

DIGITALIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

IMPULSIONADORES E MELHORES PRÁTICAS INTERNACIONAIS





AUTORES E COLABORADORES

Aldo Pessanha, Alessandra Genu Dutra Amaral, Roberto Cajamarca Gómez, Sandra Marcela Quijano López, Claudio Bulacio, Andrés Camilo Agredo, Manuel Gómez, Pablo Vargas, Juliana Moreno, Dimas Carranza, Jorge Antonio Guillén Galván, Dimitri Barros Pereira de Oliveira, Talita Darwiche, Daniel Pichi, Pablo Molina, Alfredo Gallegos, Pablo Jofré, Hans Rother Salazar, Jorge Ponce, Julio Cesar Luján Rojas, Sócrates Vela Coral, Clarissa Machado Rocha, Marcos Soares, Ednelson de Moraes, Mariana Silva Barreto, Diego Sánchez, Ernesto San Miguel.



1. INTRODUÇÃO

5

2. TENDÊNCIAS GLOBAIS, NOVAS TECNOLOGIAS E SOLUÇÕES EMERGENTES

6

2.1. Redes e Equipamentos	8
2.2. Sistemas IT/OT	9
2.3. Ferramentas de análise	11
2.4. Serviços de comunicação e dados	12

3. BENEFÍCIOS DA DIGITALIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO

15

3.1. Benefícios Operacionais	15
3.2. Benefícios Econômicos	17
3.3. Benefícios Sociais	18
3.4. Benefícios Ambientais	19

4. VISÃO GERAL DA DIGITALIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO NA AMÉRICA LATINA

21

4.1. Argentina	21
4.2. Brasil	22
4.3. Chile	22
4.4. Colômbia	23
4.5. Costa Rica	24
4.6. Equador	25
4.7. Guatemala	25
4.8. Peru	25

5. IMPULSIONADORES DA DIGITALIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO

27

5.1. Políticas Públicas e Marcos Regulatórios	27
5.2. Incentivos econômicos e acesso a financiamento	28
5.3. Treinamento e Capacitação	29
5.4. Infraestrutura de Telecomunicações	30
5.5. Investigação, Desenvolvimento e Inovação (I+D+i)	30

6. MELHORES PRÁTICAS INTERNACIONAIS EM DIGITALIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO**31**

6.1. Estados Unidos	31
6.2. União Europeia: Projeto Grid4EU	32
6.3. Reino Unido	34
6.4. Japão	34
6.5. Coreia do Sul	35

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**36**

7.1. Habilitando a transição para um DSO em sistemas de distribuição	37
7.2. Remuneração baseada nos custos reais e revisão dos ciclos tarifários	37
7.3. Regras de Uso de Dados e Privacidade de Informações	38
7.4. Cooperação público-privada e acesso ao financiamento	38
7.5. Promover a investigação, o desenvolvimento e a inovação (I+D+i)	38
7.6. Adaptação das melhores práticas internacionais aos contextos locais	39
7.7. Abordagem de gerenciamento de mudanças para D&A	39
7.8. Fornecedores como parceiros estratégicos	40

8. REFERÊNCIAS**41**

A digitalização e a automação dos sistemas de distribuição de energia elétrica estão transformando radicalmente a forma como a infraestrutura de energia é gerenciada e operada globalmente. Em um mundo cada vez mais interligado, onde a demanda de eletricidade continua a aumentar e as expectativas dos consumidores evoluem para serviços mais eficientes, sustentáveis e personalizados, a modernização das redes de distribuição tornou-se uma necessidade imperativa.

Nesse contexto, a América Latina enfrenta um desafio único. A região apresenta um panorama diversificado, com países que estão em diferentes estágios de desenvolvimento econômico e tecnológico. No entanto, todos eles compartilham a necessidade de melhorar a resiliência, eficiência e sustentabilidade de seus sistemas de distribuição de energia elétrica. A integração de fontes de energia renováveis, a redução de perdas técnicas e não técnicas e a melhoria da qualidade do serviço são alguns dos objetivos que a digitalização e a automação podem ajudar a alcançar.

O objetivo deste documento é fornecer uma revisão geral das oportunidades e desafios que a digitalização e a automação apresentam para os sistemas de distribuição de energia elétrica na América Latina. Ele explora as tendências globais na implementação de tecnologias avançadas, como redes inteligentes, Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial (IA), que estão redefinindo os paradigmas tradicionais de distribuição de eletricidade. Além disso, discute-se o panorama atual da região, destacando os avanços e limitações que caracterizam os seus diferentes países.

Um dos aspectos fundamentais é a identificação dos motores fundamentais desta transformação, com particular enfoque no quadro regulatório e nas políticas públicas. Em muitos casos, a falta de um ambiente de regulação adequado tem sido um obstáculo significativo à adoção de tecnologias inovadoras. Portanto, este documento também busca oferecer recomendações sobre como governos, reguladores e empresas podem promover um ambiente propício para a digitalização e automação da distribuição de energia elétrica.

Além disso, são apresentados alguns casos de sucesso internacional que podem servir de referência para a América Latina. Esses exemplos demonstram como a implementação bem-sucedida de tecnologias digitais em outros contextos pode ser adaptada para enfrentar os desafios específicos da região, enfatizando a necessidade de ajustar essas soluções às realidades locais, considerando fatores como infraestrutura existente, capacidades tecnológicas e condições socioeconômicas.

Por fim, este documento fornece recomendações práticas e estratégicas para a implementação de tecnologias de digitalização e automação na região, com o objetivo de superar as barreiras tecnológicas e econômicas existentes.

TENDÊNCIAS GLOBAIS, NOVAS TECNOLOGIAS E SOLUÇÕES EMERGENTES

A digitalização e a automação (D&A) dos sistemas de distribuição de energia elétrica representam uma das tendências mais transformadoras na infraestrutura de energia em todo o mundo. Nas últimas décadas, a rápida evolução das tecnologias avançadas tornou as redes de distribuição de eletricidade mais eficientes, resilientes e adaptáveis às crescentes demandas de energia e à integração de fontes de energia renováveis. Esse processo de modernização redefiniu os paradigmas tradicionais de operação de eletricidade, com foco na interconexão digital, otimização em tempo real e capacidade de adaptação a um ambiente energético em constante mudança. Além disso, a integração de inteligência artificial (IA) e big data está melhorando a gestão das redes elétricas em tempo real, pois auxilia a prever a demanda, otimizar a distribuição e minimizar interrupções, o que gera um efeito multiplicador na geração de valor para as distribuidoras e usuários. Abaixo são apresentadas algumas tecnologias e soluções em redes e equipamentos, sistemas de TI/OT, ferramentas de análise e serviços de comunicação e dados.

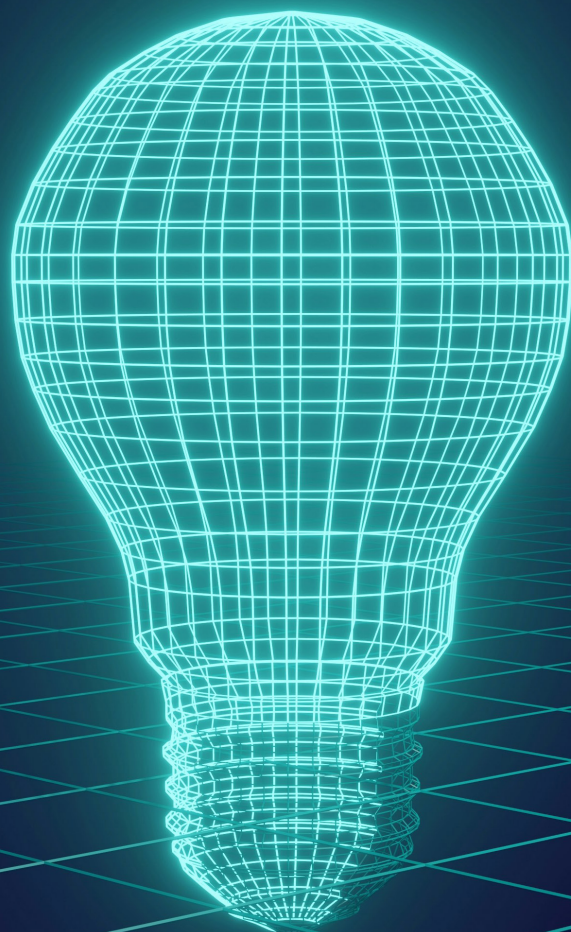
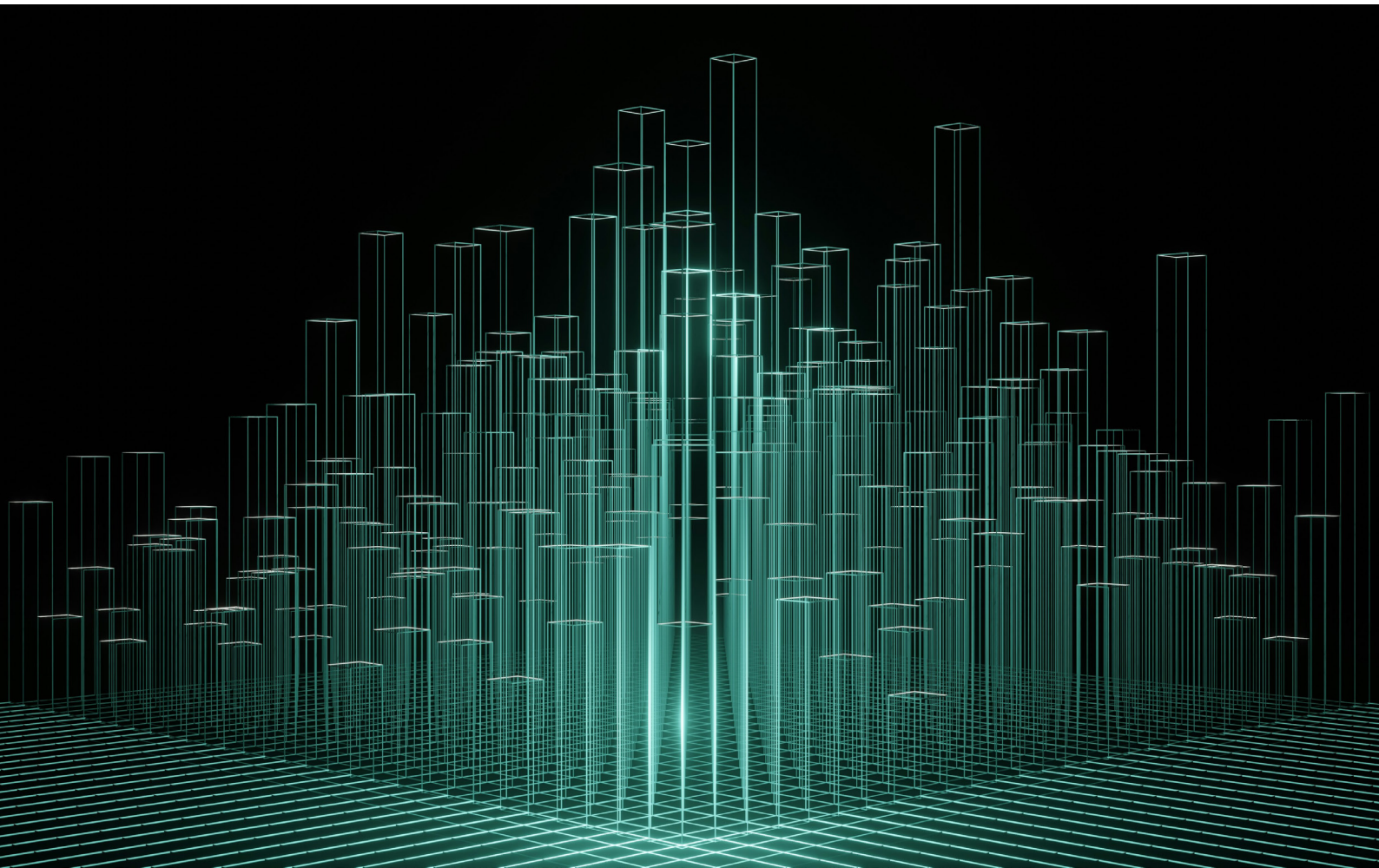


Tabela 1. Algumas tecnologias de D&A para distribuição elétrica

Categoria	Tecnologias de rede inteligente
Redes e Equipamentos	Sensores e Fusíveis Inteligentes
	Automação de Subestações
	Infraestrutura de Medição Avançada (AMI)
	Drones equipados com LIDAR e outras tecnologias
	Sistemas de armazenamento de bateria
Sistemas IT/OT	Sistemas de Controle e Aquisição de Dados (SCADA)
	Sistemas Avançados de Gerenciamento de Distribuição (ADMS)
	Sistemas de Informação Geográfica (GIS)
	Sistemas de gerenciamento de dados de medição (MDMS)
	Sistemas de Gerenciamento de Energia Distribuída (DERMS)
	Sistemas de gerenciamento de interrupções (OMS)
	Plataformas de modelagem, análise e planejamento de sistemas de distribuição
	Sistemas de Gestão e Otimização de Energia (EMOS)
	Plataformas de gestão comercial e relacionamento com clientes
Ferramentas de análise	Data Lakes
	Análise preditiva e plataformas de big data
	Inteligência Artificial (IA) e Machine Learning (ML)
Serviços de comunicação e dados	Redes de comunicação avançadas
	Computação em nuvem
	Soluções de segurança cibernética



REDES E EQUIPAMENTOS

Um dos pilares fundamentais na modernização das redes de distribuição de energia elétrica é a implementação de **Smart Grids**. Ao contrário das redes convencionais, que operam de forma unidirecional, as Smart Grids permitem a comunicação bidirecional entre a rede, os consumidores e as empresas de distribuição. Essa transformação é impulsionada pela incorporação de sensores avançados, dispositivos conectados e sistemas de monitoramento em tempo real, que oferecem aos operadores de rede a capacidade de gerenciar a oferta e a demanda de forma mais eficiente e flexível. Alguns desses equipamentos e sistemas são descritos nesta seção.

A infraestrutura de medição avançada (AMI) é uma tecnologia fundamental no processo de digitalização das redes de distribuição de energia elétrica, proporcionando uma interação mais direta entre os operadores de rede e os utilizadores finais. Os medidores inteligentes são o componente fundamental da AMI, capazes de registrar dados detalhados sobre o consumo de eletricidade, como a quantidade de energia utilizada, a demanda de pico e o comportamento do consumo ao longo do tempo. Esses medidores enviam as informações por meio de redes de comunicação seguras para os centros de gerenciamento das empresas de distribuição. A sua principal vantagem é a capacidade de realizar leituras em tempo real, eliminando a necessidade de leituras manuais e facilitando o faturamento automático e preciso.

A AMI permite o gerenciamento dinâmico da demanda, o que significa que os operadores da rede podem ajustar a distribuição de energia com base nas condições reais do sistema e nas necessidades do consumidor. Durante o pico de demanda, as distribuidoras podem aplicar mecanismos de resposta à demanda, incentivando os usuários a reduzir seu consumo por meio de incentivos ou tarifas diferenciadas. Essa capacidade de gerenciar a demanda em tempo real é essencial para manter a estabilidade da rede, especialmente em momentos de alta carga,

e para melhorar a integração de fontes de energia renováveis, cuja geração pode ser intermitente. Além disso, a implementação da AMI permite a captura de dados históricos para uma estimativa mais precisa da demanda futura, para que o operador da rede possa fazer um uso mais eficiente da mesma.

Uma das principais tecnologias nessa tendência são os **sensores inteligentes**, que monitoram as condições e o consumo da rede elétrica de média e baixa tensão em tempo real. Esses dispositivos não apenas ajudam a detectar falhas ou sobrecargas imediatamente, mas também permitem um melhor planejamento e gerenciamento do sistema, fornecendo dados valiosos que podem ser usados para otimizar a operação da rede e prever possíveis problemas antes que eles ocorram. Os equipamentos de proteção da rede também podem incluir **fusíveis inteligentes**, que incorporam sensores que podem monitorar outras condições importantes da rede, como corrente e temperatura do condutor, permitindo um diagnóstico mais detalhado e em tempo real das condições da linha. Esta informação permite que as operadoras de rede melhorem o gerenciamento proativo da manutenção, detectando condições de sobrecarga ou falhas intermitentes antes que ocorra uma interrupção total.

Figura 1. Sensores e Fusíveis Inteligentes



Fonte: Grupo de Mercados de Energia.

Os avanços na **automação de subestações** são igualmente importantes. Essas tecnologias permitem que as subestações operem com o mínimo de intervenção humana por meio do uso de sensores, atuadores e sistemas de controle remoto. Com a automação, é possível melhorar a confiabilidade do fornecimento de eletricidade, reduzir os tempos de inatividade e melhorar a capacidade das subestações de se adaptarem às mudanças nas condições, como aumentos na demanda ou flutuações na geração renovável. Essas subestações automatizadas não apenas melhoram a eficiência operacional, mas também reduzem significativamente o tempo de inatividade associado à manutenção ou correção de falhas. Ao integrar sistemas avançados de diagnóstico, as subestações podem detectar possíveis problemas antes que se tornem falhas graves, permitindo um planejamento de manutenção mais eficiente.

Os drones equipados com LIDAR e outras tecnologias permitem melhorar a supervisão, monitoramento e manutenção das redes elétricas. A tecnologia LIDAR (Light Detection and Ranging) apoia a criação de mapas tridimensionais detalhados, o que facilita a inspeção e o monitoramento preventivo em áreas de difícil acesso, permitindo identificar falhas com precisão, avaliar a condição dos ativos e otimizar o planejamento da manutenção. Os drones também são usados em inspeções visuais e térmicas, por meio da utilização de câmeras de alta resolução e câmeras térmicas para identificar problemas, tais como pontos quentes, sobrecargas em linhas ou falhas em transformadores e outros componentes. A termografia é particularmente útil para detectar possíveis falhas antes que se tornem problemas críticos, permitindo que a manutenção preventiva seja realizada.

Outras aplicações relevantes dos drones são a hidrolavagem de isoladores e componentes de rede em alta tensão, e a poda de árvores que interferem nas linhas elétricas. Em vez de usar equipamentos de trabalho em altura, os drones podem cortar galhos com precisão, minimizando os riscos para o

pessoal e reduzindo o tempo de intervenção nas áreas afetadas. Isso é especialmente importante em áreas arborizadas ou de difícil acesso, onde a vegetação pode causar interrupções de serviço se não for controlada adequadamente.

Por fim, a adoção de sistemas de armazenamento de **energia**, como baterias de alta capacidade, também foi um avanço disruptivo na automação da rede. Essas tecnologias permitem que a energia seja armazenada durante períodos de baixa demanda ou quando a geração renovável é abundante e, em seguida, liberada quando a demanda é maior. Isso não apenas contribui para a estabilidade da rede, mas também reduz a necessidade de depender de fontes de geração convencionais em momentos de alta demanda.

SISTEMAS IT/OT

Os sistemas de automação e controle de rede transformaram radicalmente a maneira como as concessionárias gerenciam e operam sua infraestrutura elétrica, melhorando a eficiência operacional, reduzindo custos e aumentando a resiliência do sistema. Os sistemas de TI/OT permitem que as redes elétricas operem de forma mais independente, eficiente e segura, o que é crucial em um ambiente de maior demanda de energia e maior penetração de fontes de energia renováveis. Para isso, foram desenvolvidas plataformas que integram diversas funções de controle e gestão para otimizar o uso dos recursos energéticos, melhorar a interação com os consumidores e facilitar a gestão de ativos.

As plataformas SCADA (Control and Data Acquisition Systems) têm desempenhado um papel crucial na operação mais eficiente e segura das redes de distribuição. Estas plataformas permitem a monitorização e controle em tempo real dos equipamentos de rede, facilitando uma resposta rápida a emergências, falhas ou flutuações de demanda. Os SCADAs permitem o acesso remoto a dispositivos distribuídos, como switches, transformadores e outros compo-

nentes críticos da rede, melhorando a capacidade de resposta de contingência. Uma das principais vantagens desses sistemas é a redução da intervenção humana em situações críticas. Ao automatizar certas funções, como detecção de falhas e reconexão automática, os tempos de resposta são minimizados, resultando em menos interrupções e uma melhoria geral na qualidade do serviço.

Os sistemas avançados de gerenciamento de distribuição (ADMS) são ferramentas mais avançadas que permitem que as operadoras de rede monitorem, gerenciem e otimizem a operação das redes de distribuição em tempo real. O ADMS fornece uma visão detalhada da rede, viabilizando uma tomada de decisão mais precisa e ágil, bem como melhorando a confiabilidade e a eficiência do sistema. Com a capacidade de integrar dados de uma variedade de fontes, como medidores inteligentes, sensores e dispositivos distribuídos por toda a rede, o ADMS ajuda as operadoras a gerenciar interrupções, otimizar o fluxo de energia e equilibrar a carga em tempo real. Além disso, permitem a identificação proativa de áreas problemáticas, melhorando a capacidade de evitar ou mitigar interrupções e falhas. Na prática, um ADMS permite que as concessionárias passem de processos manuais e softwares em silos para dados em tempo real, processos automatizados e sistemas integrados.

Plataformas de **modelagem, análise e planejamento** de sistemas de distribuição, como CyME, ETAP, PowerFactory e PSS®E, são essenciais para que as concessionárias otimizem o projeto e a operação de suas redes elétricas. Essas plataformas permitem criar modelos detalhados de redes de distribuição, incluindo todos os principais componentes, como linhas, transformadores, cargas e geradores distribuídos, para simulações precisas e complexas. Por meio desses modelos, os operadores podem avaliar o comportamento da rede em diferentes condições, analisar a demanda, prever problemas operacionais e realizar estudos de fluxo de carga, curtos-circuitos, análise de qualidade de energia e estabilidade de

tensão, entre outros. Essas plataformas também permitem analisar a integração de recursos energéticos distribuídos e planejar seu impacto na rede, além de facilitar a identificação de áreas onde é possível reduzir as perdas e a melhorar a eficiência operacional.

O uso de **Sistemas de Informação Geográfica (GIS)** revolucionou a forma como a infraestrutura de distribuição de energia elétrica é gerenciada. O GIS permite que os operadores visualizem e gerenciem a rede em um ambiente geoespacial, oferecendo mapeamento preciso de todos os componentes, desde linhas de energia e subestações até medidores e transformadores. Esse recurso de visualização é essencial para otimizar o projeto, a operação e a manutenção da rede. O GIS avançado integra dados em tempo real dos sistemas SCADA e ADMS, permitindo que os operadores detectem falhas com mais facilidade e localizem pontos de interesse na rede, como interrupções ou áreas que precisam de manutenção. Além disso, o GIS viabiliza um planejamento mais preciso das expansões da rede, identificando áreas com maior crescimento de demanda ou áreas onde são necessárias melhorias na infraestrutura.

Outra tecnologia emergente nessa área é o **Sistema de Gerenciamento de Energia Distribuída (DERMS)**, que permite integrar e otimizar os recursos energéticos distribuídos, como a geração a partir de fontes renováveis, os sistemas de armazenamento de energia e as cargas controláveis. Esses sistemas são essenciais para garantir que a energia renovável intermitente, como solar e eólica, possa ser gerenciada de forma eficaz e aproveitada ao máximo.

Os sistemas de gerenciamento de interrupções (OMS) são projetados para gerenciar e automatizar a resposta a quedas de energia. O OMS permite que as concessionárias detectem, gerenciem e resolvam falhas na rede com mais eficiência, integrando dados de várias fontes para identificar rapidamente a localização das falhas, coordenar a restauração do serviço e manter os clientes informados. Sua capacidade de automatizar

processos críticos e melhorar a resposta a falhas os coloca nessa categoria-chave para a operação moderna de redes elétricas.

Os Sistemas de Gerenciamento de Dados de Medição (MDMS) gerenciam e armazenam grandes volumes de dados de medidores inteligentes (AMIs) e outros dispositivos, permitindo que as concessionárias analisem o consumo de energia, otimizem o faturamento e melhorem o gerenciamento da rede em tempo real. Os sistemas MDMS facilitam a agregação, validação e análise de dados de consumo que podem ser compartilhados com o cliente final por meio de aplicativos ou contas pessoais, tornando-os uma ferramenta fundamental para a digitalização e automação das redes elétricas, apoiando tanto a operação eficiente quanto a melhoria dos serviços comerciais.

Os Sistemas de Gestão e Otimização de Energia (SGA) são plataformas tecnológicas concebidas para monitorar, gerir e otimizar a utilização de energia em redes elétricas, edifícios, indústrias ou qualquer outra instalação que consuma ou gere energia. Esses sistemas integram dados de várias fontes, como dispositivos de medição avançados, sensores e sistemas SCADA, para fornecer uma visão abrangente do consumo de energia e permitir um gerenciamento de recursos mais eficiente e sustentável. Isso permite identificar padrões de consumo e detectar anomalias ou ineficiências instantaneamente, reduzir custos, minimizar perdas, melhorar o desempenho dos sistemas de geração distribuída e gerenciar ativamente a demanda de energia.

As **plataformas de gestão comercial e relacionamento com o cliente**, como CRM e CMS, são outro componente chave das TIC nas redes de distribuição de energia elétrica. Essas plataformas permitem o gerenciamento abrangente das interações com os clientes, faturamento, gerenciamento de contas e análise de dados de consumo, todos diretamente ligados à operação da rede. Ao integrar dados de medidores inteligentes e outras fontes de informação, essas plataformas oferecem uma visão detalhada do

comportamento do consumidor, facilitando um faturamento mais preciso e a implementação de políticas de eficiência energética. As plataformas de gestão comercial também desempenham um papel importante na otimização do relacionamento entre as distribuidoras e os clientes. Ao permitir que os usuários acessem seus dados de consumo em tempo real, as plataformas incentivam uma maior participação do consumidor na gestão de seu consumo de energia. Além disso, essas ferramentas permitem a customização de tarifas, a implementação de programas de resposta à demanda e a adoção de energias renováveis distribuídas, promovendo um mercado de energia mais flexível e competitivo.

FERRAMENTAS DE ANÁLISE

Essas tecnologias permitem que as concessionárias colem, analisem e gerenciem grandes quantidades de dados em tempo real, melhorando a eficiência, a capacidade de resposta e a confiabilidade da rede. As plataformas avançadas de análise de dados desempenham um papel essencial na operação moderna das redes elétricas.

As **plataformas de análise preditiva baseadas em Big Data** estão transformando a maneira como as redes elétricas coletam e usam dados. Essas plataformas processam grandes volumes de informações de medidores inteligentes, sensores e outros dispositivos distribuídos pela rede, permitindo que as concessionárias detectem padrões de consumo, prevejam tendências e antecipem problemas antes que eles ocorram.

Um dos elementos-chave nessa evolução é a integração de **Data Lakes**, repositórios de dados de alta capacidade onde grandes quantidades de informações são armazenadas em sua forma original. Os data lakes permitem que as concessionárias consolidem dados estruturados e não estruturados de várias fontes, melhorando o acesso a informações críticas e fornecendo suporte mais robusto para análises avançadas. Ao usar data lakes, as empresas podem aproveitar grandes volumes de dados históricos

e em tempo real para melhorar a tomada de decisões, otimizar o gerenciamento de rede e desenvolver estratégias de longo prazo mais precisas.

A **Inteligência Artificial (IA) e o Machine Learning (ML)** possibilitam otimizar o funcionamento das redes e melhorar a tomada de decisões, com base na análise de grandes volumes de dados. Existem duas abordagens principais dentro da IA que são especialmente relevantes para o setor: IA generativa e IA adaptativa. A IA generativa é usada para criar novas soluções e modelos preditivos com base em dados anteriores. No contexto da distribuição de energia elétrica, é útil para simulação de cenários e previsão de demanda. A IA adaptativa, por outro lado, tem a capacidade de ajustar seu comportamento em tempo real, com base nos dados que recebe continuamente. Isso é especialmente relevante na otimização dinâmica de carga e gerenciamento de demanda. Além disso, os algoritmos de aprendizado de máquina podem identificar padrões no comportamento do consumidor e ajustar automaticamente a distribuição de energia para maximizar a eficiência, reduzir os custos operacionais e melhorar a sustentabilidade do sistema. Por exemplo, em tempos de alta demanda, os sistemas podem redistribuir a carga de forma inteligente para evitar sobrecargas, melhorar a qualidade do serviço e reduzir perdas na rede.

Além disso, IA e ML também são essenciais para o gerenciamento automatizado de rede. Por meio da análise de imagens de satélite e drones equipados com sensores avançados, os algoritmos de IA podem identificar estruturas anômalas, como componentes defeituosos, e realizar processos de controle de vegetação com precisão. Essas soluções permitem uma manutenção preventiva mais eficiente, minimizando as interrupções de serviço e reduzindo os riscos ambientais. Essa abordagem também contribui para a sustentabilidade, pois reduz a intervenção humana em áreas de difícil acesso e minimiza o impacto das operações no ambiente natural.

Outra aplicação é a integração da IA nas soluções de experiência do cliente, para automatizar e melhorar os processos de atendimento ao cliente, otimizando as interações e melhorando a percepção do usuário. Os algoritmos de IA podem responder automaticamente a consultas frequentes, lidar com reclamações mais rapidamente e oferecer soluções personalizadas com base nos hábitos de consumo de cada cliente. Essa personalização não apenas melhora a satisfação do usuário, mas também cria eficiências operacionais, reduzindo a carga de trabalho nos centros de atendimento e suporte.

SERVIÇOS DE COMUNICAÇÃO E DADOS

As **redes de comunicação** avançadas são um componente essencial para garantir a operação segura, eficiente e rápida das redes de distribuição de eletricidade. Essas redes permitem a transmissão de dados entre diferentes dispositivos, como medidores inteligentes, sensores, equipamentos de proteção e centros de controle, com latência reduzida, o que é crucial para a operação em tempo real. As tecnologias usadas incluem fibra óptica, redes sem fio avançadas, sistemas de comunicação de linha de energia (PLC) e, mais recentemente, redes 5G.

Atualmente, em muitas redes os equipamentos de proteção e manobra são equipados com tecnologia de comunicação 3G e 4G LTE, que, embora ofereçam conectividade, apresentam altos níveis de latência. A baixa latência permite que os sinais entre os dispositivos e o centro de controle sejam transmitidos e processados em frações de segundo, o que é essencial para que a rede reaja imediatamente a falhas ou sobrecargas. Por exemplo, em situações em que um curto-circuito ou sobrecarga é detectado, a rede deve ser capaz de isolar rapidamente o segmento afetado e restaurar o serviço para os usuários restantes. A adoção generalizada dessas redes de baixa latência melhorará a eficiência dos sistemas de distribuição de energia elétrica, pois permitirá a integração de tecnologias avançadas, como Internet

das Coisas (IoT), redes de sensores distribuídas e gerenciamento remoto automatizado, criando um ecossistema interconectado para o gerenciamento automatizado da distribuição de energia elétrica.

Os serviços de **computação em nuvem**, como AWS, Azure ou Google Cloud, desempenham um papel fundamental na digitalização e automação da distribuição de energia elétrica, fornecendo uma infraestrutura flexível, escalável e segura para armazenar, processar e analisar grandes volumes de dados. À medida que as redes elétricas adotam tecnologias avançadas, como medição inteligente, análise de dados em tempo real e gerenciamento automatizado de demanda, as plataformas em nuvem oferecem soluções de armazenamento escaláveis que permitem que esses dados sejam gerenciados com eficiência e sem a necessidade de infraestrutura cara. As soluções em nuvem permitem que os distribuidores integrem e automatizem vários sistemas e processos de forma centralizada. Isso é fundamental para implementar redes inteligentes que podem ajustar automaticamente a distribuição de energia, gerenciar a carga e reduzir o consumo em momentos de alta demanda, melhorando a eficiência operacional.

O uso da nuvem permite que as distribuidoras de energia elétrica adotem uma arquitetura baseada em microsserviços, permitindo que desenvolvam, implementem e escalem novas funcionalidades de forma ágil, como ferramentas de gerenciamento de demanda ou sistemas de controle de rede. Além disso, permite fácil colaboração e compartilhamento de dados, o que é fundamental em um ambiente onde as redes distribuídas podem se beneficiar da integração com outros players, como operadoras de geração renovável ou provedores de armazenamento de energia.

Por fim, as soluções de **cibersegurança** são essenciais para proteger a infraestrutura digital das redes de distribuição de energia elétrica, garantindo a integridade, confidencialidade e disponibilidade dos dados e sistemas que gerem o funcionamento e au-

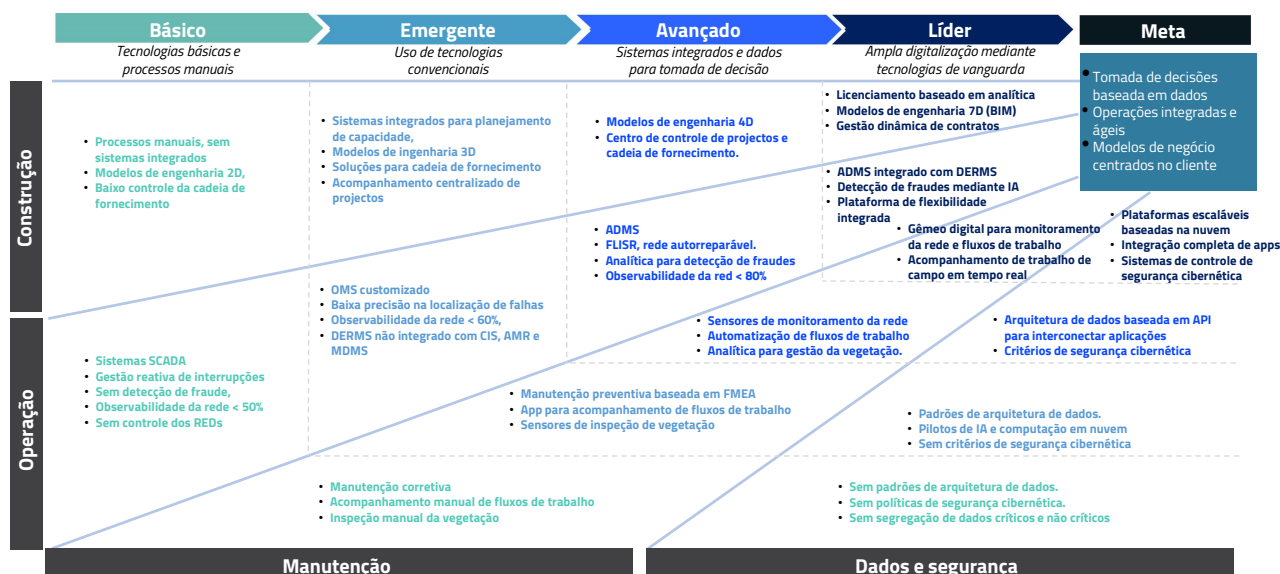
tomação da rede. A segurança cibernética em redes elétricas é responsável por proteger sistemas SCADA, AMIs, plataformas de gerenciamento de negócios e outros componentes críticos que dependem da interconexão digital. Como as redes modernas dependem da comunicação constante entre dispositivos e plataformas, as soluções de segurança cibernética são essenciais para garantir que essas comunicações sejam seguras e não vulneráveis a ataques cibernéticos.

Um estudo elaborado pela Eurelectric e Accenture (2024), resume os estágios de maturidade da digitalização e automação da distribuição de energia elétrica, que podem ser classificados em quatro níveis: Básico, Emergente, Avançado e Líder, de acordo com seu progresso em quatro dimensões-chave: construção, operação, manutenção e dados e segurança, conforme ilustrado abaixo. Este modelo de maturidade permite que os Distribution System Operators (DSOs) desenvolvam gradualmente capacidades digitais, desde tecnologias convencionais até a digitalização avançada, onde a eficiência é maximizada e a integração de energias renováveis é facilitada.



A digitalização e a automação (D&A) dos sistemas de distribuição de energia elétrica representam uma das tendências mais transformadoras na infraestrutura de energia em todo o mundo

Figura 1. Estágios de maturidade da digitalização e automação



Fonte: Eurelectric (2024).

Em síntese, as tendências globais de digitalização e automação da distribuição de eletricidade estão redefinindo a forma como a infraestrutura de energia é gerenciada. Novas tecnologias e soluções emergentes não estão apenas melhorando a eficiência operacional e a resiliência das redes, mas também permitindo a integração de energia renovável, a redução de custos operacionais e o desenvolvimento de redes elétricas mais sustentáveis e adaptáveis. Para a América Latina, a adoção dessas tecnologias é uma oportunidade fundamental para modernizar suas redes e se preparar para um futuro energético mais limpo, eficiente e confiável.

“

Nas últimas décadas, a rápida evolução das tecnologias avançadas tornou as redes de distribuição de eletricidade mais eficientes, resilientes e adaptáveis às crescentes demandas de energia e à integração de fontes de energia renováveis

BENEFÍCIOS DA DIGITALIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO

A digitalização e a automação dos sistemas de distribuição de energia elétrica oferecem uma ampla gama de benefícios que impactam significativamente os aspectos operacionais, econômicos, sociais e ambientais do setor de energia. À medida que as redes de distribuição evoluem para sistemas mais inteligentes e interconectados, as concessionárias e os governos podem aproveitar essas tecnologias para melhorar a eficiência, reduzir custos, aumentar a resiliência da rede e, ao mesmo tempo, contribuir para as metas de sustentabilidade. Este capítulo explora os benefícios mais proeminentes da digitalização e automação na distribuição de eletricidade, destacando como essas tecnologias podem transformar positivamente o futuro da energia.

Tabela 2. Benefícios da digitalização e automação da distribuição de energia elétrica

Benefícios Operacionais	Benefícios Econômicos	Benefícios Sociais	Benefícios Ambientais
Redução de Perdas Técnicas e Não Técnicas	Novos modelos de negócios	Acesso mais equitativo e confiável à energia	Menor consumo de energia devido à otimização da rede
Melhoria da qualidade do serviço	Melhoria da competitividade na indústria	Melhoria na Identificação e focalização de usuários vulneráveis	Redução de emissões de GEE
Redução de OPEX devido a inspeções e intervenções	Redução na conta do usuário residencial	Melhoria na gestão de proximidade e relacionamento com o usuário	Menor impacto ambiental da infraestrutura
Otimização do investimento em infraestrutura	Redução de incobráveis e consumos não registrados	Criação de emprego na economia verde e formação em novas tecnologias	Contribuição para a economia circular
Melhoria na gestão de ativos por meio de análise de dados			
Redução das despesas de atendimento ao cliente e engajamento digital			

BENEFÍCIOS OPERACIONAIS

Um dos principais benefícios da digitalização e automação dos sistemas de distribuição de energia elétrica é a melhoria considerável na eficiência operacional. Tecnologias emergentes, como Smart Grids, sistemas ADMS, infraestrutura de medição avançada (AMI) e sistemas de gerenciamento, permitem que as operadoras monitorem e gerenciem redes em tempo real, resultando em uma série de vantagens operacionais importantes.

Redução de perdas técnicas e não técnicas

A operação das redes de distribuição tem enfrentado o desafio das perdas de energia, tanto por motivos técnicos (prejuízos inerentes à infraestrutura) quanto por motivos não técnicos (roubo de energia, erros de faturamento, entre outros). As tecnologias digitais permitem uma detecção mais precisa das áreas da rede onde essas perdas são mais significativas, permitindo intervenções proativas. Medidores inteligentes e sensores avançados monitoram o fluxo de energia, fa-

cilitando a identificação de vazamentos de energia, fraudes e erros de faturamento em tempo real, reduzindo substancialmente as perdas não técnicas.

Melhoria da qualidade do serviço

A digitalização e automação das redes elétricas permitem um maior controle e otimização dos indicadores de qualidade de serviço. As tecnologias avançadas abrem espaço para uma resposta mais rápida e eficiente a incidentes, minimizando o tempo de inatividade. Uma das principais funcionalidades oferecidas por esses sistemas é a capacidade de realizar transferências automatizadas de carga, que permitem que a carga elétrica seja redistribuída automaticamente por outras rotas da rede quando ocorre uma interrupção, minimizando significativamente os tempos de desconexão. Isso garante que apenas uma pequena parte dos usuários seja afetada pela interrupção inicial, enquanto o restante pode continuar recebendo energia. Além disso, a digitalização facilita a criação de operações insulares ou microrredes, utilizando recursos de geração distribuída em cada área.

Os sistemas de armazenamento de energia também contribuem para a qualidade ao servirem como pequenas reservas que auxiliam na estabilidade da frequência em momentos de alta demanda e quando há oscilações em um sistema de energia, desde que o operador seja treinado e autorizado a operar as baterias que estão conectadas à rede.

Assim, ao reduzir os tempos de inatividade e alavancar os recursos locais, as operadoras podem cumprir de forma mais eficaz as normas regulatórias e melhorar seu desempenho em termos de SAIDI e SAIFI, minimizando penalidades e custos relacionados a interrupções de serviço.

Redução das despesas operacionais para tarefas de inspeção e intervenção

Um dos principais benefícios da automação é a capacidade de monitorar a rede em tempo real, eliminando a necessidade de inspeções manuais frequentes. Com a instalação de sensores e tecnologias avançadas, como sistemas ADMS e infraestrutura de medição avançada (AMI), o monitoramento constante pode ser realizado sem intervenção humana. Isso reduz os custos relacionados às inspeções periódicas, melhorando a eficiência e a otimização dos recursos. Além disso, o D&A permite a correção automática ou remota de falhas, sem a necessidade de intervenção física em muitos casos. Tecnologias como fusíveis inteligentes, sistemas de monitoramento de condições e análises preditivas podem evitar falhas antes que elas ocorram, o que diminui a frequência das intervenções de campo, resultando em uma redução considerável nos custos operacionais.

Otimizando o investimento em infraestrutura

As tecnologias de digitalização permitem que as concessionárias otimizem suas decisões de investimento em infraestrutura. A análise preditiva e o uso de dados em tempo real viabilizam um planejamento mais preciso das necessidades futuras da rede, o que significa que os investimentos podem ser feitos de maneira mais eficiente e direcionada. Por exemplo, em vez de realizar investimentos maciços na expansão da infraestrutura para atender aos picos de demanda, as empresas podem usar soluções de gerenciamento de demanda que otimizam o uso da rede existente, evitando expansões desnecessárias e dispendiosas.

Gerenciamento aprimorado de ativos por meio de análise de dados

Graças à grande quantidade de dados que tecnologias avançadas, sensores e sistemas de monitoramento podem coletar, as empresas de distribuição podem otimizar o gerenciamento de ativos. Ao aplicar fer-

ramentas de análise adequadas, os dados operacionais permitem identificar deficiências no projeto de ativos, detectar operações inadequadas, reconhecer padrões de manutenção insuficiente e observar os efeitos de eventos externos na infraestrutura, entre outros fatores técnicos. Essa análise oferece às distribuidoras uma compreensão mais profunda da condição e do desempenho de cada ativo, permitindo que elas melhorem tanto as especificações técnicas quanto os critérios operacionais. Além disso, essas informações facilitam o planejamento e a otimização da manutenção preventiva e preditiva, garantindo que os ativos tenham uma longa vida útil e melhor desempenho. Em última análise, a análise de dados operacionais ajuda a melhorar projetos futuros e ajustar o gerenciamento de ativos em todo o seu ciclo de vida, com foco na eficiência e na redução de custos a longo prazo.

Redução das despesas de atendimento ao cliente e engajamento digital

A automação também melhora o atendimento ao cliente, pois as informações sobre o status da rede e o consumo de energia estão disponíveis em tempo real para os usuários. As plataformas digitais permitem gerenciar reclamações, notificações de interrupções ou consultas de forma mais eficiente, reduzindo a necessidade de interação direta e os custos associados ao atendimento ao cliente. Além disso, o aumento das relações digitais entre usuários e empresas de distribuição melhora a experiência do cliente, fidelizando e reduzindo os tempos de resposta a consultas ou problemas.

BENEFÍCIOS ECONÔMICOS

A digitalização e a automação das redes de distribuição de eletricidade também geram benefícios econômicos significativos, tanto para as empresas de distribuição quanto para os consumidores finais. Essas tecnologias não apenas reduzem os custos operacionais, mas também geram novos modelos de negócios, melhoram a competitividade e permitem uma melhor otimização do uso de energia.

Novos modelos de negócios

A digitalização das redes elétricas abre as portas para o desenvolvimento de novos modelos de negócios para os DSOs. Ao alcançar uma infraestrutura digitalizada, as empresas de distribuição podem oferecer serviços adicionais, como gerenciamento de energia para clientes industriais e comerciais, consultoria para melhorar a eficiência energética ou a possibilidade de operar como agregadores em mercados de energia distribuída. Além disso, uma maior visibilidade e controle da rede permite explorar oportunidades em áreas como o armazenamento de energia, a resposta à procura ou a gestão de ativos energéticos distribuídos (DER), o que diversifica os fluxos de receitas e melhora a competitividade das empresas de distribuição.

Melhora na competitividade na indústria

A redução dos custos operacionais e de capital por meio da automação não apenas beneficia as concessionárias, mas também tem um efeito positivo na competitividade do setor como um todo. Ao otimizar o uso da rede e reduzir as perdas de energia, os custos operacionais das empresas são minimizados, resultando em preços mais competitivos para os usuários finais. Isso é particularmente importante em mercados industriais intensivos em energia, onde uma redução nos custos de energia pode melhorar a competitividade geral dos setores produtivos do país.

Redução na conta do usuário residencial

A digitalização também permite uma redução na fatura paga pelos usuários residenciais pelo consumo total de energia. Ao melhorar a eficiência da rede e reduzir as perdas, as concessionárias podem oferecer tarifas mais competitivas aos seus clientes. Além disso, a implementação de programas de eficiência energética e a adoção de tecnologias como medidores inteligentes permitem que os consumidores finais otimizem seu uso de energia, o que, por sua vez, reduz seu consumo e fatura final. O acesso a fer-

ramentas digitais que permitem o monitoramento em tempo real do consumo de eletricidade oferece aos usuários residenciais mais controle sobre seu uso de energia, incentivando comportamentos de consumo mais eficientes.

Redução de incobráveis e consumos não registrados

A digitalização das redes elétricas contribui para a redução de incobráveis e consumos não registrados no faturamento, gerando um impacto positivo na sustentabilidade financeira das empresas de distribuição. Ao obter dados precisos e em tempo real sobre o consumo, as empresas podem faturar com mais precisão, reduzindo os casos de faturamento estimado e ajustando as cobranças aos valores reais do consumo. Esta melhoria no controle sobre o registro do consumo permite uma redução significativa dos custos associados à inadimplência, aumentando assim a liquidez e melhorando a eficiência operacional. Além disso, a capacidade de identificar consumos não registrados facilita a gestão proativa dos usuários em situação de não pagamento, permitindo às empresas implementar programas de regularização ou acordos de pagamento personalizados.

BENEFÍCIOS SOCIAIS

A digitalização e a automatização das redes de distribuição de eletricidade não só trazem benefícios operacionais e econômicos, como também geram impactos sociais significativos, especialmente ao nível da acessibilidade, equidade e melhoria da qualidade de vida dos utilizadores. A implementação de tecnologias avançadas facilita uma distribuição mais equitativa dos recursos energéticos, melhora a gestão dos serviços aos usuários e permite um serviço mais próximo e eficiente.

Acesso mais equitativo e confiável à energia

A digitalização das redes elétricas facilita o acesso equitativo à energia, especialmente em áreas rurais ou remotas, onde a infraes-

trutura tradicional pode ser limitada. Com a integração de tecnologias como microrredes e sistemas de monitoramento remoto, as concessionárias podem oferecer um fornecimento mais confiável nessas áreas, inclusive como suporte ou backup à rede tradicional, garantindo que mais comunidades, mesmo em áreas remotas, tenham acesso à eletricidade de qualidade. Além disso, a automação permite uma gestão mais eficiente dos recursos energéticos em áreas com menor capacidade de geração, otimizando o uso da energia disponível e evitando interrupções prolongadas. Esse acesso equitativo contribui para melhorar as condições de vida nas comunidades mais vulneráveis e apoia o desenvolvimento social e econômico em áreas carentes.

Identificação e direcionamento aprimorados de usuários vulneráveis

Um dos principais benefícios da digitalização é a melhor identificação e direcionamento de usuários vulneráveis, permitindo uma alocação mais eficiente de subsídios de energia. Por meio do uso de plataformas de gerenciamento comercial integradas com tecnologias avançadas de medição (AMI), as concessionárias e os governos podem obter informações detalhadas sobre o consumo do usuário e detectar as residências que precisam de suporte. Esta informação precisa facilita a implementação de políticas de subsídios direcionadas, garantindo que os recursos cheguem de forma eficiente a quem mais precisa, contribuindo para uma maior equidade no acesso à energia. Além disso, a digitalização permite o monitoramento contínuo e em tempo real do consumo desses usuários, evitando fraudes ou erros na aplicação de subsídios e garantindo que a ajuda seja mantida onde for necessária.

Melhoria na gestão de proximidade e relacionamento com o usuário

A automação dos sistemas de distribuição também impulsiona uma melhoria na gestão de proximidade, ou seja, a capacidade das empresas de distribuição de interagir

de forma mais próxima e eficiente com seus usuários. Através do uso de tecnologias digitais, como aplicativos móveis e portais da web, os usuários podem acessar facilmente seus dados de consumo, gerenciar faturas e fazer reclamações ou consultas sem precisar se deslocar aos escritórios físicos. Isso promove uma relação mais direta entre a empresa e o cliente, melhorando a satisfação e facilitando a resolução de problemas. Além disso, as plataformas digitais permitem simular o comportamento da rede em diferentes condições extremas (eventos climáticos ou sobrecargas), antecipando possíveis incidentes e necessidades dos usuários, avaliando e mitigando riscos nas áreas mais vulneráveis, oferecendo serviços personalizados e alertas preventivos em caso de interrupções programadas ou problemas de fornecimento. Essa maior capacidade de previsão, ação antecipada, comunicação e transparência melhora a experiência do cliente e fortalece o vínculo entre os usuários e a distribuidora.

Criação de emprego na economia verde e formação em novas tecnologias

A implementação de redes digitalizadas e automatizadas cria uma demanda por empregos técnicos especializados em sistemas de gerenciamento de rede, tecnologias digitais, energia limpa, análise e processamento avançado de dados, sistemas e algoritmos de apoio à tomada de decisão, etc. Isso gera oportunidades de emprego especializado em nível local e em ambientes vulneráveis, melhorando a capacitação na operação e manutenção de redes digitais, promovendo o desenvolvimento econômico territorial e preparando a população para a transição para uma economia verde.

BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

A digitalização e a automatização das redes de distribuição de eletricidade têm um impacto significativo na sustentabilidade ambiental, uma vez que permitem uma utilização mais eficiente dos recursos energéticos e reduzem as emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Tecnologias avançadas oti-

mizam a operação da rede, minimizam as perdas de energia e facilitam a integração de fontes renováveis, contribuindo diretamente para a redução do impacto ambiental do sistema elétrico.

Redução do consumo de energia devido à otimização da rede

Um dos benefícios mais proeminentes da digitalização e automação é a redução do consumo de energia por meio da otimização operacional da rede. Tecnologias avançadas, como sistemas avançados de gerenciamento de distribuição (ADMS) e medidores inteligentes, permitem uma operação mais eficiente, detectando e corrigindo ineficiências em tempo real. A capacidade de ajustar a distribuição de energia de acordo com a demanda e a capacidade atual do sistema reduz as perdas técnicas e não técnicas, resultando em menor consumo de energia em toda a rede. Essa otimização não apenas gera economia de energia, mas também alivia a pressão sobre as fontes de geração, principalmente em momentos de alta demanda, contribuindo para uma operação mais sustentável do sistema elétrico como um todo.

Redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)

A redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) é um dos benefícios mais marcantes da digitalização e automatização das redes de distribuição de eletricidade, uma vez que estas tecnologias permitem melhorar a eficiência energética, otimizar a rede e facilitar uma maior integração das DER. Ao reduzir o consumo de energia e as perdas durante a distribuição, a necessidade de geração adicional, principalmente de fontes fósseis, diminui. A digitalização também facilita uma maior integração de fontes renováveis, como a energia solar e eólica, uma vez que os sistemas automatizados permitem gerir a variabilidade destas fontes de forma mais eficiente. À medida que mais DERs são integrados à rede, a produção de energia se torna mais sustentável, diminuindo ainda mais a pegada de carbono do sistema elétrico.

Além disso, a automação contribui para a eletrificação do consumo final, o que impulsiona a transição para fontes de energia mais limpas em setores como aquecimento, indústria e transporte. Este último é particularmente importante, pois a rede digitalizada e automatizada pode permitir que mais EVs carreguem com eficiência. À medida que mais consumidores adotam veículos elétricos, a dependência de combustíveis fósseis diminuirá, contribuindo significativamente para a redução das emissões no setor de transporte.

Menor impacto ambiental da infraestrutura

A automação e a digitalização da rede também permitem o uso otimizado da infraestrutura por meio de soluções de flexibilidade, reduzindo a necessidade de construir novas instalações elétricas, como linhas de distribuição e subestações. Ao otimizar o uso dos ativos existentes, um maior número de usuários pode ser atendido sem a necessidade de expansão física da rede, reduzindo o impacto ambiental associado à construção e manutenção de novas infraestruturas. Além disso, a implementação de tecnologias como drones com LIDAR para inspeção remota reduz a necessidade de intervenções físicas em áreas naturais, protegendo os ecossistemas locais e reduzindo o impacto ambiental das operações de manutenção.

Contribuição para a economia circular

A digitalização das redes também promove uma gestão mais eficiente dos recursos, contribuindo para o conceito de economia circular. Ao prolongar a vida útil dos ativos por meio do uso de análises preditivas e manutenção preventiva, a necessidade de substituição frequente de equipamentos é minimizada. Isso não apenas reduz os custos operacionais, mas também diminui a quantidade de materiais que devem ser produzidos, transportados e descartados, o que tem um impacto positivo no ciclo de vida dos produtos e no uso eficiente dos recursos naturais, reduzindo também as emissões associadas à fabricação e descarte de novos equipamentos e tecnologias.

Em resumo, a digitalização e a automação dos sistemas de distribuição elétrica proporcionam uma ampla gama de benefícios operacionais, econômicos, sociais e ambientais. Desde a melhoria da eficiência operacional e redução de custos até a criação de novos modelos de negócios e contribuição para as metas de sustentabilidade, essas tecnologias têm o potencial de transformar significativamente o setor elétrico. Para a América Latina, a adoção dessas soluções representa uma oportunidade estratégica para melhorar a qualidade do serviço, reduzir seu impacto ambiental e construir redes elétricas mais resilientes e sustentáveis para o futuro.



A digitalização e a automação dos sistemas de distribuição de energia elétrica oferecem uma ampla gama de benefícios

VISÃO GERAL DA DIGITALIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO NA AMÉRICA LATINA

A digitalização e a automação dos sistemas de distribuição de eletricidade começaram a ganhar força na América Latina, impulsionadas pela crescente necessidade de modernizar a infraestrutura elétrica, integrar energias renováveis e melhorar a eficiência e a confiabilidade do fornecimento. No entanto, o grau de progresso varia significativamente entre os países da região devido a diferenças nos marcos regulatórios, níveis de investimento, prioridades governamentais e maturidade tecnológica das empresas de distribuição. Um exemplo disso é a implantação do smart metering, que varia de valores próximos a 1% para Argentina, Brasil e Peru, a 54% para a Costa Rica.

Tabela 2. Implantação de AMI por país

País	Porcentagem
Argentina	1,0%
Brasil	0,5%
Chile	8,8%
Colômbia	3,9%
Costa Rica	54,0%
Equador	3,1%
Guatemala	8,4%
Peru	1,3%

Fonte: ADELAT (2024), BID (2023), ICE.



ARGENTINA

Na Argentina, a digitalização das redes de distribuição de eletricidade tem enfrentado desafios significativos devido às condições econômicas e a um marco regulatório que dificultou o desenvolvimento de projetos de grande escala. No entanto, nos últimos anos, empresas de distribuição como Edenor e Edesur começaram a liderar iniciativas para modernizar a infraestrutura de distribuição, principalmente em áreas metropolitanas como Buenos Aires.

Um dos principais projetos na Argentina foi a implementação de medidores inteligentes, que progrediu gradualmente. Em Buenos Aires, a Edesur e a Edenor iniciaram programas-piloto em suas áreas de concessão. Por meio da Resolução ENRE nº 522/2024,

Apesar dos desafios, vários países da América Latina lançaram iniciativas inovadoras para digitalizar e automatizar seus sistemas de distribuição de eletricidade. Este capítulo destaca os mais relevantes, os desafios enfrentados pelos países representados na ADELAT, os progressos alcançados e os casos de sucesso que marcam o caminho para um futuro mais digitalizado e automatizado.

a Entidade Reguladora Nacional de Energia Elétrica estabeleceu os critérios de financiamento do Programa de Medição Inteligente, a ser implementado na Área Metropolitana de Buenos Aires.

Além disso, a Argentina está começando a implementar a automação de subestações e melhorar o gerenciamento preditivo da rede por meio do uso de tecnologias. Por exemplo, em 2019, a Edenor começou a automatizar subestações e alimentadores de média tensão, o que permitiu melhorar o controle e a detecção de falhas.

Apesar desses avanços, os desafios regulatórios e econômicos continuam limitando a expansão dessas iniciativas. O acesso

ao financiamento segue sendo um grande obstáculo para acelerar a modernização da rede, e a atual estrutura regulatória não incentiva suficientemente os investimentos de longo prazo na digitalização. As autoridades reconheceram a necessidade de rever o quadro regulatório para incluir incentivos que promovam o investimento em tecnologias avançadas e a transformação digital do sistema elétrico.



BRASIL

O Brasil se consolidou como líder na adoção de tecnologias de redes inteligentes na América Latina, impulsionado por seu grande mercado de eletricidade e pela necessidade de modernizar suas redes para integrar energia renovável.

A Enel investiu recentemente em um sensor IoT baseado em fusível, com integração entre o sistema SCADA e o OMS, que abre comandos automáticos para informar sobre clientes que ficaram sem energia. Também investiu na expansão dos religadores automáticos, reduzindo o tamanho dos blocos do cliente por seção de seccionamento. Outra implementação de grande impacto foi o chamado FDIR (Fault Detection Isolation and Recovery) que permite, através de religadores e interruptores automáticos, identificar onde existe uma possível falha, isolar a seção e restaurá-la o mais rapidamente possível. Esse algoritmo evitou que mais de 10 milhões de clientes perdessem energia em 2023.

No âmbito da regulação, não existe um mecanismo específico para reconhecer os investimentos em tecnologias de digitalização e automação. No entanto, o regulador considera essas soluções como ativos, e os investimentos são reconhecidos de acordo com o índice WACC, cuja porcentagem varia de acordo com cada distribuidor.



CHILE

O Chile, pioneiro na integração de energias renováveis em sua matriz de geração de eletricidade, também avançou na digitalização de suas redes de distribuição. A alta penetração dessas fontes de energia intermitentes tem levado as distribuidoras a adotarem tecnologias avançadas, como sistemas de gestão distribuída de energia (DERMS) e armazenamento de energia, que permitem uma melhor integração dos recursos energéticos renováveis. No entanto, no segmento de distribuição, a integração de fontes renováveis de energia não está contemplada no atual modelo de remuneração, que é baseado na empresa modelo.

A Norma Técnica de Qualidade de Serviço para Sistemas de Distribuição exige a instalação de contadores inteligentes nas saídas de todos os transformadores de distribuição (Sistema de Gestão e Qualidade – SGQ), até 1 de janeiro de 2027, para manter a rede de distribuição monitorizada no que diz respeito aos fluxos de potência nos quatro quadrantes, tensão, corrente e diferentes eventos e alarmes devido à qualidade do produto ou interrupções no fornecimento. Além disso, estabelece a obrigatoriedade de instalação de unidades de medição inteligente em clientes eletrodependentes, de consumo crítico (hospitais, presídios, antenas de serviço de telefonia celular, sistemas de bombeamento e distribuição de água potável e gás) e clientes com equipamentos residenciais de geração de energia elétrica, dentro de diferentes prazos estabelecidos.

No entanto, a decisão de instalar medidores inteligentes nos pontos de fornecimento de energia dos clientes foi deixada à sua vontade, devido a controvérsias na população. A partir de 2018, a tentativa de instalar medidores inteligentes em todo o país gerou rejeição de alguns consumidores, que criticaram a falta de transparência no processo e questionaram os benefícios percebidos em comparação com os custos associados. Muitos consumidores resistiram à instalação, argu-

mentando que não receberiam uma compensação tangível pela mudança, enquanto o investimento recairia diretamente sobre eles. Como resultado, as autoridades chilenas tiveram que interromper o projeto de implantação massiva de medidores inteligentes. Essa situação ressaltou a importância de comunicar melhor os benefícios dessas tecnologias e gerenciar adequadamente as expectativas do público.

Apesar dos desafios, algumas empresas, como a Enel Distribución em Santiago, avançaram com projetos de digitalização, implementando infraestrutura de medição avançada (AMI) e sistemas de monitoramento em tempo real para otimizar o gerenciamento da demanda e melhorar a confiabilidade do fornecimento. Além disso, a Enel implementou um sistema automatizado de identificação e isolamento de seção de falha de MV que atua em 3 minutos, melhorando a resiliência e a resposta imediata a falhas de rede.

As cooperativas elétricas associadas à FENACOPEL iniciaram a instalação dos Sistemas de Medição, Monitoramento e Controle nos transformadores de distribuição para monitorar as redes elétricas, e planejam iniciar a instalação de medidores inteligentes para clientes eletrodependentes, consumidores críticos e clientes com equipamentos de geração de energia elétrica em 2025. Além disso, está prevista a instalação de um sistema MDM para permitir que diferentes operações sejam realizadas de forma automatizada (faturamento, balanços de energia, identificação de perdas e roubos de energia elétrica, interação com os clientes), além de permitir a ativação de um aplicativo para clientes finais e um site, onde poderão monitorar o consumo diário e suas instalações elétricas a cada 15 minutos. Além disso, todas as cooperativas da FENACOPEL possuem um sistema SCADA que permite monitorar e gerenciar religadores nas redes de distribuição, o que lhes permite realizar transferências de carga automatizadas ou manuais.



COLÔMBIA

Do ponto de vista das políticas públicas, não foi definido um roteiro de digitalização para o setor elétrico, além dos documentos do CONPES ou do plano digital das entidades governamentais. Do ponto de vista regulatório, a Comissão Reguladora de Energia e Gás (CREG) incluiu na metodologia de remuneração da distribuição de energia elétrica (Resolução 015 de 2018) um mecanismo para remunerar ativos com condições diferenciadas dos dispositivos convencionais. Assim, quando existem ativos com características técnicas diferentes das unidades construtivas estabelecidas, os operadores de rede podem solicitar à CREG a criação de “unidades construtivas especiais” a serem incluídas nos seus planos de investimento, que podem incluir tecnologias avançadas de automação, digitalização e monitorização de redes, entre outras. A aplicação deve ser acompanhada das considerações técnicas que justificam a sua criação, do custo detalhado de cada equipamento que a compõe e dos custos de instalação associados. Este mecanismo, e a orientação para metas anuais de qualidade de serviço, permite que as distribuidoras integrem mais facilmente novas soluções tecnológicas e recebam uma remuneração tarifária por esses investimentos.

Em relação à medição avançada, a Resolução 40072 de 2018 do Ministério de Minas e Energia estabeleceu diretrizes e requisitos técnicos para infraestrutura de medição avançada e estabeleceu uma meta de cobertura de medidores AMI de 75% até 2030. A CREG, por meio da Resolução 101 001 de 2022, definiu que as operadoras de rede podem apresentar planos de implantação de AMI em suas áreas de atuação, cujos custos podem ser assumidos pela empresa ou pelo cliente. Além disso, criou a figura do Gerente Independente de Dados e Informações (GIDI).

O país lançou vários programas-piloto de redes inteligentes em cidades como Bogotá e Medellín. Em Bogotá, a Enel Colômbia realiza um piloto desde 2016 que inclui a instalação de medidores inteligentes que permitem o monitoramento detalhado do consumo de energia e uma maior capacidade de gerenciar picos de demanda, com base na experiência internacional da empresa, em países como Itália e Espanha. Em junho de 2024, medidores avançados foram instalados para 76.473 clientes.

Outros projetos desenvolvidos pela Enel Colômbia são:

Plataforma Digital-Enelflex: O principal objetivo deste piloto é automatizar e digitalizar a rede de distribuição, combinando tecnologias, sistemas e clientes, para identificar, prevenir e resolver congestionamentos de rede e eventuais falhas de sobrecarga em uma área da savana norte de Bogotá. O piloto resolverá congestionamentos que podem afetar o fornecimento de energia para mais de 322 mil clientes.

ToGo: Consiste na construção de uma réplica virtual da rede elétrica, que funciona como uma infraestrutura digitalizada, atualizada e precisa da rede física, utilizando tecnologias como LiDAR terrestre e aérea, fotografia 360°, fotogrametria, fotografia retangular, entre outras, com as quais são digitalizadas áreas com acesso veicular, áreas de pedestres, espaços internos (como subestações ou edifícios), bem como áreas rurais. Este gêmeo digital, complementado por tecnologias como Data Driven, inteligência artificial, BIM, realidade aumentada, IoT, entre outras, permitirá obter uma plataforma de coordenação central com organização ágil e fluxos de informação online para alavancar a operação e desenvolvimento digital do sistema. Até o momento, quase 29.000 km da rede rodoviária de Cundinamarca foram percorridos, 300 circuitos de MT foram digitalizados, 4.000 km da rede de BT foram inspecionados e 12.400 transformadores foram atualizados.

Além disso, desde 2021, a Enel Colômbia vem desenvolvendo um plano ambicioso para melhorar a confiabilidade das comunicações, expandindo sua rede de fibra óptica para as subestações e equipamentos operacionais da rede elétrica de média tensão, que além de melhorar a confiabilidade dos links e fortalecer a supervisão de seus ativos elétricos, abre caminho para a próxima fase do programa de automação, correspondente à auto-recuperação da rede em caso de falhas, dentro do conceito ADA (Advanced Distribution Automation).

COSTA RICA

Na Costa Rica, a penetração de D&A está em um nível intermediário, com diferenças marcantes entre as empresas de distribuição de eletricidade. No entanto, o país é um dos líderes da região na implantação de medidores inteligentes, com cobertura de mais de 50%.

As empresas que mais investiram em tecnologia modernizaram seus sistemas SCADA e implementaram algumas aplicações de DMS. O Instituto Costarricense de Eletricidade (ICE) está em fase de implementação de um projeto de seis anos que engloba um novo sistema SCADA, módulo OMS e funcionalidades completas de DMS. Além disso, uma parte da rede de média tensão está sendo modernizada com equipamentos que podem ser integrados ao ADMS, como relés, reguladores de tensão e sensores. Além disso, equipamentos avançados de medição (AMI) estão sendo integrados.

Adicionalmente, a ICE adquiriu o software CyME como ferramenta para estudos elétricos de distribuição, geração distribuída, hospedagem e coordenação de proteções. O principal objetivo é cumprir as disposições das regulamentações nacionais vigentes.



EQUADOR

No Equador, a digitalização das redes de distribuição de eletricidade ganhou força nos últimos anos, impulsionada pela necessidade de melhorar a eficiência operacional e reduzir as perdas de energia na rede. A National Electricity Corporation (CNEL) e outras distribuidoras locais começaram a implementar tecnologias digitais para modernizar sua infraestrutura elétrica, incluindo projetos de automação e gerenciamento avançado de rede. Um dos marcos mais importantes no Equador foi a implementação de medidores inteligentes em várias cidades. Em 2020, a CNEL começou a instalar mais de 150.000 medidores inteligentes em Guayaquil e outras áreas urbanas. Por sua vez, em 2024 a Centrosur assinou um acordo de cooperação tecnológica com a Gridspertise, com o objetivo de realizar ações para a implementação de iniciativas de medição inteligente, infraestrutura avançada, modernização e digitalização da rede de distribuição.

No âmbito regulatório, iniciaram-se as discussões para atualizar o marco regulatório a fim de incentivar investimentos em tecnologias avançadas e garantir que as distribuidoras tenham os recursos necessários para realizar a modernização da rede. A Agência para a Regulação e Controle de Energia e Recursos Naturais Não Renováveis (AR-CERNR) começou a explorar opções para facilitar a implementação de tecnologias de redes inteligentes.

licitações de conexão de geração distribuída cresceram consideravelmente durante o último ano, por isso é importante promover mudanças regulatórias que incentivem uma aceleração da penetração da medição inteligente, que atualmente atinge 8,4% de seu mercado.

A regulamentação guatemalteca permite o reconhecimento dos investimentos em tecnologia feitos pelas distribuidoras de duas maneiras diferentes. A primeira, quando é realizado o estudo tarifário que define o Valor Adicionado da Distribuição (VAD) atribuído às distribuidoras e que vigora há cinco anos. A segunda, quando o investimento é capitalizado e o ativo tangível ou intangível gerado entra em operação. Isso envolve notificar o regulador para que o investimento realizado seja reconhecido e o VAD seja ajustado. No entanto, existem investimentos como os implementados em medidores inteligentes que não são reconhecidos pelo regulador.

A partir de 2019, empresas como a Energuate iniciaram processos de transformação digital que buscam atualizar as plataformas tecnológicas que suportam a operação de distribuição. Estes projetos incluem a implantação da plataforma GIS, o módulo Utility Network para a gestão geográfica da rede de distribuição, a implementação de um sistema OMS e a atualização da plataforma SCADA. A Energuate já possui 37% dos equipamentos controlados remotamente e é a primeira empresa de distribuição de energia elétrica do país a implementar um SCADA na nuvem AWS.



GUATEMALA

Na Guatemala, há um atraso na digitalização e automação, derivado principalmente do baixo investimento em serviços de telecomunicações, o que limita o crescimento da tecnologia que pode ser gerenciada remotamente. Para o mercado guatemalteco, a implementação da digitalização e automação é de grande relevância, pois as so-



PERU

No Peru, a digitalização das redes de distribuição também está avançando, embora gradualmente. Projetos piloto de medidores inteligentes já foram implementados no país, com foco na melhoria da precisão da medição e na redução de perdas não técnicas, para os quais o regulador definiu as características técnicas que os medidores

devem ter. Por exemplo, a Pluz Energía instalou 22.663 medidores inteligentes na rede de baixa tensão. Em termos de automação de rede, 30% dos alimentadores de média tensão da mesma empresa possuem equipamentos de controle remoto e localização de falhas. No entanto, a regulamentação atualmente não reconhece esses ativos como equipamentos de planejamento obrigatórios.

O processo regulatório para determinar os Custos de Valor Agregado da Distribuição (VAD) no Peru permite a incorporação de encargos adicionais para inovação tecnológica, eficiência energética e substituição de sistemas de medição inteligente. Além disso, inclui incentivos para melhorar a qualidade do serviço. No entanto, esses incentivos são projetados para projetos pontuais que servem como um teste inicial, mas não para a digitalização e automação generalizada da rede. Além disso, a regulamentação peruana segue o esquema de empresa modelo, que não reconhece os investimentos reais feitos pelos distribuidores.



A digitalização e a automação dos sistemas de distribuição de eletricidade começaram a ganhar força na América Latina



IMPULSIONADORES DA DIGITALIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO

Apesar do progresso em alguns países, a digitalização das redes de distribuição na América Latina enfrenta uma série de barreiras que limitaram sua adoção em larga escala. Essas barreiras incluem a falta de financiamento adequado, a necessidade de atualizar a infraestrutura existente e a ausência de estruturas regulatórias claras que incentivem investimentos de longo prazo. No entanto, também existem oportunidades significativas para avançar na digitalização em toda a região.

A América Latina enfrenta um conjunto único de desafios na digitalização de suas redes de distribuição de energia elétrica, derivados de sua heterogeneidade econômica, social e geográfica. Em muitos países, as redes de distribuição ainda estão obsoletas e exigem investimentos significativos para se modernizar. Além disso, a lacuna tecnológica entre as áreas urbanas e rurais é considerável, dificultando a implementação de soluções digitais em algumas regiões.

A transformação digital das redes de distribuição de eletricidade na América Latina será impulsionada por uma série de fatores-chave que permitem, facilitam e incentivam a adoção de tecnologias avançadas. Esses impulsionadores incluem elementos externos, como marcos regulatórios e acesso a financiamento, e elementos internos, relacionados às estratégias das empresas de distribuição e ao desenvolvimento de capacidades técnicas.

POLÍTICAS PÚBLICAS E MARCOS REGULATÓRIOS

Governos e reguladores desempenham um papel central na concepção de políticas que facilitem a modernização da rede, protegendo os interesses dos consumidores e promovendo a competitividade no setor elétrico. Na América Latina, os marcos regulatórios têm sido, em muitos casos, lentos para se adaptar às necessidades de digitalização e automação das redes elétricas. Em muitos países, as regulamentações não incentivam as concessionárias a investir em tecnologias avançadas, pois os esquemas de remuneração não estão alinhados com os custos associados à modernização da infraestrutura. A criação de roteiros de digitalização para o setor elétrico deve ser uma prioridade para os governos, pois fornecem uma visão clara dos passos a serem dados para modernizar as redes de distribuição.

Esses roteiros podem incluir metas específicas, cronogramas e planejamento detalhado para a implementação de tecnologias digitais. Além disso, é necessário que essas políticas incluam diretrizes regulatórias para a avaliação dos benefícios da digitalização, estabelecendo uma metodologia para a avaliação econômica e técnica dos projetos que são implementados. Isso pode incluir indicadores-chave, como melhoria nos indicadores de qualidade de serviço, impacto na eficiência operacional e integração de energia renovável.

Outro aspecto fundamental é a criação de uma estrutura para avaliar a maturidade digital do setor elétrico. Os reguladores devem ter ferramentas que lhes permitam avaliar o estado atual da digitalização das empresas de distribuição, comparando-o com os padrões internacionais e estabelecendo metas de melhoria ao longo do tempo. Esse tipo de

avaliação pode ajudar a identificar lacunas na infraestrutura, capacidades técnicas e áreas onde é necessário maior apoio regulatório ou incentivos financeiros.

Alguns países latino-americanos estão introduzindo reformas nos esquemas de remuneração para incentivar o investimento em tecnologias avançadas de digitalização. No entanto, uma das abordagens mais comuns, baseada na empresa modelo, tem desvantagens significativas que podem limitar o investimento em digitalização e automação. Sob esse mecanismo, a remuneração das empresas de distribuição é definida ex ante, ou seja, é baseada nos custos estimados de uma “empresa ideal” que opera com eficiência. Nesse esquema, qualquer economia nos custos reais da empresa se traduz em lucros maiores. Assim, as empresas tendem a atrasar seus planos de melhoria e não têm incentivos adequados para realizar investimentos de longo prazo em tecnologias avançadas, como digitalização e automação de redes. Como a remuneração não é ajustada para refletir os custos reais incorridos pela empresa na implementação de novas tecnologias, as concessionárias podem ficar menos motivadas a realizar investimentos que, embora necessários para modernizar a infraestrutura e melhorar a eficiência no futuro, não se traduzem imediatamente em benefícios financeiros.

Para evitar esse comportamento, os reguladores devem projetar esquemas que incentivem as empresas a investir de forma sustentada ao longo do tempo, com um sistema de remuneração mais imediato, de preferência anualmente. O estado da arte e a regulamentação moderna sugerem que um bom esquema de remuneração deve considerar tanto o reconhecimento dos custos reais quanto os esquemas de incentivos que promovam a eficiência e a melhoria contínua dos indicadores de desempenho. Uma abordagem mais equilibrada consiste em avançar para regimes baseados em custos reais, complementados por incentivos à eficiência. Esse tipo de esquema garantiria que as empresas de distribuição fossem compensadas de forma justa por seus in-

vestimentos em digitalização, mantendo-se motivadas a melhorar continuamente seu desempenho. Outra abordagem eficaz é permitir que as distribuidoras apresentem planos de investimento que incluam ativos especiais não convencionais, como os relacionados a tecnologias avançadas, incluindo ativos físicos e digitais (software), com prazos ágeis para aprovação. Além disso, podem ser implementados esquemas de repasse, a partir da apresentação de custos reais juntamente com mecanismos de controle, como catálogos genéricos de ativos relacionados à transição energética, mas que podem ser detalhados para cada projeto tecnológico.

Por fim, a adoção de normas e padrões tecnológicos é essencial para garantir a interoperabilidade dos sistemas digitais e a segurança das redes elétricas. Em muitos países, os reguladores começaram a definir padrões para a implementação de tecnologias avançadas de medição, sistemas de gerenciamento de energia distribuída (DERMS) e plataformas de monitoramento em tempo real. Estas normas não só garantirão a interoperabilidade entre diferentes sistemas e tecnologias, como também proporcionarão às empresas de distribuição a segurança necessária para planejar os seus investimentos a longo prazo.

INCENTIVOS ECONÔMICOS E ACESSO A FINANCIAMENTO

Investimentos em redes inteligentes, sensores, medidores avançados e sistemas de automação são caros. O financiamento é uma das principais barreiras para a digitalização das redes de distribuição na América Latina. Os custos iniciais de implementação de tecnologias avançadas, como medidores inteligentes e sistemas de automação, são altos, e as concessionárias geralmente enfrentam dificuldades para acessar financiamento acessível. Como os investimentos iniciais em tecnologias avançadas costumam ser altos, as empresas de distribuição na América Latina contam com várias fontes de financiamento para realizar esses projetos.

Para além dos regimes de remuneração, alguns países começaram a oferecer incentivos fiscais e programas de apoio financeiro às empresas que investem na modernização das suas redes de distribuição. Esses incentivos podem incluir incentivos fiscais, subsídios para a implementação de tecnologias avançadas e acesso a financiamento preferencial. As instituições financeiras multilaterais também desempenham um papel crucial no financiamento de projetos de modernização da rede na América Latina. Essas instituições não apenas oferecem empréstimos a taxas preferenciais, mas também fornecem assistência técnica e apoio para capacitação em empresas de distribuição e promovem o desenvolvimento de regulamentações regulatórias que facilitem o acesso ao financiamento para projetos de digitalização.

A colaboração entre os setores público e privado é outro fator-chave que impulsiona a digitalização e a automação das redes elétricas na América Latina. As parcerias público-privadas permitem que as concessionárias acessem financiamento privado para projetos de modernização, enquanto os governos fornecem incentivos e garantias regulatórias que reduzem o risco para os investidores privados.

TREINAMENTO E CAPACITAÇÃO

Um dos principais impulsionadores da digitalização e automação das redes de distribuição de eletricidade é o treinamento e a capacitação, tanto nas empresas de distribuição quanto na população em geral. A adoção de tecnologias avançadas exige que a equipe técnica seja altamente treinada em áreas como análise de dados, gerenciamento de sistemas digitais, segurança cibernética e operação automatizada de redes.

Além da capacitação técnica, é fundamental comunicar e educar a população sobre o funcionamento e as vantagens das novas tecnologias, como os medidores inteligentes. Muitas vezes, a falta de informação sobre como essas tecnologias funcionam ou sobre os benefícios que elas trazem pode

gerar desconfiança ou resistência entre os usuários. Para maximizar o sucesso da digitalização, é essencial que as concessionárias e os governos lancem campanhas de conscientização que expliquem, de forma clara e acessível, como essas ferramentas melhoram a eficiência do sistema elétrico, otimizam o consumo de energia e permitem um monitoramento mais preciso.

Especificamente, no caso de medidores inteligentes, os usuários devem ser informados de que esses dispositivos não apenas permitem um faturamento mais preciso, mas também lhes dão a capacidade de gerenciar melhor seu consumo de energia em tempo real, o que pode se traduzir em economias significativas. Ao entender os benefícios, como a capacidade de identificar padrões de consumo e ajustar o uso de energia para reduzir custos, os usuários estarão mais inclinados a adotar essas tecnologias e participar ativamente de programas de eficiência energética. Além disso, poderão ser considerados mecanismos ou incentivos de compensação para os utilizadores afetados pela transição para novas tecnologias, atenuando assim o impacto econômico percebido e incentivando uma maior aceitação.

O esforço de educação da população não só favorece uma melhor adoção de tecnologias, mas também fomenta a confiança entre usuários e distribuidoras, melhorando a relação cliente-empresa. Isso, por sua vez, facilita a implementação de futuros avanços tecnológicos na rede e garante que o processo de modernização seja percebido como um benefício comum.

INFRAESTRUTURA DE TELECOMUNICAÇÕES

Um dos maiores desafios para a digitalização e automação das redes elétricas na América Latina é a infraestrutura de telecomunicações, especialmente em áreas rurais e isoladas. A digitalização requer redes de comunicação robustas que permitam a transmissão de grandes volumes de dados em tempo real, desde sensores distribuídos

e medidores inteligentes até sistemas de controle centralizados.

Em áreas urbanas, essas redes geralmente são bem desenvolvidas, mas em áreas remotas, a conectividade limitada pode retardar a implantação de tecnologias avançadas. A falta de infraestrutura de telecomunicações adequada nas áreas rurais impede a implantação de redes inteligentes e a integração de tecnologias como medição avançada e automação de subestações. Nestas áreas, onde a qualidade do fornecimento de eletricidade é mais vulnerável, a implementação de soluções de telecomunicações, como redes avançadas sem fios, por satélite ou mesmo 5G, é essencial para garantir que as redes possam funcionar de forma eficiente e fiável. Isso permitiria uma melhor gestão dos recursos energéticos locais e melhoraria o serviço aos usuários rurais.

Para superar esses desafios, é necessário um maior investimento em infraestrutura de telecomunicações específica para as áreas rurais. Governos e reguladores devem promover projetos que incluam a expansão das redes de comunicação, tanto para garantir a conectividade quanto para permitir a integração de tecnologias digitais nessas áreas. A adoção de soluções como redes mesh e a combinação de tecnologias de satélite com 5G podem oferecer uma cobertura mais ampla e acessível em regiões remotas.

PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO (P+D+I)

A promoção da digitalização e da automação das redes de distribuição depende também, em grande medida, do investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação (P+D+I). A criação de novas tecnologias e a adaptação de soluções avançadas às particularidades dos mercados latino-americanos são essenciais para o sucesso da transformação digital.

A colaboração internacional também desempenha um papel importante na promoção da inovação na América Latina. Os programas de inovação aberta, que permitem a transferência de conhecimento e tecnologias entre diferentes países e empresas, estão ajudando a acelerar o desenvolvimento de soluções digitais na região. Empresas e governos latino-americanos estão trabalhando com parceiros internacionais para adotar e adaptar tecnologias avançadas desenvolvidas em outras partes do mundo.

Em conclusão, os impulsionadores da digitalização e automação das redes de distribuição de eletricidade na América Latina são múltiplos e complexos. Estruturas regulatórias e incentivos econômicos são essenciais para incentivar as concessionárias a adotar novas tecnologias. O acesso a financiamentos, tanto públicos quanto privados, também desempenha um papel fundamental na implementação de projetos de modernização da rede. Além disso, o investimento em pesquisa e desenvolvimento, a capacitação técnica e a cooperação entre os setores público e privado são essenciais para garantir o sucesso da transformação digital na região. Embora os desafios sejam consideráveis, os benefícios da digitalização e da automação são claros e representam uma oportunidade para a América Latina modernizar sua infraestrutura elétrica e construir redes mais eficientes, resilientes e sustentáveis para o futuro.



A digitalização das redes de distribuição na América Latina enfrenta uma série de barreiras que limitaram sua adoção em larga escala

MELHORES PRÁTICAS INTERNACIONAIS EM DIGITALIZAÇÃO E AUTOMAÇÃO

Em todo o mundo, muitas regiões e países lograram êxitos significativos na modernização de suas redes elétricas, implementando tecnologias avançadas que permitem uma gestão mais eficiente, resiliente e flexível. As experiências internacionais oferecem lições valiosas e boas práticas que podem ser adaptadas aos contextos locais da América Latina, fornecendo um ponto de referência para o desenvolvimento de estratégias eficazes na região.



ESTADOS UNIDOS

Os Estados Unidos têm sido uma das principais referências na implementação de Smart Grids, graças à sua combinação de políticas públicas favoráveis, financiamento robusto e foco em inovação. O governo federal tem desempenhado um papel crucial desde 2009 por meio da Lei Americana de Recuperação e Reinvestimento (ARRA). Sob esta lei, o Departamento de Energia e o setor elétrico investiram em 99 projetos envolvendo mais de 200 concessionárias e outras organizações para modernizar a rede elétrica, aumentar a interoperabilidade e coletar um nível sem precedentes de dados sobre operações e benefícios de redes inteligentes, incluindo iniciativas como o Smart Grid Investment Grant (SGIG) e o Programa de Demonstração de Smart Grid (SGDP), que financiaram uma vasta gama de projetos de modernização da rede.

O sucesso da digitalização nos Estados Unidos também se deve à sua estrutura regulatória flexível. A Comissão Federal de Regulação de Energia (FERC) e as comissões estaduais adotaram uma abordagem de incentivo, em que as concessionárias podem recuperar alguns de seus investimentos em tecnologias avançadas por meio de tarifas.

Na Califórnia, uma das redes elétricas mais avançadas e automatizadas do mundo foi desenvolvida pela Pacific Gas and Electric (PG&E), que foi pioneira na implementação

de uma rede de distribuição automatizada que usa tecnologias avançadas de sensores e software para melhorar a confiabilidade do serviço, otimizar o desempenho da rede e reduzir significativamente as interrupções de energia. Um dos principais sistemas da rede automatizada da PG&E é o Sistema de Gerenciamento de Distribuição (DMS), que combina tecnologias de automação de subestações com um sistema de controle centralizado. O DMS permite o gerenciamento otimizado da demanda, garantindo que a distribuição de energia seja eficiente e que as cargas críticas possam ser priorizadas em situações de emergência ou alta demanda. Isso é especialmente importante na Califórnia, onde as ondas de calor podem levar a picos no consumo de energia, tornando crucial que a rede seja capaz de se ajustar dinamicamente.

A PG&E também implementou sistemas avançados de armazenamento de energia, como baterias de alta capacidade, que permitem que a oferta e a demanda de energia sejam equilibradas de forma mais eficiente. Esses sistemas de armazenamento são gerenciados por meio da plataforma automatizada, o que garante que o uso dos recursos energéticos seja ideal e que a energia renovável seja usada ao máximo. Isso ajudou a melhorar a estabilidade da rede e reduzir a dependência de fontes de energia mais poluentes durante os períodos de pico de demanda. A implementação dessas tec-

nologias teve um impacto significativo na confiabilidade do serviço elétrico na área de operação da PG&E. As interrupções de serviço foram reduzidas em mais de 40% em áreas onde a automação avançada de rede foi implantada.

A Southern California Edison (SCE) lançou um projeto que integra software de análise de dados e tecnologias de controle automatizado, como Dispositivos de Gerenciamento de Falhas (FLISRs) para reduzir os tempos de interrupção do serviço. Esses dispositivos podem reconhecer falhas automaticamente e redistribuir eletricidade de forma autônoma, melhorando a confiabilidade da rede.

Outro exemplo é o projeto Smart Grid da Consolidated Edison (Con Edison) em Nova York, que aproveita uma combinação de tecnologias de software e hardware para tornar a rede mais resiliente e flexível. Com a adoção de dispositivos de automação remota e sensores inteligentes, a Con Edison é capaz de monitorar e controlar a rede em tempo real, otimizando a distribuição de energia e integrando um número crescente de fontes renováveis.



UNIÃO EUROPEIA

O projeto Grid4EU é uma das iniciativas mais avançadas da União Europeia para a digitalização das redes de distribuição de eletricidade, demonstrando a viabilidade de soluções avançadas de gestão de redes para permitir a distribuição ativa de energia. Este projeto envolve seis distribuidores líderes de eletricidade da Europa: Enedis (França), Endesa (Espanha), Enel Distribuzione (Itália), RWE (Alemanha), Vattenfall (Suécia) e CEZ (República Tcheca), cada um com foco particular na implementação de tecnologias digitais e automação.

O Grid4EU começou em 2011, é cofinanciado pela Comissão Europeia e tem sido uma plataforma fundamental para testar e validar novas tecnologias que permitem às con-

cessionárias transformar a maneira como gerenciam e distribuem energia. O impacto do projeto Grid4EU tem sido significativo, não só pelos resultados técnicos obtidos, mas também pela sua capacidade de lançar as bases para futuros quadros regulatórios e operacionais que permitam uma transição mais rápida para redes inteligentes na Europa. Além disso, fornece informações valiosas sobre como projetar e implementar infraestruturas elétricas avançadas que podem ser replicadas e adaptadas em outros países e contextos regulatórios. O Grid4EU também contribuiu para o desenvolvimento de normas comuns e boas práticas em toda a União Europeia, facilitando a interoperabilidade entre diferentes tecnologias e sistemas implementados pelos operadores de distribuição.

Mais recentemente, a UE continuou a financiar, por meio do projeto Horizonte Europa, iniciativas que visam o desenvolvimento de projetos avançados e funcionalidades de redes de distribuição. Por último, o apoio da UE às distribuidoras através da criação de grupos de trabalho e parcerias específicas é crucial, por exemplo:

O Grupo de Trabalho para as Redes Inteligentes é um grupo de trabalho da Comissão Europeia dedicado ao desenvolvimento de redes inteligentes. Desde 2009, reúne distribuidores, operadores e reguladores para discutir questões-chave como interoperabilidade, segurança cibernética e gerenciamento de demanda. Promove normas comuns para facilitar a integração das energias renováveis e melhorar a resiliência das redes na Europa. Seu trabalho é essencial para a transição para um sistema energético sustentável e digital, alinhado com o Pacto Ecológico Europeu.

A E.DSO (European Distribution System Operators) é uma associação europeia que reúne os principais operadores de redes de distribuição de eletricidade para promover o desenvolvimento de redes inteligentes. A E.DSO atua em áreas-chave como digitalização, cibersegurança e integração de energias renováveis, incentivando a adoção de

tecnologias avançadas e práticas inovadoras nas redes de distribuição. Por meio de colaborações e projetos conjuntos, o E.DSO facilita o compartilhamento de conhecimento e estabelece padrões comuns para melhorar a resiliência e a eficiência das redes na Europa. Destina-se a apoiar a transição energética da Europa para um sistema sustentável e orientado para o consumidor.

A Itália se consolidou como um dos líderes em digitalização na Europa, graças ao seu foco na implementação de tecnologias de comunicação estáveis e de alta velocidade, bem como no desenvolvimento de topologias de rede menores e uma infraestrutura otimizada para ação rápida em caso de falhas. Esse modelo permitiu ao país reduzir os tempos de indisponibilidade e melhorar a qualidade do serviço. De acordo com dados do operador nacional de eletricidade, Terna, as interrupções médias foram reduzidas para menos de 50 minutos por ano por usuário nas áreas urbanas nos últimos anos, um valor bem abaixo da média europeia

Um dos maiores sucessos na digitalização das redes italianas foi a implementação do projeto Telegerire, que começou em 2001 com a introdução de medidores inteligentes pela Enel Distribuzione, cobrindo mais de 35 milhões de usuários. Este sistema foi pioneiro na Europa, permitindo a monitorização e gestão em tempo real dos consumos, resultando numa melhoria drástica na deteção e resolução de falhas. O sistema utiliza uma rede de comunicações de alta velocidade para gerir a infraestrutura de distribuição e garantir a disponibilidade dos dados em tempo real, otimizando a resposta a qualquer contingência.

Uma das conquistas mais importantes da digitalização na Itália foi a redução de desvios na qualidade do fornecimento, como variações de tensão ou frequência de fornecimento. Graças ao uso de tecnologias avançadas de controle e monitoramento constante da rede, a Itália conseguiu minimizar essas variações e manter um fornecimento de eletricidade mais estável e confiável. Isso foi possível em grande parte pelo

uso de sistemas de automação que permitem que os operadores da rede façam ajustes em tempo real para equilibrar a carga e manter a estabilidade do sistema.

Um dos projetos mais recentes da **e-distribuzione** é o **Network Digital Twin**. Este projeto cria uma réplica digital da rede de distribuição de eletricidade, permitindo a monitorização em tempo real e a análise preditiva dos fluxos de energia. Com esta tecnologia, a e-distribuzione pode antecipar falhas, otimizar a gestão da rede e facilitar a integração de energias renováveis. O Digital Twin melhora a resiliência e a eficiência da rede, apoiando a transição energética na Itália. A réplica digital da rede também inclui a capacidade de escanear companhias aéreas com drones e cabines secundárias e primárias com lasers terrestres. O software analisa esses dados para detectar anomalias e otimizar as atividades de manutenção, evitando problemas críticos.

Na Espanha, a e-distribución lidera a digitalização das redes elétricas com vários projetos inovadores. A digitalização da rede inclui o uso de um Gêmeo Digital para simular e otimizar o comportamento dos ativos em tempo real, melhorando a eficiência. Projetos como o Aerial-Core, que utiliza drones para inspecionar e manipular elementos da rede, e o Smart5Grid, que implementa o 5G para garantir a segurança dos operadores e otimizar a automação da infraestrutura. Outros projetos incluem o Resisto, que aumenta a resiliência a eventos climáticos, e o LEO Satellite, que permite o controle remoto da rede em áreas remotas. Além disso, a e-distribución realizou provas de conceito com start-ups em áreas como a supervisão de linhas elétricas e a gestão de resíduos perto de redes aéreas. Também está investigando a flexibilidade da rede por meio de projetos como Coordinet e BeFlexible, que buscam melhorar a estabilidade usando recursos subutilizados e mobilidade elétrica.



REINO UNIDO

O Reino Unido foi um dos pioneiros na criação de mercados de energia inovadores, impulsionados pela digitalização e automação da distribuição de eletricidade. Uma das iniciativas mais proeminentes no Reino Unido é a criação de mercados de flexibilidade, onde empresas e consumidores podem oferecer serviços de correspondência de demanda e geração distribuída para estabilizar a rede. Isso foi facilitado pela digitalização das redes elétricas e pela adoção de tecnologias como infraestrutura de medição avançada (AMI) e plataformas de gerenciamento de demanda. Empresas como a UK Power Networks implementaram projetos-piloto em Londres e outras cidades para gerenciar melhor a demanda de pico e reduzir a necessidade de investimentos em novas infraestruturas.

O Reino Unido também fez progressos na automação da rede para facilitar a integração de energias renováveis. Na Escócia, a Scottish Power desenvolveu projetos que incluem automação de subestações e o uso de IA para otimizar o fluxo de energia renovável na rede. Isso possibilitou aumentar a participação da energia eólica na rede elétrica do país sem comprometer a estabilidade do sistema.

O regulador do setor elétrico do Reino Unido, Ofgem, tem sido um ator importante na promoção da digitalização, introduzindo estruturas regulatórias que incentivam a inovação. Por meio de seu modelo regulatório RII0 (Receita = Incentivos + Inovação + Resultados), a Ofgem forneceu incentivos financeiros a concessionárias que adotam tecnologias avançadas para melhorar a eficiência e a confiabilidade da rede. No RII0 3, as distribuidoras recebem uma “quota” de recursos especificamente destinados à inovação tecnológica, o que lhes permite fazer investimentos em novas tecnologias e soluções digitais sem depender exclusivamente das receitas geradas pelas tarifas tradicionais. Essa abordagem é relevante

para a América Latina, onde a inclusão de uma “cota” regulada para inovação nos marcos regulatórios nacionais poderia acelerar a transformação digital do setor elétrico.



JAPÃO

O Japão é referência em automação de redes, especialmente após o devastador terremoto e tsunami de 2011, que expôs a vulnerabilidade da infraestrutura elétrica. Desde então, o Japão implementou uma série de iniciativas para melhorar a resiliência de sua rede por meio de tecnologias digitais e automação avançada. Um dos principais desenvolvimentos no Japão foi a adoção de microrredes inteligentes, principalmente em áreas propensas a desastres naturais. A microrrede de Sendai na região de Tohoku é um exemplo proeminente. Esta rede foi equipada com sistemas de automação que permitem que a microrrede opere de forma independente em caso de desconexão da rede principal, garantindo o fornecimento de eletricidade em caso de emergência. Além disso, a integração do armazenamento de energia e da geração distribuída permitiu que a microrrede gerenciasse efetivamente o fornecimento local e contribuísse para a estabilidade do sistema principal.

O Japão também liderou a implementação de sistemas avançados de gerenciamento de distribuição (ADMS), que permitem que as concessionárias antecipem e gerenciem interrupções com mais eficiência. Empresas como a Tokyo Electric Power Company (TEPCO) adotaram essas tecnologias para otimizar a operação da rede, reduzir o tempo de inatividade e melhorar a resiliência contra desastres futuros.

O Japão implementou políticas regulatórias específicas para incentivar a digitalização como uma ferramenta fundamental para melhorar a resiliência da rede. A Estratégia Nacional de Resiliência Energética estabelece metas claras para a digitalização das redes elétricas, priorizando a automação e a criação de sistemas distribuídos mais flexíveis.



COREIA DO SUL

A Coreia do Sul, por meio de sua principal empresa de energia, a Korea Electric Power Corporation (KEPCO), desenvolveu uma das redes elétricas mais avançadas do mundo, usando a integração efetiva de tecnologias de informação e comunicação (TICs) em todo o sistema de distribuição. Um dos principais projetos dentro da digitalização da KEPCO foi a implementação de uma plataforma que conecta mais de 2 milhões de medidores inteligentes e outros dispositivos IoT, fornecendo monitoramento constante e a capacidade de gerenciar com eficiência o fornecimento e a demanda de energia.

A KEPCO também desenvolveu uma plataforma de análise de dados que usa algoritmos avançados de aprendizado de máquina para prever a demanda de energia com alta precisão, otimizar a carga da rede e realizar simulações sobre o comportamento da rede em diferentes cenários. Além disso, o Sistema Avançado de Gerenciamento de Rede (ADMS) da KEPCO permite que a empresa detecte ameaças cibernéticas, execute verificações de vulnerabilidades e responda rapidamente a tentativas de interrupções do sistema. Isso tornou a KEPCO uma referência global em termos de segurança cibernética aplicada às redes elétricas.



Em todo o mundo, muitas regiões e países lograram êxitos significativos na modernização de suas redes elétricas, implementando tecnologias avançadas que permitem uma gestão mais eficiente, resiliente e flexível

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A digitalização e a automação dos sistemas de distribuição de eletricidade na América Latina representam uma oportunidade crucial para modernizar a infraestrutura energética da região, melhorar a eficiência operacional, reduzir as perdas de energia, aumentar a resiliência da rede e facilitar a integração de energias renováveis. À medida que a região avança em direção a um futuro energético mais sustentável, a adoção de tecnologias digitais avançadas é fundamental para enfrentar os crescentes desafios de demanda de energia, descarbonização e segurança de fornecimento.

O marco regulatório desempenha um papel central na promoção ou limitação da digitalização e automatização das redes de distribuição. Os países que implementaram regulações claras e consistentes para incentivar o investimento em redes inteligentes e tecnologias avançadas fizeram progressos mais rápidos na modernização de suas redes. Por outro lado, nos países onde os marcos regulatórios são ambíguos ou não incluem incentivos específicos para a digitalização, as empresas de distribuição têm sido mais relutantes em realizar os investimentos necessários.

A transformação digital das redes de distribuição de eletricidade requer investimentos significativos, que muitas vezes excedem a capacidade financeira das concessionárias, especialmente em países em desenvolvimento ou países com economias em dificuldades. A cooperação público-privada e o acesso a financiamento acessível, tanto por meio de bancos multilaterais quanto de iniciativas privadas, são essenciais para desbloquear os investimentos necessários.

O sucesso da digitalização e automação depende não apenas da tecnologia, mas também do capital humano e da capacidade das empresas de se adaptarem a essas mudanças. O desenvolvimento de capacidades técnicas especializadas no setor elétrico é crucial para garantir que os investimentos em tecnologia sejam implementados de forma eficaz. Além disso, a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação (P+D+I) devem ser incentivados para adaptar as tecnologias globais às realidades específicas da região. A criação de centros de inovação, a colaboração com universidades e centros de pesquisa e a transferência de conhecimento internacional são fatores-chave para promover a modernização tecnológica das redes de distribuição na América Latina.

Com base nas conclusões acima, propõem-se as seguintes recomendações para que a América Latina avance na digitalização e automação de suas redes de distribuição de energia elétrica.

Figura 3. Recomendações para avançar no D&A da distribuição de eletricidade

Habilitar a transição de DNO para DSO	Remuneração baseada em custos reais e revisão de ciclos tarifários	Normas sobre uso de dados e privacidade da informação
Cooperação público-privada e acesso a financiamento	Padrões e interoperabilidade	Promover P+D+i
Adaptar as melhores práticas internacionais aos contextos locais	Enfoque de gestão da mudança	Fornecedores como sócios estratégicos

HABILITANDO A TRANSIÇÃO PARA UM DSO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Um passo crucial para impulsionar a digitalização das redes de distribuição é permitir a mudança do distribuidor tradicional para um Operador do Sistema de Distribuição (DSO). Este modelo permite que as empresas de distribuição não apenas gerenciem a infraestrutura física da rede, mas também facilitem e incentivem a integração de diferentes tecnologias e plataformas de monitoramento, digitalização e automação. O DSO atua como um facilitador para a incorporação de energias renováveis distribuídas, armazenamento de energia, sistemas de gerenciamento de demanda e veículos elétricos, promovendo uma rede mais flexível e eficiente. A adoção do modelo DSO também ajuda a definir mais claramente as responsabilidades e direitos dos diferentes atores que usam a rede de distribuição, como geradores distribuídos, operadores do mercado de energia e consumidores. Essa estrutura mais estruturada é fundamental para que as tecnologias de digitalização possam funcionar de maneira integrada e eficiente, maximizando os benefícios para operadores e usuários finais.

REMUNERAÇÃO BASEADA NOS CUSTOS REAIS E REVISÃO DOS CICLOS TARIFÁRIOS

Um dos maiores obstáculos ao incentivo ao investimento na digitalização e automação no setor da distribuição de eletricidade é o mecanismo de remuneração baseado na empresa-modelo. Neste regime, a remuneração dos distribuidores é fixada ex ante, tomando como referência os custos de uma empresa ideal. Isso significa que qualquer economia de custos que uma empresa real obtenha se traduz em maior lucratividade, mas não incentiva diretamente a adoção de tecnologias inovadoras, como digitalização ou automação. Assim, embora esse sistema possa promover a eficiência operacional, ele não cria os incentivos adequados para o investimento em modernização tecnológica no longo prazo.

Portanto, é essencial revisar tanto o método de remuneração quanto os períodos de reconhecimento do investimento. Uma abordagem mais favorável seria avançar para um método de fixação de preços baseado nos custos, que reconheça mais imediatamente os investimentos na digitalização, juntamente com um pacote de incentivos à eficiência. Esse esquema misto garantiria que os distribuidores fossem compensados de forma justa por seus esforços de modernização, ao mesmo tempo em que promoveria melhorias contínuas na qualidade do

serviço e na eficiência operacional. Além disso, a redução dos períodos de reconhecimento dos investimentos proporcionaria maior segurança às empresas, incentivando-as a fazer investimentos antecipados em tecnologias avançadas que beneficiem todo o sistema elétrico.

REGRAS DE USO DE DADOS E PRIVACIDADE DE INFORMAÇÕES

No processo de digitalização, é essencial desenvolver regras claras sobre o uso de dados e privacidade das informações. As redes de distribuição digitalizadas geram grandes volumes de dados sobre o consumo de energia e o estado da rede, apresentando desafios significativos em termos de segurança da informação e proteção da privacidade do consumidor. Devem ser implementadas regras regulatórias que autorizem a participação ativa dos Operadores de Sistemas de Distribuição (DSOs) no gerenciamento de dados, mas com salvaguardas rígidas que garantam que as informações sejam usadas de forma ética e com o consentimento adequado dos usuários. Esses padrões devem incluir protocolos de segurança cibernética, garantindo que as redes digitalizadas não sejam vulneráveis a ataques cibernéticos e que os dados sejam tratados com segurança e responsabilidade.

COOPERAÇÃO PÚBLICO-PRIVADA E ACESSO AO FINANCIAMENTO

A cooperação entre os setores público e privado é essencial para mobilizar os investimentos necessários para a digitalização e automatização das redes de distribuição. Os investimentos nessas tecnologias, embora essenciais, podem ser substanciais e pressionar as taxas se não forem gerenciados adequadamente. Para minimizar esse impacto, os governos podem facilitar o acesso a financiamento preferencial e mecanismos inovadores que garantam que os investimentos sejam distribuídos de maneira mais equilibrada e sem afetar significativamente os custos para os consumidores.

Uma solução é promover alianças com bancos multilaterais, instituições financeiras e atores privados, que permitam a mobilização de capital em condições acessíveis às empresas de distribuição. A criação de fundos nacionais ou regionais para a modernização da infraestrutura elétrica, com condições preferenciais para projetos de digitalização e automação, também poderia reduzir os custos de investimento, o que evitaria um aumento direto das tarifas. Esses recursos podem priorizar projetos que modernizem a infraestrutura, melhorem a eficiência e gerem benefícios de longo prazo, compensando parte do investimento por meio de melhorias operacionais e redução de perdas de energia.

Além disso, a implementação de mecanismos de mitigação de riscos, como garantias governamentais, pode atrair a participação do setor privado, reduzindo a percepção de risco e, conseqüentemente, os custos associados ao financiamento. Isso é particularmente relevante em mercados emergentes ou áreas rurais e isoladas, onde a infraestrutura de telecomunicações e energia é mais limitada. Ao reduzir o custo de capital e compartilhar o risco entre os setores público e privado, essas estratégias não apenas garantem a viabilidade dos projetos, mas também ajudam a mitigar o impacto nas taxas.

PROMOVER A INVESTIGAÇÃO, O DESENVOLVIMENTO E A INOVAÇÃO (I+D+I)

A pesquisa, desenvolvimento e inovação (I+D+i) é essencial para adaptar as tecnologias emergentes às particularidades locais, garantindo que as soluções são adequadas às suas realidades energéticas, econômicas e climáticas. Os governos podem desempenhar um papel crucial neste processo, fornecendo incentivos e criando programas que fomentem a inovação em empresas, universidades e centros de investigação. Além disso, laboratórios de inovação e plataformas piloto podem ser estabelecidos, onde as tecnologias emergentes são testadas e

validadas em ambientes controlados antes de sua implementação em larga escala.

Os países da América Latina também podem aproveitar o conhecimento e as melhores práticas de países que já avançaram na digitalização de suas redes, como os Estados Unidos e os países europeus. O estabelecimento de projetos conjuntos e a participação em iniciativas globais de inovação energética podem acelerar a adoção de tecnologias comprovadas e facilitar a transferência de conhecimento. Além disso, é importante promover um modelo de inovação aberta, no qual empresas de distribuição, universidades, centros de pesquisa e fornecedores de tecnologia colaborem estreitamente para desenvolver soluções tecnológicas que respondam aos desafios específicos do setor elétrico na região. Essa cooperação pode gerar sinergias que maximizam os resultados e aceleram o processo de modernização das redes elétricas.

ADAPTAÇÃO DAS MELHORES PRÁTICAS INTERNACIONAIS AOS CONTEXTOS LOCAIS

A América Latina pode aprender com as experiências dos países líderes em digitalização. No entanto, é fundamental que as soluções tecnológicas e regulatórias sejam adaptadas às realidades específicas de cada país da região. Governos e concessionárias devem avaliar as melhores práticas internacionais e ajustar sua implementação de acordo com as particularidades de suas redes, infraestrutura e demanda de energia. Além disso, recomenda-se que os reguladores promovam projetos-piloto de redes inteligentes em diferentes partes da região, adaptados aos contextos urbanos e rurais, para testar soluções tecnológicas e obter aprendizados que possam ser dimensionados posteriormente.

ABORDAGEM DE GERENCIAMENTO DE MUDANÇAS PARA D&A

A digitalização e a automação não são simplesmente projetos tecnológicos, mas representam uma iniciativa estratégica que transforma fundamentalmente a forma como uma empresa de distribuição de eletricidade opera. Para que essas iniciativas sejam bem-sucedidas, é crucial que elas sejam apoiadas pelo mais alto nível da organização e estejam totalmente alinhadas com sua visão de longo prazo. Isso significa que o processo de digitalização deve ser visto como uma prioridade estratégica e não apenas como uma melhoria operacional pontual. A alta administração deve estar firmemente comprometida em liderar e promover essa mudança, pois ela afetará todas as áreas da empresa, desde a operação técnica até a gestão de clientes.

A transição para redes digitalizadas e automatizadas envolve profundas mudanças organizacionais, que exigem não apenas a implementação de novas tecnologias, mas também a aquisição de novas habilidades e a adaptação dos processos operacionais e de gestão. Isso requer a criação de uma equipe multifuncional dedicada que inclui especialistas em tecnologia, operações, finanças, atendimento ao cliente e outras áreas-chave.

Além disso, a justificativa financeira para digitalização e automação deve ser abordada de uma perspectiva diferente da análise tradicional de custo-benefício. Não apenas economias tangíveis nos custos operacionais, como reduções nas interrupções ou nos custos de manutenção, devem ser consideradas, mas também economias intangíveis que, embora possam ser mais difíceis de quantificar, têm um impacto significativo a longo prazo. Isso inclui maior satisfação do cliente, maior resiliência operacional e maior capacidade de integrar tecnologias futuras, como energias renováveis e veículos elétricos. Esses benefícios intangíveis são essenciais para justificar os investimentos, pois preparam a empresa para o futuro e permitem que ela permaneça competitiva em um ambiente em rápida evolução.

FORNECEDORES COMO PARCEIROS ESTRATÉGICOS

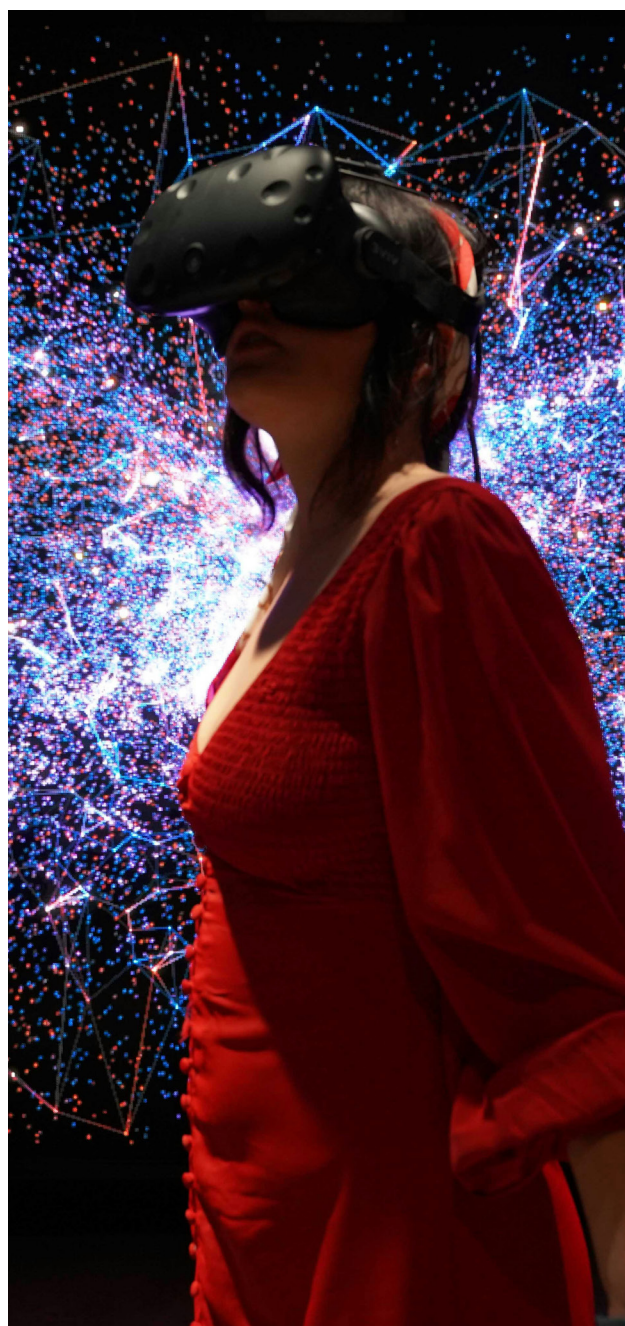
No processo de digitalização e automação, os fornecedores de tecnologia não devem ser vistos simplesmente como vendedores de produtos ou serviços, mas como parceiros estratégicos na transformação da empresa de distribuição. Os fornecedores desempenham um papel crucial na implementação bem-sucedida de tecnologias avançadas e devem ser parte integrante do processo, desde a fase de planejamento até a execução e manutenção de soluções tecnológicas.

É importante estabelecer relações colaborativas com fornecedores que entendam os objetivos de longo prazo da empresa e possam se adaptar às suas necessidades específicas. Esses provedores fornecem soluções escaláveis e flexíveis, capazes de evoluir junto com a rede elétrica à medida que tecnologias mais avançadas são integradas, como armazenamento de energia, geração distribuída e sistemas de gerenciamento de demanda.

A estreita colaboração com os fornecedores permite uma melhor adaptação das soluções tecnológicas, garantindo que estas estão alinhadas com as particularidades operacionais da rede de distribuição. Além disso, os fornecedores podem oferecer treinamento técnico e suporte contínuo à equipe do distribuidor, o que é essencial para o desenvolvimento das capacidades necessárias para operar e manter as novas tecnologias. Dessa forma, as empresas de distribuição podem garantir que estão implementando as melhores práticas e usando as tecnologias mais inovadoras e adequadas às suas necessidades.

A digitalização e a automação das redes de distribuição de eletricidade são passos críticos para que a América Latina alcance um futuro energético mais eficiente, resiliente e sustentável. À medida que a região continua enfrentando desafios relacionados à crescente demanda de energia, descarboni-

zação e integração de energia renovável, a adoção de tecnologias avançadas será um pilar crítico para garantir um fornecimento de eletricidade confiável e de qualidade. Com um claro foco na criação de um ambiente regulatório favorável, acesso a financiamento, cooperação público-privada, capacitação técnica e inovação tecnológica, a América Latina tem a oportunidade de avançar na modernização de suas redes de distribuição e se posicionar como referência na transição para um sistema elétrico mais inteligente e sustentável.



Amazon Web Services (AWS). (2024). "AWS en el sector energético y servicios públicos. Transforme. Innove. Acelere la transición energética." Recuperado de: <https://aws.amazon.com/es/energy-utilities/>.

ADELAT (2024). "Sin inversión no hay transición: El futuro de la distribución eléctrica en América Latina". Disponible en: https://adelat.com/wp-content/uploads/2024/09/Policy-Paper_Sin-inversion-no-hay-transicion-1.pdf.

ANEEL (2024). "Avaliação de modelos regulatórios para implantação de sistemas de medição inteligentes no sistema de distribuição brasileiro. Sumário Executivo".

BID (2023). "La medición inteligente en América Latina y el Caribe. Recomendaciones regulatorias para incentivar el despliegue de la medición inteligente a nivel nacional". Recuperado de: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-Medicion-Inteligente-en-America-Latina-y-el-Caribe-Recomendaciones-regulatorias-para-incentivar-el-despliegue-de-la-medicion-inteligente-a-nivel-nacional.pdf>.

BID Invest (2024). "Cómo las nuevas tecnologías están transformando la energía en América Latina y el Caribe". Recuperado de: <https://www.idbinvest.org/en/download/21629>

Chakraborty A. y Huang A. (2017). "Digital Grid: Transforming the Electric Power Grid into an Innovation Engine for the United States." Recuperado de: <https://arxiv.org/pdf/1705.01925>.

Colombia Inteligente (2022). "Digitalización del servicio de la energía eléctrica. Lineamientos estratégicos" Disponible en: https://colombiainteligente.org/es_co/producto/digitalizacion-del-servicio-de-energia-electrica-lineamientos-estrategicos/.

Colombia Inteligente (2023). "Metodologías para evaluar la madurez digital del sector eléctrico. Referenciamiento" Disponible en: https://colombiainteligente.org/es_co/producto/metodologias-para-evaluar-la-madurez-digital-del-sector-electrico-referenciamiento/.

Colombia Inteligente (2023). "Metodologías para la valoración de la digitalización del servicio de la energía eléctrica. Referenciamiento" Disponible en: https://colombiainteligente.org/es_co/producto/metodologias-para-la-valoracion-de-la-digitalizacion-del-servicio-de-la-energia-electrica-referenciamiento/.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) (2022). Resolución 101 001 de 2022: "Por la cual se establecen las condiciones para la implementación de la infraestructura de medición avanzada en el SIN". Bogotá, Colombia: CREG. Recuperado de <https://www.creg.gov.co/>.

Comisión Nacional de Energía (2019). "Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución". Recuperado de: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/12/Norma-T%C3%A9cnica-de-Calidad-de-Servicio-para-Sistemas-de-Distribuci%C3%B3n.pdf>.

Endesa (2024). "Nuevas tecnologías para la eficiencia energética". Recuperado de: <https://www.endesa.com/es/nuestro-compromiso/innovacion/redes-inteligentes-smart-grids>.

EPRI (2013). "Distribution Management Systems Planning Guide". Recuperado de: <https://restservice.epri.com/public-download/000000000001024385/0/Product>.

EPRI (2013). "Survey of Advanced Metering Infrastructure Applications". Recuperado de: <https://www.epri.com/research/products/3002001077>.

EPRI (2014). "Advanced Metering Infrastructure-to-Outage Management System Use Case Exploration". Recuperado de: <https://www.epri.com/research/products/000000003002002858>.

EPRI (2022). "Distribution Operational Planning: Expanding the Capabilities of a Modern Control Center". Recuperado de: <https://www.epri.com/research/products/000000003002025412>.

Eurelectric, Accenture (2024). "Digitalisation of the Grid study for DSOs".

Johnson, Anthony (2021). "SCE's Next-Generation Grid Management System" Recuperado de: https://www.energy.gov/sites/default/files/2021/02/f82/FERC2_Johnson_SCE.pdf

MIT (2016). "Utility of the Future. An MIT Energy Initiative response to an industry in transition". Recuperado de: <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/12/Utility-of-the-Future-Full-Report.pdf>.

U.S. Department of Energy (2015). "Voices of Experience. Insights into Advanced Distribution Management Systems". Recuperado de: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/02/f19/Voices%20of%20Experience%20-%20Advanced%20Distribution%20Management%20Systems%20February%202015.pdf>.

Warren, Chris (2023). "Operating a reliable distribution system is more complex, challenging, and important than ever before. EPRI research is identifying and sharing the skills operators need to do it well". EPRI Journal. Recuperado de: <https://eprijournal.com/distribution-control-center-2-0/>.

