

## Objetivos e Desafios do Projeto de P&D MERGE: *Microgrids for Efficient, Reliable and Greener Energy*

Juan Camilo López\*, João Inácio Yutaka Ota\*, Marcos J. Rider\*, José A. Pomilio\*, Luiz C. P. da Silva\*,  
Rafael Gomes Bento\*\*

\* Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC)  
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

email: {jclopeza, mjrider}@dsee.fee.unicamp.br, {yutaka, antenor}@fee.unicamp.br, [lui@unicamp.br](mailto:lui@unicamp.br)

\*\* Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL)  
Diretoria de Estratégia e Inovação do Grupo CPFL Energia  
email: rafaelbento@cpfl.com.br

---

**Abstract:** This paper discusses both, the objectives and challenges of the ongoing research and development industrial project (R&D) MERGE - *Microgrids for Efficient, Reliable and Greener Energy*. During the MERGE project, four microgrids with different features and goals will be fully designed, deployed and tested; operating either at grid-connected mode or at grid-islanded mode. The microgrids are a laboratorial microgrid that will take place at the Smart Grid Laboratory (LabREI) at FEEC-UNICAMP, a university campus microgrid, a DC nanogrid with electric vehicle charging points, and a residential microgrid outside the university campus. The MERGE project is a multidisciplinary effort that combines research and engineering tasks in the following topics: sizing, designing and specification of microgrids, energy management systems, power electronics, state estimation, forecasting, energy stability, cybersecurity and regulation. In the end, the microgrids of the MERGE project will be the first of their kind and size in Brazil, providing great opportunities for new business models, and greener, more flexible and reliable electricity to the final users.

**Resumo:** Neste artigo, discute-se os principais objetivos e desafios do projeto de pesquisa e desenvolvimento (projeto P&D) chamado MERGE - *Microgrids for Efficient, Reliable and Greener Energy*. Durante o projeto MERGE, quatro microrredes com características e finalidades diferentes serão planejadas, implementadas e testadas, tanto no modo conectado à rede como no modo isolado: uma microrrede ao nível laboratorial que terá lugar no Laboratório de Pesquisas em Redes Elétricas Inteligentes – LabREI da UNICAMP, uma microrrede de alguns prédios do campus da UNICAMP, uma nanorrede DC com pontos de carregamento de veículos elétricos, e uma microrrede residencial fora da universidade. O projeto MERGE é um esforço multidisciplinar que combina pesquisa e engenharia aplicadas aos seguintes tópicos: dimensionamento, projeto e especificação das microrredes, sistemas de gerenciamento energético, eletrônica de potência, estimação de estado, previsão de demanda/geração renovável, estabilidade, segurança cibernética e regulação brasileira. No final, as microrredes do projeto MERGE serão as primeiras do seu tipo e tamanho no Brasil, gerando oportunidades para novos modelos de negócio, e eletricidade mais sustentável, flexível e confinável aos usuários finais.

**Keywords:** Energy storage systems, microgrids, renewable energy resources, research and development (R&D) project, smartgrids

**Palavras-chaves:** Fontes de energia renovável, microrredes, projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D), redes elétricas inteligentes, sistemas de armazenamento de energia.

---

### 1. INTRODUÇÃO

A integração das fontes de energia renováveis nos sistemas de potência traz como benefícios a diversificação da matriz energética, adiamento dos grandes investimentos em produção de energia elétrica, e redução das emissões de gases de efeito estufa. Porém, criam-se desafios devido à intermitência dessas fontes e a razoabilidade dos custos de

investimento. A interconexão das fontes renováveis dentro das redes existentes constitui a origem da aparição das microrredes, onde um conjunto de recursos distribuídos são coordenados localmente, visando manter uma operação mais eficiente, confiável e sustentável (HATZIARGYRIOU, 2010).

Uma microrrede típica consiste em uma variedade de recursos energéticos, incluindo fontes de geração renovável,

geração distribuída, sistemas de armazenamento, pontos de carregamento de veículos elétricos, e cargas controláveis e não controláveis (ZAMBRONI DE SOUZA E CASTILLA, 2018). O Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) define uma microrrede como um grupo de cargas interconectadas e recursos de energia distribuída dentro de limites elétricos claramente definidos que atuam como uma única entidade controlável em relação à rede e pode se conectar e desconectar da rede para permitir que ela opere tanto no modo conectado à rede como no modo ilhado (TON E SMITH, 2012).

Historicamente, as principais motivações para desenvolvimento de microrredes em locais onde existe rede elétrica são: 1) confiabilidade; 2) benefícios econômicos; 3) integração de fontes renováveis (BAHRAMI E MOHAMMADI, 2019). Nos Estados Unidos a principal motivação tem sido em melhorar a resiliência e a confiabilidade em áreas críticas, perante ataques cibernéticos e condições climáticas severas. Além disso, o custo econômico devido ao adiamento da construção de grandes centrais geradoras e a economia relacionada ao aumento da eficiência também tem impulsionado o desenvolvimento das microrredes. Na Europa, a principal motivação tem sido a necessidade de integrar grandes quantidades de fontes renováveis à rede, no intuito de diminuir o impacto ambiental devido a geração de energia elétrica a partir de combustíveis fósseis (DELFINO *et al.*, 2018).

No Brasil, as “microrredes” existentes operam de forma unicamente isolada devido ao fato delas serem instaladas em locais onde não há conexão ao Sistema Interligado Nacional (SIN) (VERAS *et al.*, 2019). Microrredes conectadas são raras e ainda em estado incipiente de pesquisa. Contudo, em 2018 os consumidores de energia elétrica no Brasil sofreram interrupção no fornecimento em média de 12,85 horas por ano gerando prejuízos de R\$ 483,52 milhões (ANEEL 2018). As microrredes, então, são uma alternativa eficiente e moderna para o combate a interrupção de consumidores mais sensíveis e mais prejudicados por esses eventos. Além disso, com o incremento da geração solar no Brasil, as microrredes surgem como excelente alternativa para integrar essas novas fontes de geração, através da implantação de sistemas de gerenciamento energético que executem algoritmos eficientes para o controle dos armazenadores de energia, dos conversores e da demanda (CHOWDHURY E CROSSLEY, 2009).

Estabelece-se então uma forte motivação para aumentar os investimentos no planejamento, implantação e testes de microrredes, com capacidade de operação conectada à rede e ilhada, que produza pesquisa relevante, novos produtos e novos modelos de negócio para as empresas concessionárias de energia. Neste contexto, apresenta-se o projeto de pesquisa e desenvolvimento (projeto P&D) chamado MERGE - *Microgrids for Efficient, Reliable and Greener Energy*, financiado pela CPFL Energia, que procura desenvolver conhecimento para antecipar oportunidades, enfrentar ameaças e gerar valor agregado por meio do estudo da implantação de aplicações reais de microrredes no Brasil.

O objetivo deste artigo é apresentar as características gerais do projeto P&D MERGE, os desafios que serão enfrentados durante as fases de planejamento, implantação e testes das microrredes, e os produtos de pesquisa esperados nos tópicos de sistemas de gerenciamento energético, eletrônica de potência, estimação de estado e previsão de demanda/geração renovável, estabilidade, segurança cibernética e regulação dentro da realidade brasileira.

## 2. PROJETO DE P&D MERGE: *Microgrids for Efficient, Reliable and Greener Energy*

Figura 1 apresenta uma visão geral das principais funcionalidades de controle necessárias em uma microrrede com capacidades de operação em conexão à rede e ilhada. As principais funcionalidades estão divididas em três grupos segundo a camada de operação. No nível superior estão as funcionalidades relacionadas com a interação da microrrede com as redes externas e os esquemas de mercado energético. No nível médio encontram-se as funcionalidades referentes ao controle interno da microrrede em termos de gerenciamento energético e controle integrado dos sistemas de potência. Finalmente, no nível inferior, encontram-se as funcionalidades com características de operação em tempo real relacionadas principalmente com o controle local de cada um dos componentes. Embora a camada de telecomunicações seja transversal a todos os processos, ela não é indispensável para a operação mínima do sistema. Destaca-se a interdisciplinaridade das equipes que participarão do projeto, onde diversas funções e pesquisas poderão ser desenvolvidas nos tópicos de sistemas de gerenciamento energético, eletrônica de potência, estimação de estado, previsão de demanda/geração renovável, estabilidade, segurança cibernética e regulação.

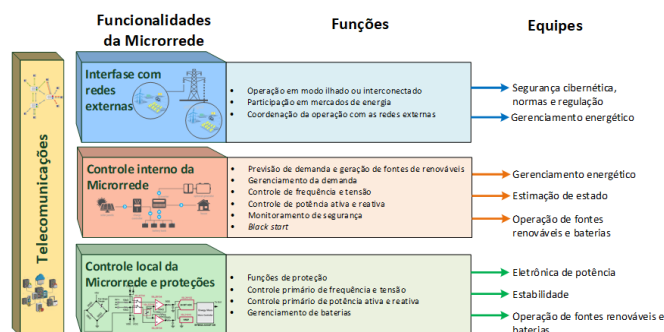


Figura 1 Funcionalidades das microrredes.

Como objetivos específicos, o Projeto MERGE fará o planejamento, a implantação e os testes de quatro microrredes na região do distrito de Barão Geraldo, cidade de Campinas, estado de São Paulo:

1. Microrrede LabREI
2. NANOGRID
3. CAMPUSGRID
4. CONGRID

Cada uma das microrredes apresenta características e desafios particulares, devido à natureza da demanda que deve satisfazer em cada área alvo, e das fontes de energia renováveis a serem integradas. Prevê-se a execução do

projeto em 48 meses. Como executoras do projeto estão confirmadas equipes formadas por pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e do Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação (IATI).

Especifica-se, a seguir, o escopo, área alvo e infraestrutura atual de cada uma das microrredes a serem desenvolvidas, fazendo ênfase nos objetivos e desafios que têm sido identificados nas microrredes piloto do projeto.

### 2.1 Microrrede LabREI: laboratório de microrredes

A primeira microrrede encontra-se em funcionamento na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da (FEEC) da UNICAMP. A microrrede LabREI está localizada no Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes (LabREI), sendo financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo através do Projeto “Pesquisas Interdisciplinares em Redes Elétrica Inteligentes” (FAPESP, 2019). A microrrede LabREI oferece um ambiente controlado para testes e estudos de novas aplicações relacionadas às redes elétricas inteligentes (*smartgrids*) e microrredes (POMILIO *et al.*, 2019).

Figura 2 apresenta um esquema simplificado da microrrede LabREI, a qual é formada por 13 barras, cada uma permitindo a conexão de uma unidade de *prosumer* (do inglês, “*productor and consumer*”). A microrrede LabREI também possibilita alterações em sua configuração e na localização de seus elementos ativos. O conceito do LABREI inclui o uso de tecnologias reais de geração, armazenamento, consumo controlável e não controlável, monitoramento, gestão, entre outros. Além disso o LABREI fornecerá plataformas para estudos baseados em simulação computacional, simulação real em nível experimental, bem como a combinação de ambos, através de simulação em tempo real (i.e., *hardware-in-the-loop*). O LABREI fornecerá um ambiente de baixo risco, permitindo uma ampla gama de estudos e simulações, e devolvendo como resultado principal um elevado impacto no nível de conhecimento e domínio do tema para os participantes do projeto. Portanto, o LABREI será a base estruturante para o sucesso do projeto MERGE, uma vez que no laboratório, com potência na faixa de algumas dezenas de kVA, e não em campo, será possível separar as boas soluções daquelas que não oferecem bons resultados.

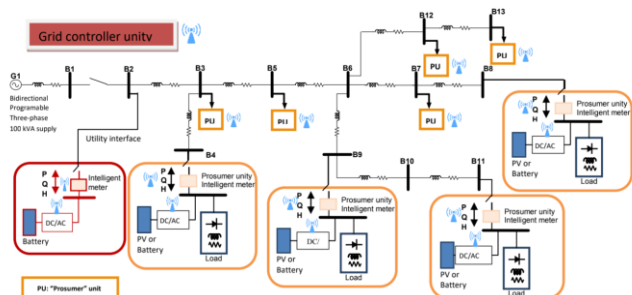


Figura 2. Esquema da Microrrede LabREI (POMILIO *et al.*, 2019).

Figura 3 apresenta a estrutura física da Microrrede LabREI, a qual conta atualmente com os seguintes equipamentos disponíveis para testes laboratoriais:

- Conversor trifásico bidirecional, 126 kVA, programável (*Regenerative grid simulator*).
- Analisador de Energia trifásico, 4 canais.
- Emuladores de banco de baterias (*Regenerative power system*), 500 V, 40 A, 10 kW.
- Emuladores de painéis fotovoltaicos (*Autoranging System DC power supply with PV mode*), 1500 V, 30 A, 15 kW
- Registrador portátil trifásico de qualidade de energia elétrica, 4 canais de tensão e 4 canais de corrente.
- Carga eletrônica regenerativa, 4 quadrantes, 10,5 kVA
- Banco de cargas RLC trifásico, programável, 15 kVA.

Pretende-se aumentar a capacidade da microrrede através da aquisição e implantação dos seguintes novos equipamentos:

- Simulador do tipo *hardware-in-the-loop* (HIL);
- Osciloscópios digitais, de 6 a 4 canais, sondas de corrente, sondas de tensão isoladas e recursos de análise de energia;
- Computadores pessoais e acessórios;
- Monitores de vídeo;
- Inversores para interfaces GD e instalação na microrrede;
- Equipamentos para sistema de comunicação e informação e instalação na microrrede, incluindo fontes de alimentação ininterrupta;
- Sistemas simuladores de GD (PV, baterias, microturbina, etc.) para instalação na microrrede.

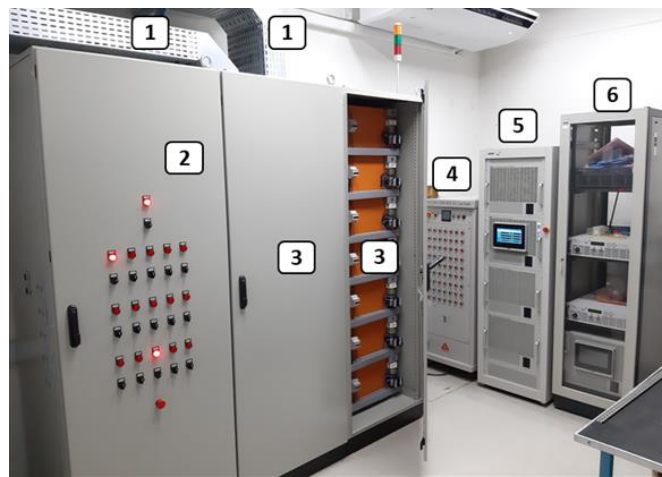


Figura 3. Estrutura física do LabREI, Microrrede LabREI e equipamentos. Legenda: 1) Eletrocalha para os cabos elétricos; 2) Painel com módulos de monitoramento e controle; 3) Painéis com barramentos e acesso a medidores; 4) Banco de cargas RLC; 5) Conversor Bidirecional; 6) Rack com Emulador de bancos de baterias, Emuladores de painéis fotovoltaicos e Carga eletrônica regenerativa (POMILIO *et al.*, 2019).

Finalmente, os desafios atuais identificados durante a fase de planejamento, implantação e testes da microrrede laboratorial LabREI são:

1. Finalização de comissionamento da Microrrede LabREI e de compra de equipamentos;
2. Avanço na automatização e de interface de acesso remota à estrutura da Microrrede LabREI, com a síntese de circuitos integrados, a configuração de servidor de dados e acesso, além da criação de interface de visualização de dados e de operação da Microrrede;
3. Diferentes fabricantes e tecnologias de sistemas de aquisição, armazenamento e transmissão de dados trazem desafios de interoperabilidade dentro do sistema, especialmente na operação e supervisão remota da microrrede.

## 2.2 NANOGRID: Nanorrede de Corrente Contínua (CC)

A microrrede NANOGRID é a realização de uma nanorrede de corrente contínua, que será aplicada em uma garagem de veículos elétricos na sede da Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL em Campinas, SP. A NANOGRID consistirá de frota já existente de veículos elétricos da CPFL juntamente com a implantação de novos pontos de carregamento, de geração fotovoltaica e de armazenamento de energia em baterias, aliados a uma gestão energética e de recarga, realizados em plataformas local e remota. O objetivo é explorar o conceito de microrredes e nanorredes de corrente contínua (CC) e a viabilidade de integração com a infraestrutura elétrica existente (DRAGIČEVIĆ *et al.*, 2016). A NANOGRID também servirá de um *showroom* de tecnologias e soluções associadas às microrredes para profissionais do setor elétrico.

O principal desafio relacionados com a nanorrede é a pouca experiência do setor elétrico brasileiro com a implantação de sistemas de corrente contínua, integrando no mesmo barramento os pontos de carregamento de veículos elétricos, os painéis fotovoltaicos e os sistemas de armazenamento. O risco associado é considerado médio pois poucas pessoas terão acesso à nanorrede, e serão pessoas que detêm conhecimento médio ou elevado sobre as tecnologias empregadas.

## 2.3 CAMPUSGRID: Microrrede do campus universitário

A microrrede CAMPUSGRID é a aplicação em campo de uma microrrede de grande porte no campus da UNICAMP em Campinas. Trata-se da maior microrrede a ser implantada no Brasil, sendo uma futura referência para o setor elétrico brasileiro. Sua implantação será realizada através do esforço conjunto de uma equipe multidisciplinar, de forma a controlar os riscos e entregar um resultado que atenda à expectativa inicial. Neste caso, as etapas de estudos, dimensionamento, implantação e testes estarão sob responsabilidade das equipes da UNICAMP, da UFMA, a qual especialmente possui experiência na implantação de microrredes isoladas (BARCELOS *et al.*, 2019) (VERAS *et al.*, 2019), e da CPFL.

Figura 4 mostra a área alvo e a demanda nominal da CAMPUSGRID. A CAMPUSGRID abrangerá o Ginásio Multidisciplinar (GMU), a Biblioteca Central César Lattes

(BC) e o Restaurante Universitário (RU), incluindo uma usina de geração fotovoltaica com capacidade instalada de 330 kWp e uma estação de carregamento do ônibus elétrico referente ao projeto P&D PD-00063-3032/2017 (ANEEL 2017). A estimativa é que esta microrrede atinja uma capacidade instalada superior a 1 MVA.

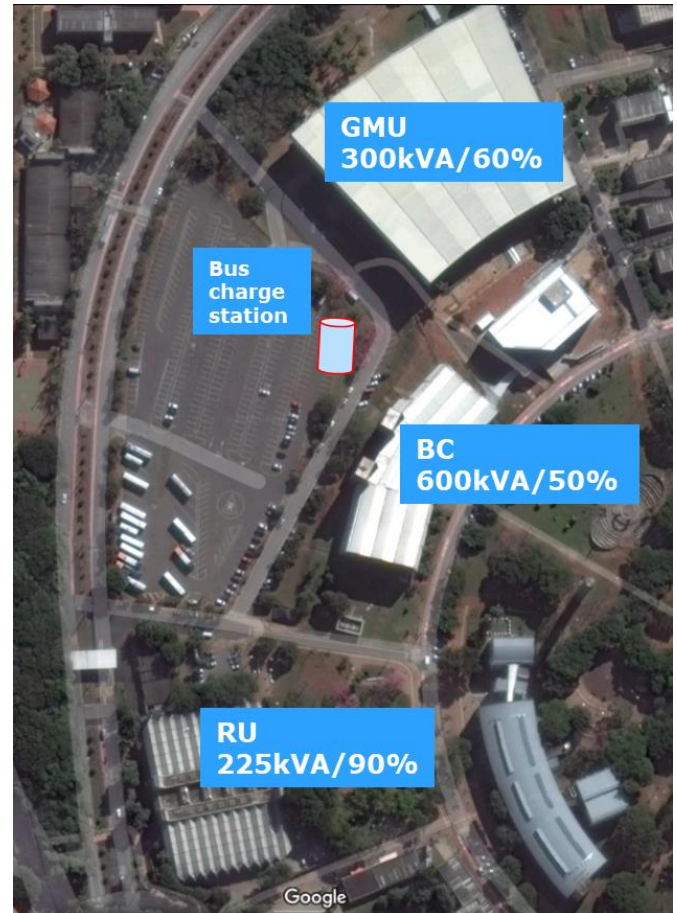


Figura 4. Área alvo da microrrede CAMPUSGRID – UNICAMP, com a capacidade instalada de seus principais prédios e sua respectiva taxa de utilização.

Claramente o desafio é elevado, mas neste estágio o nível de conhecimento das equipes executoras será também elevado. A CAMPUSGRID deverá ser implementada em quatro semestres, com início no segundo ano do projeto MERGE. O primeiro semestre será dedicado ao planejamento e aos estudos técnicos da localização física da CAMPUSGRID, enquanto no segundo semestre serão adquiridos os equipamentos necessários à sua implantação. A implantação em campo terá início no terceiro semestre, e no quarto semestre será iniciada a operação da CAMPUSGRID, com seu subsequente monitoramento e a realização de estudos dos resultados obtidos.

Os desafios identificados no planejamento, implantação e comissionamento da microrrede CAMPUSGRID são vários, os quais podem tanto atrasar o cronograma de execução quanto comprometer totalmente a execução da microrrede em questão. Os principais desafios identificados são:

1. Demora no processo de especificação, aquisição e despacho dos componentes podem levar atrasos ao projeto, uma vez que certos equipamentos, p.ex., os sistemas de armazenamento e as chaves de transição de estado conectado/ilhado, não são de fabricação em massa e deverão ser customizados.
2. Agendamento das etapas de implantação física da CAMPUSGRID, uma vez que grande parte das atividades realizadas em seus prédios não podem sofrer longos períodos de interrupção de fornecimento de eletricidade, especialmente durante o período de aulas.
3. Prevê-se a implantação da CAMPUSGRID na rede de média tensão (rede primária de distribuição), o que acarretará em maiores custos nos dispositivos de medida, eletrônica de potência e de proteção.
4. Os fatores que determinam o sistema de armazenamento apresentam objetivos conflitantes que deverão ser ponderados na hora de definir o tamanho e o tipo de baterias, p.ex., o tempo esperado de operação ilhada, a geração fotovoltaica média, o pico de demanda e a tecnologia de bateria (p.ex., chumbo-ácido, níquel-cádmio, íons de lítio etc.).

### 2.3 CONGRID: Microrrede residencial

A microrrede CONGRID tem o objetivo de implantar uma microrrede “piloto” fora do campus universitário, levando o conceito de microrredes à consumidores da região de atuação da CPFL. A CONGRID será projetada e instalada em um condomínio de Barão Geraldo, distrito de Campinas, SP, o qual passaria a integrar tecnologias de geração fotovoltaica, armazenamento e gestão da energia e possuirá a capacidade de operar tanto em modo conectado com a rede de distribuição quanto em ilhamento forçado ou intencional.

Trata-se da etapa do projeto MERGE com maior grau de risco por implantar novas tecnologias em um ambiente de uso intenso, por consumidores reais e leigos. Portanto, cronologicamente será a última microrrede a ser implantada no projeto. Além disso, apenas incluirá funcionalidades e aplicações exaustivamente testadas e bem-sucedidas nas microrredes executadas anteriormente. Será escolhido um condomínio dentre os que já participaram do projeto P&D PD-0063-3012/2014 (ANEEL 2014), de forma a aproveitar a infraestrutura de geração fotovoltaica já instalada, reduzindo custos na implantação da CONGRID. Esta microrrede também passará por longo e amplo cronograma de levantamento de dados, planejamento, projetos de engenharia, implantação e testes, sendo que a segurança física e cibernética são aspectos críticos neste caso. A CONGRID deverá estar totalmente operacional somente no quarto ano do projeto.

### 3. OPORTUNIDADES E EQUIPES DE PESQUISA

Em paralelo ao projeto e implantação das quatro microrredes, o projeto propõe amplo plano de pesquisa no tema de microrredes com abrangência em todas as escalas de tempo

associadas aos fenômenos intrínsecos à operação delas. São consideradas as escalas de tempo em:

✓ **MILISSEGUNDOS:** aqui uma equipe especializada estudará todos os fenômenos rápidos associados aos equipamentos conectados via conversores eletrônicos de potência;

✓ **SEGUNDOS:** estudos de controle e estabilidade envolvendo eventuais fontes rotativas com dinâmica um pouco mais lenta;

✓ **MINUTOS a HORAS:** modelos de otimização para despacho de ações para a operação no curto prazo das microrredes;

✓ **HORAS a DIAS:** modelos de otimização incluindo previsões meteorológicas e de demanda para despacho de ações para o planejamento da operação das microrredes no médio prazo.

Adicionalmente, as equipes desenvolverão estudos e procedimentos de suporte para viabilizar a implantação sistemática de microrredes seguras, confiáveis e sustentáveis, e para explicitar e esclarecer eventuais impactos de microrredes no setor de distribuição de energia. Espera-se que o projeto MERGE forme recursos humanos altamente qualificados, contribuindo à evolução do conhecimento no âmbito das microrredes através de financiamento para a realização de 12 pós-doutorados, 10 doutoramentos, 12 mestrados e 4 trabalhos de conclusão de curso, além de relatórios técnicos referentes ao andamento do projeto e às várias ferramentas digitais e diversos dispositivos desenvolvidos para o planejamento e operação eficiente das microrredes. A seguir listam-se as principais funções de cada equipe, de acordo com sua especialidade:

✓ **ELETRÔNICA DE POTÊNCIA:** a equipe dará suporte técnico às especificações, implantação e testes dos conversores eletrônicos de potência nas microrredes, e será responsável pela implantação, caracterização e operação do LabREI.

✓ **ESTABILIDADE TRANSITÓRIA:** a equipe desenvolverá estudos e implantará técnicas de controle para garantir uma operação estável das microrredes durante a operação ilhada e nas operações de ilhamento das microrredes.

✓ **ESTIMAÇÃO DE ESTADO:** a equipe desenvolverá soluções para garantir a integração de todos os dados coletados nas microrredes, a estimação de dados adicionais necessários, e o fornecimento de dados e informações necessárias em outras aplicações das microrredes.

✓ **GERENCIAMENTO ENERGÉTICO:** a equipe apresentará novas metodologias para o gerenciamento dos recursos distribuídos das microrredes e desenvolverá sistemas de gerenciamento energético nas microrredes, visando minimizar os custos operacionais e maximizar a integração das fontes renováveis de energia.

✓ **SEGURANÇA CIBERNÉTICA:** serão desenvolvidos e estudados protocolos e estratégias para proteger e blindar os equipamentos e sistemas das microrredes em caso de ataques cibernéticos.

✓ **TEMAS REGULATÓRIOS:** serão desenvolvidos estudos de impacto regulatório com propostas de alterações necessárias em normas vigentes para viabilizar o novo mercado de microrredes e ao mesmo tempo proteger e garantir segurança ao mercado regulado de distribuição de energia.

## 6. CONCLUSÕES

Neste artigo, foram apresentados o escopo e os principais desafios do projeto P&D MERGE - *Microgrids for Efficient, Reliable and Greener Energy*. Neste caso, quatro microrredes pilotos serão projetadas, implementadas e testadas, tanto no modo conectado à rede, como no modo ilhado, e durante o ilhamento. A Microrrede LabREI será a base para realização experimental de diversos estudos relacionados à implantação de microrredes reais. Espera-se que o conhecimento obtido seja então aplicado à microrrede CAMPUSGRID, a ser localizada na UNICAMP, e à NANOGGRID, a ser localizada na sede da CPFL. Por último, planeja-se a implantação da microrrede residencial CONGRID, na qual o conhecimento técnico e científico relacionado às microrredes já estará consolidado através de exaustivas verificações e estudos, de forma a garantir a implantação segura de uma microrrede em um ambiente não controlado. Desafios e riscos relacionados à implantação de cada uma das microrredes foram identificados, com o objetivo de compartilhar e revelar os principais desafios que serão enfrentados pelos futuros projetistas de microrredes no Brasil. Finalmente, ressalta-se a multidisciplinaridade do projeto MERGE através da apresentação de diversas possibilidades de pesquisa em diferentes áreas do conhecimento científico, com a oportunidade de lançamento de novos produtos e modelos de negócio, resultando em sistemas elétricos mais sustentáveis, flexíveis e confiáveis para os consumidores finais.

## AGRADECIMENTOS

O Projeto P&D MERGE e suas pesquisas são financiadas pela CPFL Energia (ANEEL Projeto P&D PD-00063-3058/2019: Desenvolvimento de Microrredes Eficientes, Confiáveis e Sustentáveis).

O LabREI e suas pesquisas são financiadas pela FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (processos 2016/08645-9, 2018/13993-1).

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL (2014). *Projeto P&D PD-0063-3012/2014: Aplicação massiva de geração distribuída solar em diferentes tipologias de telhados na cidade de Campinas*. Brasília, Brasil.

Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL (2017). *Projeto P&D PD-00063-3032/2017: Desenvolvimento de um modelo de Campus Sustentável na UNICAMP – Laboratório vivo de aplicações de minigeração*

*renovável, eficiência energética, monitoramento e gestão do consumo de energia*. Brasília, Brasil.

Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL (2018). *Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica*. Brasília, Brasil.

Bahrami, S. e Mohammadi, A. (2019) *Smart Microgrids: From Design to Laboratory-Scale Implementation*. Springer, New York, USA.

Barcelos, S.L., de Matos, J.G. e Ribeiro, L.A.S. (2019). Modelling and Analysis of the Isolated Microgrid Installed at the Lençóis Island using PSCAD/EMTDC. In: *15th Brazilian Power Electronics Conference and 5th IEEE Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC 2019)*, Santos, São Paulo, Brasil, pp.273-278.

Chowdhury, S. e Crossley, P. (2009) *Microgrids and Active Distribution Networks*. Institution of Engineering and Technology. London, UK.

Delfino, F., Procopio, P., Rossi, M., Brignone, M., Robba, M. e Bracco, S. (2018) *Microgrid Design and Operation: Toward Smart Energy in Cities*. Artech House. Norwood, USA.

Dragičević, T., Lu, X., Vasquez, J.C. and Guerrero, J.M. (2016). DC Microgrids-Part II: A Review of Power Architectures, Applications, and Standardization Issues, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 5, pp. 3528-3549.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (2019). Pesquisas interdisciplinares em redes inteligentes de energia elétrica. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/pt/auxilios/97003/pesquisas-interdisciplinares-em-redes-inteligentes-de-energia-eletrica/>>. Acesso em 17 jan. 2020.

Hatzigiorgiou, N. (2014). *Microgrids: Architectures and Control*. Wiley-IEEE Press, West Sussex, UK.

Pomilio, J.A., Ota, J.I.Y., do Val, J.B.R, Ruppert Fo., E., Lyra Fo., C., Marafão, F.P., Freitas, W., Dotta, D., Ferreira, P.A.V., Villalva, M.G., Mendes, L.S., Rothenberg, C.E., Sguarezzi Fo., A.J., Gonçalves, F.A.S., Paredes, H.K.M., Godoy, E.P., Guillard Jr., H. e Guerreiro, J.F. (2019). Pesquisas Interdisciplinares em Redes Inteligentes de Energia Elétrica. In: *3o Simposio Iberoamericano em Microrredes Inteligentes con Integración de Energías Renovables*, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 1 a 4 de setembro de 2019.

Ton, M.A., Smith, D.T. (2012). The U.S. Department of Energy's Microgrid Initiative. In *The Electricity Journal*, volume 25, 84-94.

Veras, L., Oliveira, H., de Matos, J.G., Saavedra, O.S., Ribeiro, L.A.S. (2019). Analysis of Performance and Opportunity for Improvements in the Microgrid of Ilha Grande. In: *15th Brazilian Power Electronics Conference and 5th IEEE Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC 2019)*, Santos, São Paulo, Brasil, pp.1161-1166.

Zambroni de Souza, A.C., Castilla, M. (2018). *Microgrids Design and Implementation*. Springer, New York, USA.