos agentes do setor elétrico com os REDs, o aumento da observação e do controle pode potencializar os benefícios para o sistema e a mitigação dos problemas.

Uma das formas de controle é o despacho das unidades de

geração e armazenamento de energia distribuídos. A limitação ou liberação de potência ativa, a mudança no ajuste do fator de potência para proporcionar o controle de tensão ou redução de perdas, a sustentação da geração mesmo com oscilações na rede e a mudança nos ajustes de controle e proteção remotamente para proporcionar a operação ilhada são exemplos de possibilidades de modalidades de despacho da geração para auxiliar a operação do sistema elétrico .

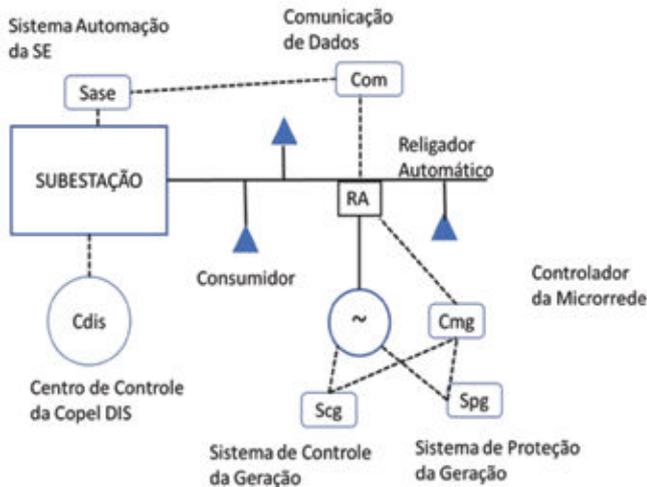
Outra forma de controle dos REDs é a aplicação do conceito de microrredes, que é um conjunto de ativos de geração, ou armazenamento de energia, que pode operar em paralelo ou isolado do sistema elétrico. A Figura 2 ilustra as possibilidades de configuração das microrredes, que pode ser interna, abranger parte de um ramal, um alimentador integral ou até mesmo uma subestação de carga.



**Figura 2 – Possibilidades de configuração das microrredes.**

Em 2021, a Companhia Paranaense de Energia (Copel) realizou uma Chamada Pública para compra de energia proveniente de acessantes de geração distribuída para constituição de microrredes e, principalmente, poder estabelecer um ilhamento intencional, e com isso atingir melhoria significativa dos indicadores de qualidade de energia (DEC e FEC). Esta iniciativa demonstra a importância da digitalização no controle dos ativos que compõem a microrrede. Como pode-se verificar na Figura 3, para que uma microrrede possa operar com segurança se faz necessária uma integração completa entre os sistemas de controle e automação da empresa distribuidora, que deve isolar o trecho defeituoso de forma automática e sinalizar para o controlador da microrrede (cmg) que o sistema de distribuição está preparado para ser atendido através dos recursos energéticos distribuídos locais. Para proporcionar a mudança dos parâmetros de controle e proteção das unidades geradoras para operação ilhada, o controlador da microrrede deve interagir com o Sistema de Controle de Geração (Scg) e o Sistema de Proteção da Geração (Spg), estabelecendo mudança de ajustes

para que as malhas de controle possam buscar o controle de tensão e de frequência diretamente.



**Figura 3 – Controle e supervisão dos ativos que compõem uma microrrede.**

A operação de uma microrrede é um exemplo da importância da digitalização aplicada à geração distribuída, armazenamento e controle de cargas. A implantação deste conceito proporciona uma mudança disruptiva na operação dos sistemas elétricos de potência, que terão parte dos seus ativos conectados ou desconectados de forma dinâmica em benefício dos consumidores e do próprio sistema elétrico, uma amostra da revolução que se aproxima.

Da mesma forma que as microrredes, o conceito das Plantas Virtuais de Geração de Energia (Virtual Power Plants), que considera o somatório dos recursos energéticos distribuídos como uma grande planta de geração de energia, neste caso, virtual, pois não existe fisicamente, mas que pode ser considerada como um grande bloco de potência que pode ser controlado. Com o volume de geração distribuída que o Brasil tem conectado mensalmente em seu sistema elétrico, que é um dos cinco maiores do mundo, existe um grande desafio para evitar efeitos colaterais no sistema de distribuição. Um caminho para evitar os referidos problemas está no controle e no despacho desta geração distribuída, constituindo a filosofia de controle de uma Virtual Power Plant. Existem requisitos regulatórios que precisam ser determinados para que o controle possa ser estabelecido até o menor consumidor com microgeração. A tecnologia já está disponível e podem ser verificados grandes projetos sendo realizados fora do Brasil que utilizam plataformas

como os DERMs (Distributed Energy Resource Management), criando um agente similar ao Operador Nacional do Sistema, que controla o sistema de transmissão e o despacho de grandes usinas para o segmento de distribuição.

### O armazenamento de energia distribuída

O primeiro grande impulso realizado no Brasil para o desenvolvimento do armazenamento de energia aplicado ao sistema elétrico foi realizado pela Chamada de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Estratégico da Aneel número 21, para a avaliação de arranjos técnicos e regulatórios para sistemas de armazenamento de energia. Muitos projetos que continham sistema de pequeno porte (poucos kW e kWh) e de médio porte (MW e MWh) foram desenvolvidos e implantados, demonstrando a possibilidade de utilização desses recursos para otimização da curva de carga, redução de perdas, melhoria do perfil de tensão e ganho de qualidade da energia com a operação como uma segunda fonte de um sistema ininterrupto de fornecimento de energia para uma determinada carga crítica.

Projetos de centenas de MW-MWh têm sido aplicados fora do Brasil, principalmente nos Estados Unidos, demonstrando que é uma tecnologia que veio para contribuir de forma decisiva para a mudança na operação do setor elétrico.

Apesar do êxito verificado na aplicação de plantas de médio porte, os sistemas de pequeno porte também têm sido utilizados de forma significativa. A Figura 4 apresenta um sistema Power Wall da empresa norte-americana Tesla. Este sistema de armazenamento de energia de 14 kWh pode alimentar uma residência típica por até um dia sem a necessidade da rede de energia. Pode ser utilizado também em conjunto com um sistema de geração de energia e estabelecer o carregamento das baterias nos horários e patamares de carga mais adequados.



**Figura 4 – Sistema de armazenamento eletroquímico residencial.**  
 Fonte: Tesla.



ACESSE  
NOSSO  
SITE



# MW TOMADA INTELIGENTE:

UMA NOVA ERA EM SEGURANÇA  
E TECNOLOGIA PARA  
O SETOR ELÉTRICO.

Garantir o controle de utilização de um ponto elétrico somente para profissionais autorizados, e monitorar a qualidade da energia elétrica em tempo real agora é possível.

Não é incrível? Temos um plano ideal para a sua empresa.

## PRINCIPAIS RECURSOS

ANALISADOR DE ENERGIA

DASHBOARD EFICIENTE

BLOQUEIO AUTOMÁTICO GARANTINDO "ENERGIA ZERO" POR FALTA DE ATERRAMENTO, SOBRECARGA, FUGA DE CORRENTE, DETECÇÃO DE FUMAÇA OU POR AQUECIMENTO INTERNO.

CONTROLE DE UTILIZAÇÃO PELO CRACHÁ DO COLABORADOR

HISTÓRICO DE UTILIZAÇÃO

BLOQUEIE REMOTAMENTE DE QUALQUER LUGAR NO MUNDO

## CARACTERÍSTICAS

Polos: **3P + T** ou **2P +T** | Corrente Nominal: **16A, 32A, 65A** ou **125A** | Posição Horária T: **6h** | Tensão Nominal: **220V, 380V** ou **440V** | Grau de Proteção: **IP69** | Frequência de Trabalho: **50/60Hz** | Normas: **EN 60309-1 (1999) - EN 60309-2 (1999) - EN 60309-1/A1 (2007) - EN 60309-2/A1 (2007) - EN 60309-4 (2007) - DIRECTIVE LOW VOLTAGE 2014/35 /UE**



A digitalização pode trazer benefícios tanto para o lado do consumidor, que pode utilizar o armazenamento de energia como um elemento do sistema de gestão energética, como para as distribuidoras que, assim como a geração distribuída, poderiam despachar os sistemas de armazenamento de energia para o benefício do sistema elétrico, sendo o consumidor beneficiado pela remuneração de um serviço ancilar. Os próprios agentes de geração, transmissão e distribuição de energia também estariam aptos para implantar sistemas próprios de armazenamento de energia para melhoria e otimização de suas áreas de concessão.

### **O gerenciamento pelo lado da demanda**

Com os projetos de redes elétricas inteligentes ganhando cada vez mais impulso no Brasil e a digitalização da rede chegando até o consumidor final, a integração desta rede com as cargas do consumidor pode ser efetivada. Por outro lado, conforme foi apresentado no artigo anterior desta série, os consumidores de energia têm adotado cada vez mais o conceito de automação residencial, proporcionando uma possibilidade de controle individual a nível de tomadas de consumo e de pontos de iluminação denominados de dispositivos inteligentes.

Desta forma, estabelecer uma coordenação e controle de parte das cargas dos consumidores por um agente do setor elétrico nunca esteve tão facilitado como atualmente. Neste contexto, o controle da carga em conjunto com a geração e com o armazenamento de energia pelo lado do consumidor podem proporcionar um nível de gestão energética interessante, estabelecendo bases para operação de microrredes mais robustas e obtendo benefícios quando as tarifas forem dinâmicas, binômias dentro de um contexto de mercado livre de energia.

### **O controle dos veículos elétricos**

Os veículos elétricos podem ser considerados uma carga significativa a ser controlada e, desta forma, se encaixar no conceito de gerenciamento pelo lado da demanda, mas também podem ser considerados como um elemento que armazena energia e que poderia naturalmente operar como V2H (Vehical to Home) e alimentar as cargas de uma instalação residencial, e também V2G (Vehical to Grid), alimentando parte do próprio sistema elétrico, ajudando a fortalecer uma determinada microrrede, ou uma usina virtual de energia. Este conceito é ilustrado na Figura 5, em que o Operador da Rede de Distribuição (DSO) é novamente citado como o elemento responsável por operar o sistema elétrico estabelecendo as relações com os veículos elétricos e a rede de recarga, orquestrando todos estes elementos em benefício ao sistema elétrico.



**Figura 5 – Visão da gestão dos veículos elétricos como recursos energéticos distribuídos.**

Novamente, neste contexto, a digitalização é fundamental. Pode-se verificar, na Figura 5, tanto a necessidade de conectividade entre os veículos, eletropostos e o Operador da Rede de Distribuição, bem como os demais sistemas de gestão.

## **ELEMENTOS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA O SEGMENTO DE ENERGIA**

Como foi mencionado, o potencial de aplicação dos elementos da Indústria 4.0 no sistema elétrico é muito elevado. Muitos agentes do setor já têm utilizado várias destas ferramentas, estabelecendo casos de sucesso. O objetivo de ilustrar mais esta oportunidade de utilização da digitalização em benefício ao sistema elétrico de potência é encerrar a série de quatro capítulos, apontando para um mundo de novas oportunidades que o conceito de transformação digital pode trazer com a abordagem de alguns elementos. De forma lógica, o objetivo não é esgotar o assunto.

### ***Analytics e Big Data***

Com um número cada vez maior de dados provenientes da automação de sistemas corporativos, da automação do sistema de operação, dos novos sensores provenientes de projetos de redes elétricas inteligentes e da integração com o consumidor final, a aplicação de sistemas de análise automática destes dados, agregando valor às aplicações (sistemas analytics), e a utilização dos dados para transformar em informações (Big Data) tem ganhado cada vez mais importância na jornada de transformação digital das empresas.

A Figura 6 ilustra esse contexto. Aplicações na área de controle de qualidade, gerenciamento de ativos, combate a perdas, proteção à receita, redução de custos operacionais, melhoria de indicadores de qualidade de energia e comerciais, entre outras, já têm sido utilizadas com êxito.



**Figura 6 – Big Data & Analytics.**

Outra discussão importante é a utilização de sistemas em nuvem para armazenamento dos dados e a utilização cada vez maior de softwares de análise como serviço.

#### **A robótica e o uso de drones**

Um dos principais elementos da indústria 4.0 aplicado às empresas do setor elétrico tem sido a robótica e o uso de drones. A utilização destes dispositivos - como sensores, que podem, além das imagens geradas, também gerar informações sobre as condições térmicas e ambientais dos ativos - atende a uma demanda permanente de gestão dos ativos de geração, transmissão e distribuição de energia.

A utilização de drones para inspeção de linhas de transmissão e redes de distribuição de difícil acesso, ou críticas do ponto de vista de manutenção, já tem sido uma realidade no segmento. A Figura 7 ilustra esta aplicação.

Também tem sido discutida a possibilidade de utilização dos drones para operação em tempo real e o apoio à localização de defeitos, com mais agilidade que as equipes convencionais na busca do reestabelecimento do sistema após uma interrupção.



**Figura 7 – Aplicação de drones para inspeção em redes de distribuição.**

Os robôs também têm sido utilizados, principalmente, no monitoramento contínuo de subestações, que é uma condição mais controlada. Também existem registros da utilização na

inspeção de unidades geradoras com difícil acesso e na inspeção de linhas de transmissão, com tecnologia para passar de estrutura a estrutura e com grande capacidade de autonomia.

Talvez em um futuro breve seja comum identificarmos nos postes e linhas de transmissão dispositivos robôs de uma grande diversidade de tamanhos e finalidades dando apoio ao monitoramento do sistema elétrico.

#### **Inteligência artificial**

Os métodos que utilizam o aprendizado de máquina, aprendizado profundo e a sua integração com o conceito de inteligência artificial já têm sido utilizados com sucesso em algumas aplicações no sistema elétrico. É natural que, após a aplicação de um nível básico de automação no processo, seguindo para análises automáticas de grande volume de dados, que estabelecem condição de apoio à tomada de decisão a partir de uma determinada regra, o próximo nível a ser atingido seja o do aprendizado com as experiências obtidas e a respectiva substituição do elemento humano em atividades cognitivas mais elementares.

As aplicações que utilizam técnicas de inteligência artificial têm sido apontadas como as mais promissoras dentro do conceito da Indústria 4.0 e merecem ser acompanhadas com bastante atenção como potencial aplicação no sistema elétrico de potência.

#### **Segurança cibernética**

Nos quatro capítulos que compõem esta série de digitalização do sistema elétrico foi possível demonstrar vários benefícios e as vantagens da transformação digital aplicada ao setor. No entanto, existem também desvantagens e uma das principais é a potencialização do aumento do risco de problemas cibernéticos, tanto na operação normal dos processos, quanto nos ataques externos.

A preocupação com a identificação de anomalias, com a tecnologia de proteção a ser aplicada, com os processos que precisam ser redesenhados, com uma análise mais crítica com relação aos ativos e seus riscos, além de um grande programa de governança e treinamento de todos os colaboradores que trabalham com tecnologia de operação, é fundamental para mitigar os riscos de problemas cibernéticos. Quem quiser ter mais informações sobre o tema pode consultar os fascículos sobre segurança cibernética que têm sido publicados por esta revista.

*\*Julio Shigeaki Omori é engenheiro eletricista e possui mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. É professor de Engenharia Elétrica e de Energia na Universidade Positivo e superintendente na Copel Distribuição.*