



Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Guia técnico



CIBIOGAS
ENERGIAS RENOVÁVEIS



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Parceiros do Projeto



Parceiros nesta Atividade



Comitê Diretor do Projeto



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



www.gefbiogas.org.br

This project/program is funded by the Global Environment Facility

Projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” (GEF Biogás Brasil)



Este documento está sob a licença Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License. Citações ao material deste documento devem ser da seguinte forma:

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica: guia técnico.** Brasília: MCTI, 2021. *E-book.* (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

COMITÊ DIRETOR DO PROJETO

Fundo Global para o Meio Ambiente

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Ministério de Minas e Energia

Ministério do Meio Ambiente

Ministério do Desenvolvimento Regional

Centro Internacional de Energias Renováveis

Itaipu Binacional

PARCEIROS DO PROJETO

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

Associação Brasileira do Biogás

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FICHA TÉCNICA

Nome do produto:

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Entidades diretamente envolvidas:

Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás)

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO)

Autoria e coautoria:

Breno Carneiro Pinheiro - CIBiogás

Daiana Gotardo Martinez - CIBiogás | UNIDO

Natalí Nunes dos Reis da Silva - CIBiogás | UNIDO

Roberto Cayetano Lotero - CIBiogás

Revisão técnica:

Rogério Meneghetti

Marcia Hino

Coordenação:

Felipe Souza Marques - CIBiogás | UNIDO

Editoração:

Nicole Mattiello

Data da publicação:

Agosto, 2022.

O68b Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica: guia técnico / Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial ; Comitê diretor do projeto Centro Internacional de Energias Renováveis. – Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021.

31 p.: il. – (GEF Biogás Brasil)

ISBN: 978-65-87432-41-0

1. Biogás – Energia elétrica – Distribuição. 2. Biogás – Energia elétrica – Microrredes. 3. Biogás – Suprimento energético. 4. Sistema de distribuição de energia elétrica – Fontes alternativas. I. Pinheiro, Breno Carneiro. II. Martinez, Daiana Gotardo. III. Silva, Natalí Nunes dos Reis da. IV. Lotero, Roberto Cayetano. V. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. VI. UNIDO. VII. Centro Internacional de Energias Renováveis. VIII. CIBiogás. IX. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira. X. Título. XI. Série.

CDU 662.767.2



APRESENTAÇÃO

O Projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” (GEF Biogás Brasil) reúne o esforço coletivo de organismos internacionais, setor privado, entidades setoriais e do Governo Federal em prol da diversificação da matriz energética do país por meio do biogás.

O Projeto é liderado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), implementado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), e conta com o Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás) como principal entidade executora.

O objetivo do Projeto é reduzir a emissão de gases de efeito estufa, fortalecendo as cadeias de valor e inovação tecnológica ligadas à produção de biogás. Por meio de ações concretas, o Projeto amplia a oferta de energia e combustível no Brasil a partir da geração de biogás e biometano, fortalecendo as cadeias nacionais de fornecimento de tecnologia no setor e facilitando investimentos.

O biogás é uma fonte renovável de energia elétrica, energia térmica e combustível. Seu processamento também resulta em biofertilizantes de alta qualidade para uso agrícola. A gestão sustentável dos resíduos orgânicos provenientes da agroindústria e de ambientes urbanos por meio da produção de biogás traz um diferencial competitivo para a economia brasileira. Desenvolver a cadeia de valor do biogás significa investir em uma economia circular envolvendo inovação e novas oportunidades de negócios. Indústrias de equipamentos e serviços, concessionárias de energia e gás, produtores rurais e administrações municipais estão entre os beneficiários do Projeto, que conta com US \$7,828,000 em investimentos diretos.

Com abordagem inicial na Região Sul e no Distrito Federal, o Projeto gera impactos positivos para todo o país. As atividades do Projeto incluem a atuação direta junto a empresas, cooperativas e entidades da governança do biogás para implementar acordos de cooperação, fazer análises de mercado, desenvolver modelos de negócio inovadores e atrair investimentos nacionais e internacionais.

O Projeto também investe diretamente na otimização de plantas de biogás mais eficientes, seguras e com modelos replicáveis, entregando ao mercado exemplos práticos de sucesso operacional. Além disso, o Projeto desenvolve ferramentas digitais e atividades de capacitação que atualizam e dinamizam o setor, facilitando o desenvolvimento de projetos executivos de biogás. Em paralelo, especialistas do Projeto desenvolvem estudos técnicos com dados inéditos que apoiam o avanço de políticas públicas favoráveis ao biogás. Dessa forma, o Projeto entrega para o mercado brasileiro mais competitividade, fomentando o biogás como um grande catalizador de novas oportunidades.



Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Guia técnico

Data da Publicação:

Agosto / 2022



Sumário

1. Resumo/Abstract	6
2. Impactos.....	7
3. Introdução	8
4. Microrredes: contextualização e aspectos técnicos	9
5. Microrredes: aspectos regulatórios	18
a. Cenário Internacional.....	18
i. Porto Rico	18
ii. Estados Unidos.....	20
iii. Alemanha.....	21
b. Cenário Nacional.....	23
6. Panorama de arranjos técnicos de microrredes no Brasil.....	26
7. Considerações Finais	30
Referências	31

1. Resumo/Abstract

PORTUGUÊS

Microrredes são sistemas de distribuição de pequena escala, que operam de forma conectada à rede principal ou isolada, sendo atendidos por, pelo menos, uma unidade geradora. A opção de operar em modo isolado, traz aos consumidores confiabilidade e segurança energética, sendo este um dos maiores benefícios obtidos a partir desses novos arranjos de suprimento, já que permitem o fornecimento de eletricidade aos consumidores em momentos de interrupção na rede principal. O biogás se insere como fonte energética potencial nestes arranjos, devido aos atributos conferidos, como despachabilidade e armazenamento, caracterizando-se como geração firme. Neste documento, serão evidenciados os aspectos técnicos, regulatórios e oportunidades para implementação e exploração destes novos arranjos de suprimento energético a partir de microrredes.

Palavras-chave: Microrrede, energia elétrica, qualidade de energia, segurança energética, biogás.

ENGLISH

Microgrids are small-scale distribution systems, which operate connected to the distribution system or isolated, being served by at least one generating unit. The option of operating in isolated mode brings consumers reliability and energy security, one of the greatest benefits obtained from these new supply arrangements, since they allow the supply of electricity to consumers at times of interruption in the main grid. Biogas is inserted as a potential energy source in these arrangements, due to the attributes conferred, such as dispatchability and storage, being characterized as firm generation. This document will highlight technical and regulatory aspects, as well as opportunities for implementing and exploring these new energy supply arrangements based on microgrids.

Keywords: Microgrid, electric power, energy quality, energy safety, biogas.

2. Impactos

Novos arranjos para suprimento energético apresentam-se como alternativas atrativas para auxiliar o sistema elétrico, principalmente o sistema de distribuição, na melhora da continuidade no fornecimento, confiabilidade e segurança energética. Neste âmbito, as microrredes se inserem, tornam-se uma opção aderente ao cenário exposto.

Os aspectos técnicos obtidos a partir destes arranjos podem contribuir de maneira vantajosa para a rede de distribuição principal e para os consumidores, permitindo assegurar o suprimento energético em áreas isoladas, como as rurais. Neste quesito, o biogás apresenta-se como opção para constituição de microrredes, já que os substratos estão disponíveis de maneira vasta nestas áreas e essa fonte caracterizada como geração firme, permite o atendimento energético em momentos estratégicos ou necessários.

Diante disso, espera-se com esta nota técnica, apresentar as potencialidades em se explorar novos arranjos a partir de microrredes, compreendendo as fontes energéticas que podem constituir as unidades geradoras, as categorizações das cargas atendidas, modos de operação e benefícios energéticos estabelecidos. Além disso, serão analisados aspectos regulatórios, vislumbrando alternativas propostas a nível nacional para regulamentação destes arranjos, sendo elencadas oportunidades para o mercado, correlacionando os benefícios das microrredes e necessidades do sistema elétrico.

3. Introdução

A crescente demanda energética aliada à exigência dos consumidores pelo serviço de energia elétrica de forma continuada e sem interrupções, devido aos processos produtivos mais dependentes desse produto e a sensibilidade de equipamentos, evidenciam a necessidade de soluções para as falhas no fornecimento e melhoria no suprimento.

As falhas no fornecimento de energia elétrica estão atreladas na maioria dos casos ao sistema de distribuição, uma vez que se trata, de forma majoritária, de redes na configuração radial. Em locais afastados dos centros de carga (por exemplo, na área rural), os chamados “fins de linha”, essa condição de instabilidade agrava-se, acarretando em perdas financeiras ao consumidor, reduzindo a produtividade e limitando sua expansão.

Diante desta perspectiva, buscar alternativas de suprimento energético de forma distribuída, sem a necessidade de altos investimentos nas redes de distribuição, pode resultar em inúmeros benefícios, como a melhoria na continuidade do fornecimento, a confiabilidade e a segurança energética.

Desta forma, a inserção da geração distribuída (GD) apresenta-se como opção atrativa, pois engloba a descentralização do sistema de geração, empregando de forma otimizada os recursos energéticos distribuídos (REDs). Assim, é proporcionada uma aproximação entre a geração e o consumo, cujas vantagens podem ser ainda ampliadas quando se migra do conceito de GD para o de microrredes (MR).

A definição de microrredes (em inglês *microgrids*) está relacionada a redes de distribuição de pequeno porte, que podem operar de forma isolada ou conectada ao sistema de distribuição principal, sendo atendidas por, pelo menos, uma unidade geradora. As alterações no fornecimento, conexão e distribuição ocasionadas a partir desses novos arranjos para suprimento de energia, exigem reformulação em relação às questões técnicas e regulatórias.

Nesse contexto, esta publicação foi estruturada a fim de elencar as potencialidades de novos arranjos envolvendo microrredes, identificando os aspectos relacionados aos quesitos técnicos e aos avanços regulatórios sobre a temática.

4. Microrredes: contextualização e aspectos técnicos

As microrredes são como sistemas de potência em escala reduzida, constituídas por unidades geradoras de energia – podendo ser uma ou mais fontes energéticas atreladas à geração – que operam atendendo a demanda energética para suprimento de energia elétrica dos consumidores conectados ao arranjo, conforme exemplifica a Figura 1 (Lasseter R. H., 2002; Erikson & Gray, 2017).

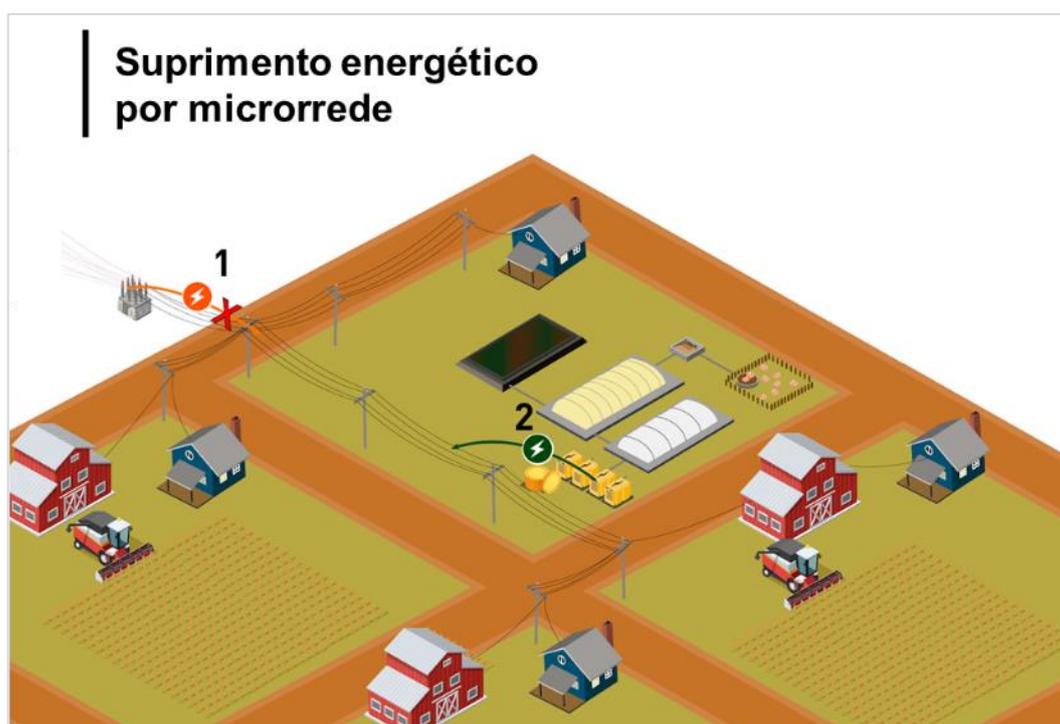


Figura 1. Exemplificação de suprimento energético a partir de microrrede constituída por geração de energia elétrica a biogás, em área rural.

Fonte: Acervo CIBiogás.

Em arranjos envolvendo **fontes energéticas despacháveis**, como o caso do **biogás**, têm-se a potencialidade de armazenar o combustível e, conseqüentemente, possuir geração de base, despachando em condições favoráveis, estratégicas e em casos de necessidade de suprimento emergencial ou programado. Para arranjos envolvendo o biogás, a segurança no suprimento está exclusivamente relacionada à disponibilidade de gás, sem interferências ambientais e climáticas para operação do sistema de geração de energia.

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Para MR envolvendo **fontes não-despacháveis** (tais como solar fotovoltaica e eólica), é necessária a associação de **dispositivos de armazenamento** e/ou a **integração com fontes caracterizadas como geração de base** ou geração firme (ou seja, as fontes despacháveis). Desta forma, a sinergia entre as fontes energéticas agrega ao arranjo a confiabilidade requerida.

Destaque-se que as microrredes podem operar de duas formas: (i) **isolada da rede principal**; e, (ii) **conectada ao sistema de distribuição principal**, demandando uma conexão com a rede a partir de um único ponto de acoplamento comum (PCC – *point of common coupling*), localizado no primário do transformador. Assim, a MR pode ser vista pelo sistema de distribuição como uma única entidade, como se fosse uma única carga despachável, comportando-se como uma só fonte ou carga simples, permitindo a conexão e desconexão da rede.

Operando em modo conectado, a microrrede estabelece o intercâmbio de potências entre os sistemas. Dessa forma, a energia elétrica pode ser consumida ou exportada para rede de distribuição, sendo que a quantidade de eletricidade consumida e injetada pela microrrede é determinada pelo balanço de carga e geração. Para este modo de operação, o **sistema de distribuição principal torna-se a referência da microrrede**, controlando as variáveis de tensão e frequência.

A grande vantagem ao operar conectada à rede é que o despacho de potência dos REDs é feito considerando apenas critérios econômicos, sem preocupações com as variáveis de referência do sistema de distribuição, já que a rede convencional atua nessa vertente.

Quando ocorre uma falha no sistema de distribuição, ou caso necessário, a microrrede pode passar a operar de forma isolada, sendo as cargas supridas unicamente pelos recursos energéticos inseridos na própria MR. Nesse modo de operação, a **unidade geradora deve realizar o controle da tensão e frequência localmente**, ou seja, sem a referência da rede principal.

A opção de operar em modo isolado (de forma intencional ou programada) compreende um dos maiores benefícios relacionados à microrrede, pois a confiabilidade e qualidade de energia são assegurados pelo arranjo, permitindo reduzir interrupções no suprimento de energia elétrica, suportando e atendendo as cargas quando requisitado.

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Sobre as cargas dos consumidores atreladas ao arranjo, estas podem ser categorizadas de diferentes formas, podendo ser: controláveis e não controláveis, críticas ou não críticas ou ainda por nível de prioridade de operação. Ressalta-se que o dimensionamento da unidade geradora deve prever, ao menos, a disponibilidade para atendimento das cargas elencadas como prioritárias e/ou críticas, já que operando em modo isolado os recursos energéticos estabelecidos para geração são os limitantes para o suprimento adequado dos consumidores.

A respeito das possibilidades identificadas relativas às fontes energéticas, atendimento de cargas e modos de operação, a Figura 2 apresenta de forma simplificada as informações dispostas às microrredes.

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

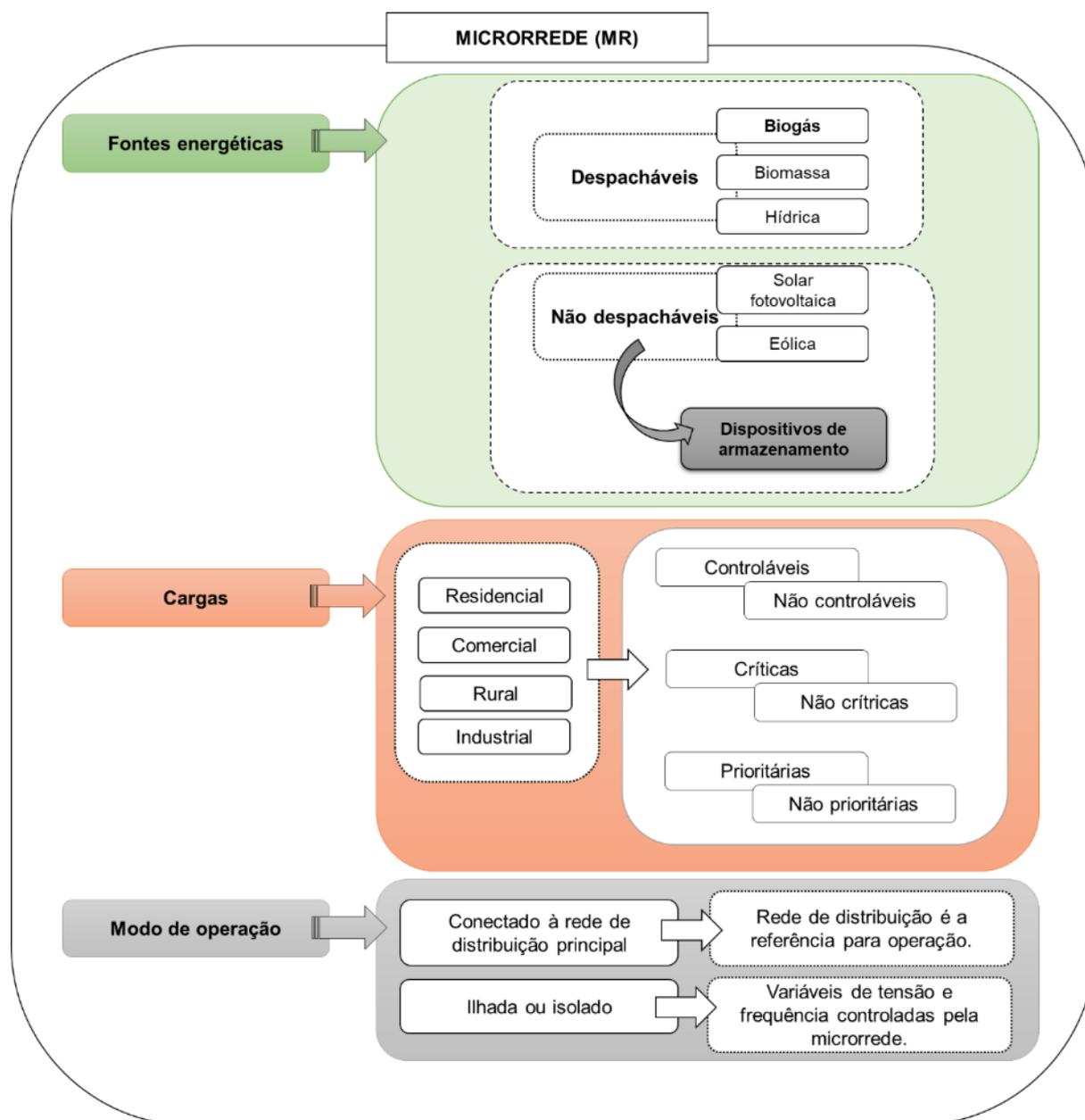


Figura 2. Possibilidades atreladas aos arranjos de microrredes.

Em termos de oportunidade e vantagens tanto para os consumidores, quanto para a concessionária, **o ponto chave para implementação de microrredes está relacionado à melhora nos indicadores de qualidade de energia e na segurança no suprimento estabelecida a partir destes arranjos.**

Sobre o aspecto de qualidade de energia, na sequência, estão dispostos indicadores para a região Sul do país, que apoiarão na análise de fomento para inserção das microrredes.

Qualidade de energia elétrica *versus* oportunidades para inserção de microrredes

Periodicamente, as concessionárias de energia elétrica no Brasil precisam informar a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) acerca da qualidade na prestação do serviço público de distribuição de energia. A ANEEL exige que as empresas mantenham um padrão de continuidade e para isso estabelecem limites para os chamados indicadores coletivos de continuidade, sendo: Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC).

Em linhas gerais, o indicador DEC representa o tempo médio que as unidades consumidoras atendidas por determinado conjunto ficaram sem energia elétrica para o período considerado (mês, trimestre ou ano), enquanto o FEC expressa o número de vezes que houve interrupção de energia elétrica. Ambos indicadores permitem avaliar a continuidade da eletricidade fornecida à população, comparando o desempenho de uma concessionária frente aos limites pré-estabelecidos.

Ainda sobre a qualidade do serviço prestado, indicadores individuais são disponibilizados, permitindo a análise estratificada dos dados, sendo: Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC); Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC); Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou ponto de conexão (DMIC); e, Duração da Interrupção Individual Ocorrida em dia Crítico por Unidade Consumidora ou Ponto de Conexão (DICRI).

Os resultados dos valores de DEC e FEC apurados anualmente, por concessionária, são disponibilizados no [site](#) da ANEEL. Na

Tabela 1 são apresentados os resultados das quatro principais concessionárias da região Sul do Brasil.

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Tabela 1. Indicadores de Continuidade para as concessionárias do Sul do país.

Ano 2019	COPEL-DIS ¹		CELESC-DIS ²		CEEE-DIS ³		RGE-Sul ⁴	
	Apurado	Limite	Apurado	Limite	Apurado	Limite	Apurado	Limite
DEC (horas)	9	10	10	11	18	10	14	11
FEC	6	7	7	8	10	8	6	8
Número consumidores	4.663.329		3.024.603		1.734.258		2.875.122	
Número conjuntos ⁵	154		133		61		100	

Uma análise estratificada dos indicadores por concessionária revela melhor a quantidade de conjuntos⁶ que ultrapassaram os limites regulatórios de continuidade de serviço, bem como o valor máximo apurado para cada indicador. A Tabela 2 apresenta o panorama do desempenho das concessionárias analisadas.

Tabela 2. Estratificação dos Indicadores de Continuidade das concessionárias do Sul do país.

Ano 2019	COPEL-DIS		CELESC-DIS		CEEE-DIS		RGE-Sul	
	Apurado	Limite	Apurado	Limite	Apurado	Limite	Apurado	Limite
DEC (máximo)	116	53	95	16	79	21	53	25
FEC (máximo)	25	13	26	12	32	13	14	10
Conjuntos Acima (DEC)	42%		42%		81%		72%	
Conjuntos Acima (FEC)	32%		30%		60%		16%	

¹ Companhia Paranaense de Energia.

² Centrais Elétricas de Santa Catarina.

³ Companhia Estadual de Energia Elétrica.

⁴ Rio Grande Energia - Grupo CPFL.

⁵ O Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) - Módulo 8, seção 8.2 define os critérios para constituição de conjuntos elétricos.

⁶ Agrupamento de consumidores, de uma mesma área de concessão de distribuição, definido pela distribuidora e aprovado pela ANEEL.

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Como indicadores equivalentes, o DEC e FEC expressam adequadamente as condições de fornecimento de energia elétrica aos consumidores de áreas com maior concentração de consumidores, mas deixam a desejar quando se analisa as áreas de menor adensamento populacional, como as áreas rurais. Para melhor compreensão, considere o exemplo da Tabela 3.

Tabela 3. Indicadores individuais de continuidade de serviço para o Paraná.

Conjunto: Toledo Município: Toledo Estado: Paraná Ano: 2019	COPEL-DIS				
	Apurado	Limite	Anual	Trimestral	Mensal
DEC (horas)	7,53	10	N/A		
DIC Urbano	N/A		20,30	10,15	5,07
DIC Não Urbano			41,19	20,59	10,29
FEC	5,55	8	N/A		
FIC Urbano	N/A		12,95	6,47	3,23
FIC Não Urbano			30,09	15,04	7,52

Observa-se, pelos dados apresentados, um aumento expressivo dos indicadores individuais, DIC e FIC, quando comparado área urbana com área não urbana, mostrando que, embora o DEC e FEC do conjunto esteja dentro dos limites regulatórios, para o município de Toledo no conjunto elétrico Toledo, os valores de DIC e FIC são maiores que os limites de DEC e FEC. O cenário repete-se em outros estados e outras concessionárias, conforme dados da Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4. Indicadores individuais de continuidade de serviço para Santa Catarina.

Conjunto: Chapecó Município: Chapecó Estado: Santa Catarina Ano: 2019	CELESC - DIS				
	Apurado	Limite	Anual	Trimestral	Mensal
DEC (horas)	5,26	8	N/A		
DIC Urbano	N/A		19,34	9,67	4,83

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

DIC Não Urbano			40,03	20,01	10,00
FEC	5,65	7	N/A		
FIC Urbano	N/A		12,7	6,35	3,17
FIC Não Urbano			29,79	14,89	7,44

Tabela 5. Indicadores individuais de continuidade de serviço para o Rio Grande do Sul.

Conjunto: Passo Fundo 1 Município: Passo Fundo Estado: Rio Grande do Sul Ano: 2019	RGE - SUL				
	Apurado	Limite	Anual	Trimestral	Mensal
DEC (horas)	6,01	10	N/A		
DIC Urbano	N/A		20,30	10,15	5,07
DIC Não Urbano			41,19	20,59	10,29
FEC	3,06	9	N/A		
FIC Urbano	N/A		13,2	6,6	3,3
FIC Não Urbano			30,39	15,19	7,59

De olho no mercado:

Os dados apresentados revelam a importância de investimentos em soluções que tragam maior segurança energética, sobretudo às áreas rurais, onde os impactos econômicos causados pela interrupção no fornecimento de energia elétrica, ainda que de curta duração, são bastante significativos. Para isso, basicamente duas opções são elencadas, sendo: (i) investimentos na infraestrutura de rede da distribuição⁷; e, (ii) incentivos para a inserção de microrredes em pontos de sensibilidade da rede de distribuição.

A opção de **inserção de microrredes torna-se atrativa**, considerando que propiciam **redução de perdas técnicas, melhora no perfil de tensão, reserva de potência, suporte de reativos e operação isolada**, demandando investimentos reduzidos – sendo já notada como solução potencial para as

⁷ No estado do Paraná, o programa Paraná Trifásico, apresenta-se como um exemplo de investimento em infraestrutura, se tratando de implantação de redes trifásicas de energia elétrica na área rural até 2025, em 25 mil quilômetros, com investimento de R\$ 2,1 bilhões.

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

concessionárias. Destaca-se ainda a oportunidade de se explorar o biogás para aplicação energética a partir destes empreendimentos, já que em áreas rurais, na maior parte dos casos, há grande disponibilidade de biomassa.

Em relação ao fomento das microrredes com o intuito de melhorar estes indicadores de qualidade, destaca-se as ações da Companhia Paranaense de Energia (Copel), que recentemente recebeu autorização da ANEEL para explorar a implementação desses arranjos a partir de projetos pilotos. As discussões acerca desta ação serão enfatizadas no capítulo a seguir.

5. Microrredes: aspectos regulatórios

Com base nos atributos e potencial de implementação das microrredes – principalmente em áreas mais afetadas pela instabilidade no abastecimento de eletricidade – pode-se partir para as análises quanto aos aspectos regulatórios em âmbito internacional e nacional que proporcionam a inserção desses novos arranjos para suprimento energético.

a. Cenário Internacional

Em âmbito internacional as políticas públicas e regulamentações destinadas à geração distribuída, muitas vezes, autorizam ou não impedem as conexões em microrredes. Entretanto, documentos legais para inserção destes arranjos em específico, em geral, ainda estão em desenvolvimento a nível mundial.

Entre os países que se destacam em termos de pioneirismo e referência em assuntos regulatórios englobando as microrredes estão os Estados Unidos e alguns países da Europa, destacando-se Alemanha, Espanha, França, Grécia, Holanda, Portugal e Reino Unido. Entre as principais regulamentações, têm-se a experiência em Porto Rico, Alemanha e Estados Unidos, sendo estas detalhadas na sequência.

Com relação às normas técnicas, duas são as principais estabelecidas por comitês internacionais, sendo: IEC 62898 e IEEE STD 1547.4. A IEC 62898 desenvolvida pela Comissão Eletrotécnica Internacional (do inglês, *International Electrotechnical Commission*), refere-se à padronização de tecnologias para inserção de microrredes, dispendo de diretrizes para planejamento de projetos, especificações e diretrizes para operação em modo conectado e isolado da rede de distribuição. Já a norma IEEE STD 1547.4 dispõe sobre as orientações para procedimentos de operação isolada em modo intencional.

i. Porto Rico

Em Porto Rico, a regulamentação específica para microrredes, CEPR-MI-2018-000127 (*Regulation on the Interconnection of Microgrids*), teve seu processo de tramitação abreviado pela Comissão de Energia de Porto Rico, dada

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

a necessidade de maior confiabilidade e resiliência da rede elétrica frente aos cortes de energia, na maioria dos casos, em razão de eventos climáticos como furacões.

Como disposições gerais têm-se que as microrredes devem ser atendidas prioritariamente por fonte primária renovável, cogeração ou a partir de arranjos híbridos. Além disso, essa regulamentação traz definições importantes sobre a classificação das microrredes aplicadas àquele país, a saber:

- Microrrede pessoal: sistema pertencente a, no máximo, dois consumidores e deve ser destinada a suprir as necessidades exclusivas de seus proprietários sem a obrigação de atender aos requisitos impostos pela regulamentação;
- Microrrede cooperativa: composto por três ou mais consumidores, enquadrados como cooperados, visando atender às necessidades energéticas de seus integrantes; e
- Microrrede de terceiros: destinada à venda de energia, esse tipo de arranjo deve seguir as diretrizes que estabelecem os direitos e responsabilidades específicas a cada agente envolvido.

Em relação aos arranjos de microrredes em cooperação, deve-se atentar às orientações regidas pela regulamentação, sendo:

- Os membros de microrredes cooperativas não podem possuir ou controlar mais do que 35% da participação acionária da mesma;
- As microrredes cooperativas são classificadas por potência instalada, sendo definidas como pequenas, com potência instalada igual ou menor que 250 kW, e como grandes, com potência instalada superior a 250 kW;
- As microrredes cooperativas de grande porte devem apresentar relatório anual à PREPA (*Puerto Rico Electric Power Authority*) referente ao uso de combustíveis, geração de energia e vendas realizadas; e,
- Os custos de cada serviço prestado pela microrrede serão determinados pelos membros da cooperativa, que podem estar vinculados ao consumo e demanda em horário de ponta (ou horário de pico).

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Por fim, para arranjos classificados como “de terceiros”, a regulamentação permite que seja realizada a venda de energia e outros serviços associados a microrrede aos clientes vinculados, assim como para a *Puerto Rico Electric Power Authority* (PREPA). Ademais, para microrredes que possuam potência instalada superior a 1 MW, estas deverão se enquadrar de forma diferenciada, como Companhia de Serviços Elétricos, seguindo regulação específica para esse fim.

ii. Estados Unidos

Em razão dos desastres naturais que resultam em prolongados cortes de energia nos Estados Unidos, a implantação de microrredes é vista como atrativa no país. Assim, estados como Maryland, Massachusetts, Nova Jersey, Nova York, Califórnia e outros promulgaram programas para o desenvolvimento de microrredes a partir de fontes renováveis.

O Quadro 1 apresenta as principais políticas energéticas relacionadas à implantação destes arranjos, trazendo as disposições de forma resumida.

Quadro 1. Resumo das principais políticas energéticas nos Estados Unidos.

Jurisdição	Políticas, Programas e Iniciativas
Califórnia	Senate Bill - SB 1339 (2018), ações e metas: <ul style="list-style-type: none">• Até 1º de dezembro de 2020, facilitar a comercialização de microrredes a clientes de distribuição de grandes empresas elétricas;• Apoiar na transição da microrrede de seu <i>status</i> de solução de tecnologia emergente para um produto comercial bem-sucedido, econômico seguro e confiável;• Reduzir as barreiras para implantação de microrrede sem transferir custos entre os contribuintes; e• Formar grupo de trabalho para codificar padrões e protocolos para atender aos requisitos da empresa estatal de energia e da microrrede.
Connecticut	Substitute Senate Bill 23. Ato Público nº 12-148 (2012), ações e metas: <ul style="list-style-type: none">• Estabelecer subsídio para microrredes e programa piloto de empréstimo para apoio na geração de energia distribuída voltado às instalações críticas;• Solicitar envio de propostas pelos municípios, distribuidoras de energia elétrica e entidades privadas, que procuram desenvolver geração de energia distribuída por microrrede ou reaproveitar geração de energia distribuída existente para uso com microrredes, de modo a apoiar instalações críticas como hospital, estação de tratamento de água e esgoto;

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

	<ul style="list-style-type: none">• Promover estudos sobre os métodos de fornecimento de eletricidade confiável para instalações críticas, levando em consideração a localização de tais instalações críticas; e• Avaliar os custos e benefícios incluindo o uso de microrredes, utilização de turbina portátil e subterrânea para geração de energia elétrica, identificando o mais econômico e confiável de tais métodos.
Havaí	<p>Senate Bill - SB 2933 (2018), ações e metas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Encorajar e facilitar o desenvolvimento e uso de microrredes através do estabelecimento de uma tarifa padrão de serviços de microrrede;• Reconhecer barreiras de interconexão e falta de termos padronizados em relação ao valor dos serviços trocados entre os operadores de microrrede e concessionária;• Proporcionar uma compensação razoável para quaisquer serviços prestados a partir das microrredes conectadas à rede; e• Aumentar o retorno sobre o investimento em microrredes, proporcionando segurança ao desenvolvimento do mercado.

Vale ressaltar que na Califórnia, além das medidas elencadas no Quadro 1, têm-se um documento intitulado “*Microgrids: A Regulatory perspective: CPUC policy and planning division*” que dispõe a respeito da implantação de microrredes no estado, abordando sobre definição de microrredes, benefícios sobre sua implantação, atuais políticas e aspectos regulatórios para inserção destes novos arranjos e principais desafios a serem superados.

Para o contexto da Califórnia, o documento sugere definições regulatórias que poderão contribuir para viabilização das microrredes. Como principais pontos de atenção têm-se:

- Definição de uma arquitetura de referência;
- Definição dos pontos de inserção de geração distribuída e limites da rede;
- Estabelecimento de mecanismos de mercado para maximizar a quantidade de serviços que podem ser oferecidos pela microrrede; e
- Determinação de procedimentos para estabelecer relacionamento entre as companhias de distribuição e as microrredes.

iii. Alemanha

A Alemanha tem se destacado pelo investimento realizado na transformação de sua matriz energética (*Energiewende*), reduzindo a dependência de usinas a carvão e nucleares, favorecendo a penetração de fontes renováveis de energia.

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Embora não possua uma regulamentação específica para microrredes, Ali *et. al.* (2017) traz algumas políticas energéticas de destaque na Alemanha que estão alinhadas ao desenvolvimento desses novos arranjos, apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Políticas energéticas relacionadas à geração distribuída, na Alemanha.

Política Energética	Ano
<i>Energy Concept</i>	2010
<i>Amendment of the Renewable Energy Sources</i>	2014
<i>Renewable Energy Sources Act</i>	2000

O documento chave para esse processo de expansão das fontes renováveis, exposto no Quadro 2, é o *Renewable Energy Sources Act*, que desde o ano 2000 vem sendo atualizado e, em sua última revisão no ano de 2017, estabelece os seguintes parâmetros (MATSCHOSS *et. al.*, 2019):

- Obrigatoriedade de conexão à rede elétrica;
- Sistema de remuneração a valores fixos e acima dos praticados em mercado, além de diferenciação por tecnologia e, em geral, garantida por 20 anos; e
- Prioridade na injeção de energia na rede elétrica.

Além disso, por mais que o termo microrrede não tenha sido exposto de forma clara no documento, aspectos importantes para inserção dessa tecnologia foram abordadas, dispendo sobre a implantação da tarifação diferenciada, tarifação diferenciada para plantas de biomassa, classificação entre biomassa e biogás, diferenciação entre fermentação de cultivos energéticos e fermentação de resíduos, diferenciação entre resíduos e dejetos e por fim diferenciação nos valores pela flexibilidade operacional em relação às demais fontes, considerando o despacho programado e energia firme. Para todos estes há tarifas e benefícios diferenciados dentro do programa de *feed-in-tariff*.

No mais, o documento não estabelece regras para microrredes operadas pelos acessantes, mas dá os instrumentos necessários para que a concessionária ou operador do sistema realize a atividade, dando, inclusive,

sugestões sobre a remuneração em formato de demanda, fora a energia injetada quando tem-se operação em forma de geração distribuída.

b. Cenário Nacional

A nível nacional não se possui uma regulamentação própria para inserção de microrredes, a experiência no país é incipiente em relação a estes novos arranjos. Porém, iniciativas estão sendo impulsionadas para tornar a idealização destas tecnologias factíveis.

Até o primeiro semestre do ano de 2020, na busca por autorizações e regulações para implementação de microrredes, o que se encontrava eram diretrizes impeditivas para atendimento via unidades geradoras distribuídas para outras unidades consumidoras, na falta de fornecimento de eletricidade pela rede principal.

Esses impedimentos podem ser constatados em normas técnicas de conexão à rede, que exigem proteções anti-ilhamento bloqueando o fornecimento para outras unidades consumidoras. A Norma Técnica Copel de acesso a micro e minigeração distribuída (NTC 905200), retrata de forma clara, determinando que em *“nenhuma hipótese a geração poderá operar ilhada alimentando cargas da concessionária”*. Por meio desta NTC, a permissão para operação no modo ilhado se restringia ao atendimento apenas das cargas localizadas na mesma propriedade no qual se encontrava a geração.

Entretanto, em junho do referido ano, a ANEEL divulgou publicamente a Nota Técnica nº 0028/2020, deliberando sobre a autorização para contratação de energia na área de concessão da Copel nos termos do Decreto nº 5.163/2004 e constituir microrredes. Os detalhes a respeito da autorização são descritos a seguir.

Disposições para chamada pública de microrredes – Copel

Em uma iniciativa pioneira e disruptiva, a Copel, recebeu autorização da ANEEL para abertura de chamada pública visando a contratação de energia proveniente de geração distribuída. Trata-se de um projeto-piloto, onde unidades geradoras com fontes renováveis, constituídas como uma microrrede de energia, podem vender energia à concessionária.

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Dessa forma, **os geradores que compõem a microrrede poderão comercializar a energia elétrica gerada e alimentar um grupo de consumidores, quando requisitada**. Os locais para instalação das microrredes serão previamente definidos pela concessionária, que ficará responsável pelo controle e segurança da operação.

Ressalta-se que a compra direta de energia via chamada pública não é uma medida nova, em 2004 a partir do Decreto nº 5.163 permitiu-se esta modalidade, porém alguns aspectos geravam divergências de entendimento, restringindo o uso desta permissão pela concessionária. Entre os aspectos estavam indagações relativas a determinação de área para inserção da geração distribuída, prestação de serviço à concessionária em áreas sensíveis da rede, definição de atributos para atendimento ao sistema, entre outros.

A partir da Figura 3, é possível notar as alterações disponibilizadas pela Agência e clarificação sobre as possibilidades para a compra direta via chamada pública no âmbito de microrredes para Copel.

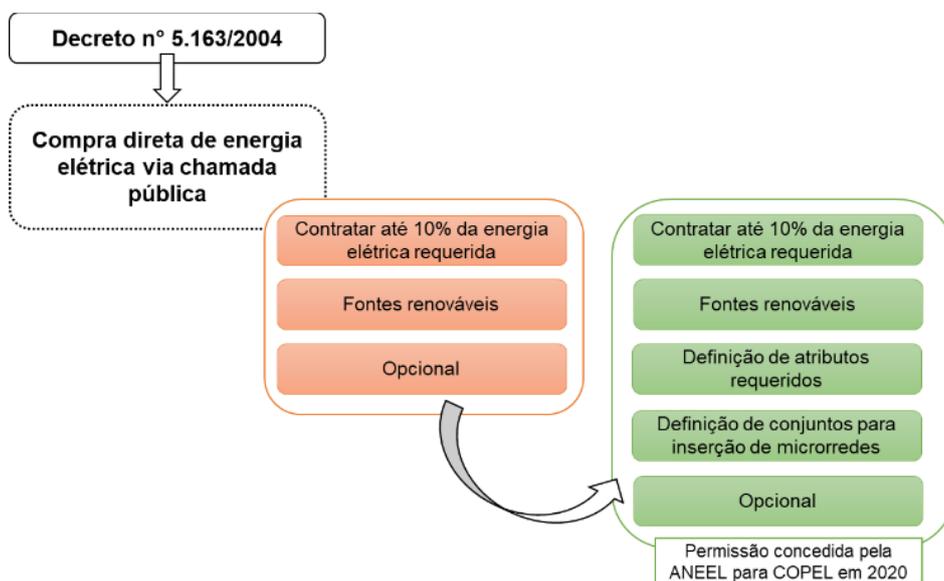


Figura 3. Descrição das permissões concedidas pela ANEEL.

Alguns pontos trazidos no edital merecem destaque como:

- Os acessantes devem possuir unidades geradoras com potência entre 1 e 30 MW;
- A inserção dos projetos deve se restringir e atender aos conjuntos pré-determinados pela concessionária;

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

- Deve-se dar garantias de fornecimento de energia por pelo menos 5 horas ininterruptas, visando a disponibilidade no atendimento e despacho.

Conforme destacado pela própria Copel, a autorização da ANEEL enquadra-se em um **sandbox regulatório**, ou seja, um **ambiente específico para fins de análises técnicas e regulatórias**, onde algumas regras podem ser flexibilizadas e/ou alteradas, mediante condições e prazos previamente acordados.

Vislumbra-se, assim, as oportunidades para o mercado e fomento de microrredes a nível nacional, sendo esta uma das primeiras ações concretas para análise de padronizações necessárias para impulsionamento destes arranjos. Vale ressaltar que **as microrredes constituirão o futuro do desenvolvimento das redes inteligentes de energia elétrica**, apoiando a integração e interconexão de forma flexível de unidades geradoras aproveitando os recursos energéticos distribuídos, ação fundamental para a modernização das redes de distribuição.

6. Panorama de arranjos técnicos de microrredes no Brasil

A nível nacional, como mencionado ao longo do documento, as microrredes encontram-se em estágio embrionário, tendo avançado no país tecnicamente em duas vertentes principais: i) atendimento a áreas isoladas; e, ii) projetos pilotos em escala experimental.

Um pequeno conjunto de exemplos de microrredes implantadas no Brasil é apresentado no Quadro 3, onde se observa, em sua maioria, o uso de fontes renováveis intermitentes acompanhadas de soluções que garantem maior segurança ao fornecimento de energia elétrica.

Quanto aos projetos pilotos ou em desenvolvimento no Brasil, merece destaque a iniciativa da Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI) com a microrrede Usina Distrital de Geração Distribuída de Energia Renovável, localizada no Sapiens Parque, em Florianópolis (SC). O projeto conecta a usina de geração de energia à rede da Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc), visando garantir o suprimento energético em caso de falhas no fornecimento. A solução contempla armazenamento de energia em baterias, integrado a sistemas de automação, controle e comunicação.

Como exemplo de microrrede em desenvolvimento e que retrata o papel que esses arranjos podem exercer no Brasil é o projeto da empresa Neoenergia para a comunidade Xique-Xique, no município de Remanso, estado da Bahia, localizada da região Nordeste do Brasil. O projeto, que visa beneficiar uma área rural não atendida com energia elétrica, explora a geração solar fotovoltaica com capacidade para atender mais de cem unidades consumidoras e conta com baterias para garantir o fornecimento por 48 horas ininterruptas.

Outro projeto de grande impacto que está em fase de finalização e tem data prevista para início das operações em 2021 é o “Projeto Piloto de *Microgrid* na Região Oeste do Paraná”. Esse projeto destaca-se pelo pioneirismo, sendo o primeiro a ser implantado na área rural a partir do biogás. Os detalhes a respeito deste projeto, serão descritos a seguir.

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

Quadro 3. Exemplos de microrredes no Brasil.

Local	Fonte energética	Potência instalada	Sistema de armazenamento	Número de unidades consumidoras	Status
Estado: Maranhão Município: Cururupu	- Solar fotovoltaica e eólica.	- Eólica: 10 kW; - Solar fotovoltaica: 21,06 kWp; - GMG (diesel): 53 kW	Sim. 240 baterias 600 Ah/2V.	Não consta.	Em operação.
Estado: Ceará Município: Aquiraz	- Solar fotovoltaica e eólica.	- Eólica: 3,5 kW; - Solar fotovoltaica: 45,96 kW.	Sim. 4 baterias 220 Ah.	10 unidades consumidoras.	Em operação.
Estado: Acre Município: Xapuri	- Solar fotovoltaica.	765 Wp.	Sim. 2 baterias 150 Ah/12V.	107 unidades consumidoras.	Em operação.
Estado: Paraná Município: São Miguel do Iguazu	- Biogás.	75 kW.	Não. Fonte despachável.	4 unidades consumidoras.	Em implantação.
Estado: Bahia Município: Remanso	- Solar fotovoltaica com baterias.	240 kW DC/180 kW AC.	Sim. Baterias: 928 kWh.	103 unidades consumidoras.	Em implantação.
Estado: Amazonas Município: Distrito de São Gabriel Cachoeira (Tunuí-Cachoeira)	- Solar fotovoltaica com baterias. <i>Back up:</i> diesel.	180 kWp.	Sim. Baterias de sódio: Banco composto por 12 baterias.	260 pessoas.	Em operação.

Fonte: Ribeiro *et al.*, 2011; Pacheco, 2018; Carvalho, 2013.

Projeto Piloto de *Microgrid* na Região Oeste do Paraná

O “Projeto Piloto de *Microgrid* na Região Oeste do Paraná”, fomentado pela Itaipu Binacional, tendo como principais executores o Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás) e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu (PTI), com apoio da COPEL, objetiva implantar e monitorar uma unidade piloto de microrrede, estabelecida em São Miguel do Iguçu (município localizado na região Oeste do estado do Paraná), especificamente na Granja São Pedro – Colombari.

A Granja São Pedro – Colombari (Figura 4) é a unidade consumidora detentora da geração de energia elétrica da microrrede e junto a esta serão atendidas 03 (três) unidades consumidoras distintas.



Figura 4. Propriedade: Granja São Pedro – Colombari.
Fonte: Acervo CIBiogás.

Em termos de geração, a microrrede é composta por apenas uma unidade geradora de energia elétrica a biogás, constituída por um motor a combustão interna de ciclo Otto, de 105 kVA de potência aparente e fator de potência 0,8. Esta unidade geradora está limitada por um transformador de 75 kVA, desta forma, a geração está restrita a potência em modo contínuo de 75 kW.

A solução para operação da microrrede é constituída por:

- Religadores: equipamentos responsáveis pelo isolamento elétrico da microrrede e identificação do retorno para rede principal;

Biogás e microrredes: novos arranjos para suprimento de energia elétrica

- Dispositivos de comunicação: comunicação em fibra óptica e via rádio, para transmissão de informações entre religadores e o controlador central;
- Controlador central: equipamento que abrigará o controlador da microrrede e dispositivos de comunicação, realizando funções e procedimentos programados;
- Painel de proteção e seccionamento (PPS): responsável por abrigar o relé de proteção da unidade geradora e demais dispositivos de seccionamento; e,
- Controlador do gerador: equipamento responsável pela operação da unidade geradora.

7. Considerações Finais

As microrredes apresentam-se como uma nova oportunidade em relação ao suprimento energético, correlacionando benefícios para as concessionárias de energia e consumidores. A nível nacional e internacional, esta tecnologia se encontra em estágio de desenvolvimento, sendo necessário elaborações de regulamentações e padronizações para inserção desses novos arranjos.

De forma geral, a palavra-chave para implementação dessa solução está atrelada à segurança energética, e conseqüentemente melhora no suprimento e qualidade da energia em áreas mais sensíveis do sistema. A essência da microrrede está em possibilitar que unidades de geração distribuída sejam vistas pela rede elétrica como uma única entidade controlável, apoiando no suprimento de unidades consumidoras da concessionária, em casos de falha.

Assim, destaca-se como benefícios promovidos pelas microrredes: proximidade com o consumidor final, resposta rápida à demanda energética, maior confiabilidade no fornecimento energético, redução nas perdas elétricas, melhora no perfil de tensão, além de postergação em investimentos de expansão e melhoria dos índices de continuidade ao consumidor.

Por fim, ressalta-se que para disseminação e consolidação à nível nacional, questões norteadoras deverão ser respondidas e clarificadas, referentes à padronização de conceituação das microrredes; limitações em termos de potência instalada e unidades consumidoras atendidas; padronização de protocolos de comunicação, conexão, proteção, controle e modo de operação; e, estabelecimento de modelos de negócio que permitam a viabilização econômico-financeira dos projetos desta natureza.

Referências

LASSETER, R.H. **Micro-Grids**. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, January 2002, 305-308, 2002.

ERIKSON, E., & GRAY, E.. **Optimization and Integration of Hybrid Renewable Energy Hydrogen fuel cell Energy Systems – A Critical Review**. Applied Energy, 202, 348-364, 2017.

NIKOLAIDIS, P., & POULLIKKAS, A. **A comparative Overview of Hydrogen Production Processes**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 597-611, 2017.

CARVALHO, C. R. F. D. **Sistema fotovoltaico isolado: uma aplicação prática no Projeto Xapuri**. 2013. 46 f. Monografia - Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2013.

RIBEIRO, L. A. D. S. et. al. **Isolated micro-grids with renewable hybrid generation: the case of lençóis island**. IEEE Transactions on Sustainable Energy, New York, v. 2, n. 1, January 2011.

PACHECO, A. B. et. al., **“Medium Voltage Microgrid Test Setup and Procedures Implemented on a Real Pilot Project”**, in Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, vol. 3, no. 1, p. 234-238, 2018.

KENT, A., MERCER, D., **Australia's mandatory renewable energy target (MRET): an assessment**, Energy Policy, Volume 34, Issue 9, 2006.

FARRELLY, M.A., TAWFIK, S., **Engaging in disruption: A review of emerging microgrids in Victoria, Australia**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume, 2020.

AUSTRALIAN ENERGY REGULATOR. **State of the energy market 2018**. 2018. Disponível em:
<https://www.aer.gov.au/publications/state-of-the-energy-market-reports/state-of-the-energymarket-2018>.

MATSCHOSS, P., BAYER, B., THOMAS, H., MARIAN, A., **The German incentive regulation and its practical impact on the grid integration of renewable energy systems**, Renewable Energy, Volume 134, 2019, Pages 727-738.

ALI, A.; LI, W.; HUSSAIN, R.; HE, X.; WILLIAMS, B.W.; MEMON, A.H. **Overview of Current Microgrid Policies, Incentives and Barriers in the European Union, United States and China**. Sustainability 2017, 9, 1146.



MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Biogás
BRASIL

