



MICRORREDES: DESAFIOS E TENDÊNCIAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SUSTENTÁVEL NA PERSPECTIVA DO CONSUMIDOR

*MICROGRIDS: CHALLENGES AND TRENDS FOR SUSTAINABLE
ENERGY GENERATION FROM THE CONSUMER PERSPECTIVE*

Izabeliza Silva Campos

Mestranda em Direito pela Universidade de Marília (UNIMAR). Especialista em Direito Penal e Processo Penal pela Estácio-CE. Especialista em Direito Privado pela Legale. Especialista em Gestão de Segurança Pública pela União Educacional Minas Gerais (Uniminas). Especialista em Educação Matemática pela Faculdade Integrada de Patos (PB). Graduada em Direito pela Faculdade Paraíso (FAP-CE). Graduada em Matemática pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE). Email: izabelizacampos@gmail.com ORCID:

Jonathan Barros Vita

Pós-Doutor em Direito Tributário pela Wirtschaftsuniversität Wien (WU), Áustria. Doutor em Direito pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC/SP). Mestre em Direito pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC/SP). Mestre em Direito Tributário da Empresa pela Universidade Comercial Luigi Bocconi, Milão/Itália. Especialista em Direito Tributário pelo Instituto Brasileiro de Estudos Tributários (IBET/SP). Advogado, Consultor Jurídico e Contador. Coordenador e Professor Titular do Mestrado e Doutorado em Direito da Universidade de Marília (UNIMAR). Email: jbvita@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3991-004X>

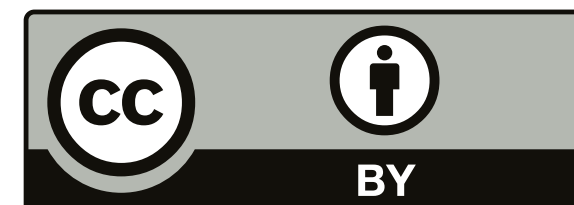
COMO CITAR: CAMPOS, Izabeliza Silva; VITA, Jonathan Barros. Microrredes: desafios e tendências para geração de energia sustentável na perspectiva do consumidor. *Scientia Iuris*, Londrina, v. 29, n. 1, p. 56-70, mar. 2025. DOI: 10.5433/2178-8189.2025v29n1.p56-70. ISSN: 2178-8189.

RESUMO: A falta de acesso à eletricidade para milhões de pessoas e as constantes preocupações com o meio ambiente e as mudanças climáticas estão provocando significativas alterações no sistema elétrico mundial. Essas condições, aliadas ao avanço tecnológico, fizeram aflorar um forte interesse pela pesquisa, criação e investimento em fontes alternativas de geração de energia para tentar suprir as necessidades das sociedades modernas. É nesse contexto que o presente artigo busca abordar os desafios e tendências para estimular a produção de energia sustentável por meio de microrredes, bem como o processo de armazenamento em baterias de sistemas. O objetivo do estudo é apresentar o conceito e as características das microrredes e sua forma de regulamentação no cenário nacional. O problema que se pretende discutir é como formas alternativas de geração de energia impactam positivamente a sociedade e propiciam um novo olhar sobre a questão energética no Brasil. Utilizando-se de uma pesquisa de cunho bibliográfico, numa sucinta revisão de textos e normas infralegais e supralegais que tratam sobre o assunto, buscamos, ao final, discorrer acerca do panorama do sistema elétrico no Brasil e como o crescimento dessa alternativa de geração de energia apresenta reflexos positivos para o consumidor e para o consumo de energia.

PALAVRAS-CHAVE: microrredes; geração de energia; energia elétrica; consumidor; energia sustentável.

ABSTRACT: The lack of access to electricity for millions of people and the constant concerns about the environment and climate change are causing significant changes in the global electrical system. These conditions, combined with technological advances, have sparked a strong interest in research, creation, and investment in alternative energy generation sources to meet the needs of modern societies. In this context, this article aims to address the challenges and trends to stimulate the production of sustainable energy through microgrids, as well as the process of battery storage systems. The objective of the study is to present the concept and characteristics of microgrids and their regulation in the national scenario. The problem to be discussed is how alternative forms of energy generation positively impact society and provide a new perspective on the energy issue in Brazil. Using bibliographic research, a brief review of texts and sub-legal and supra-legal norms that deal with the subject is conducted. Finally, we aim to discuss the panorama of the electrical system in Brazil and how the growth of this alternative energy generation presents positive effects for consumers and energy consumption.

KEYWORDS: microgrids; power generation; electric energy; consumer; sustainable energy.



INTRODUÇÃO

O progresso econômico global está intimamente ligado ao complexo sistema da indústria de energia elétrica. A eletricidade é um dos principais indicadores desse desenvolvimento, devido à sua importância em praticamente todas as áreas de atividade da sociedade. O sistema elétrico passou por diversas transformações, durante os anos, apesar do aumento substancial na produção e expansão da eletricidade com o crescimento em escala exponencial dos usuários, não houve mudanças radicais nas bases de sua geração. Da geração de energia elétrica que vai desde o processo da sua transmissão, distribuição até atingir o consumidor nos deparamos com novas soluções e tecnologias surgindo e se incorporando ao novo modelo de sistema elétrico.

Começando pela vida nas sociedades modernas, pode-se dizer que o consumo de energia elétrica se tornou essencial, pois inúmeros equipamentos e aparelhos eletrônicos são usados diariamente, estando presentes desde as mais humildes residências até as mais avançadas indústrias de produção.

Nesse cenário energético, surgiram tecnologias avançadas, compostas pela geração de energia distribuída e pelos equipamentos de armazenamento que permitiram o aparecimento de uma nova forma de produção de energia, caracterizada pela eficiência, por ser renovável, sustentável e muito próxima ou ao lado do consumidor. Esse novo panorama despertou o interesse dos usuários de eletricidade, que antes viviam distantes do modo de geração de energia elétrica adotado, para a geração de sua própria energia em suas residências, edificações, comércios ou indústrias.

Somado a esse avanço tecnológico e às crescentes notícias de problemas ambientais, vivenciamos uma maior atenção da sociedade na busca pela adoção de práticas de preservação ambiental e de soluções alternativas energéticas chamadas de limpas ou verdes. Concretizando o uso de microrredes elétricas, que são basicamente redes elétricas relativamente menores, mas que englobam produção, distribuição e consumo de eletricidade.

Com ênfase nessa situação, o objetivo do estudo está direcionado a uma apresentação sucinta do conceito, em linhas gerais, do sistema de microrredes e os desafios e tendências para a geração de uma energia sustentável na perspectiva do consumidor. Propondo a discussão da problemática relacionada as formas alternativas de geração de energia que podem impactar positivamente na sociedade e propiciar um novo olhar sobre a questão energética no Brasil. O presente estudo se justifica em virtude da falta de acesso à eletricidade para milhões de pessoas e das constantes preocupações em torno da questão ambiental e das mudanças climáticas que estão provocando significativas alterações na produção de energia e consequentemente no sistema elétrico mundial. Estas condições aliadas ao avanço tecnológico fizeram emergir um forte interesse sobre o tema proposto, ensejando a criação e o investimento em fontes alternativas de geração de energia para tentar suprir as necessidades das sociedades modernas.

Para tanto, a metodologia teve como base uma pesquisa qualitativa de cunho bibliográfico assentada em dois pilares: revisão da literatura que trata sobre o assunto e análise da legislação aplicada ao sistema elétrico brasileiro.

O artigo encontra-se dividido em três partes, além da presente introdução e da conclusão. Inicialmente, analisamos o conceito e as características das microrredes, posteriormente chamamos atenção para os aspectos legais da comercialização de energia elétrica e a sua regulamentação nacional. Por fim, a pesquisa trabalhará o uso das microrredes como ideal da energia do futuro, com enfoque no uso das energias renováveis e produção independente de energia para consumo como alternativa de liberdade do consumidor.

1 DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DE MICRORREDES

As microrredes são formadas por sistemas elétricos completos que podem operar de forma ilhada ou conectadas à rede elétrica convencional, sendo denomi-

nadas completas no sentido de abarcarem a produção, fornecimento e o consumo de energia elétrica ligados entre si em um único sistema. Estas são locais pelo fato de a geração de energia ser realizada sempre próxima aos usuários, no ambiente particular do determinado lugar e da vida das pessoas que ali habitam.

Dentro da tecnologia das microrredes são comumente utilizados termos como a geração distribuída e cogeração (Huayllas, 2015, p. 10). A geração distribuída que se trata exemplificativamente de geradores hídricos, eólicos, a diesel, painel solar e alguns outros que são instalados perto dos chamados consumidores finais com o intuito de suprir sua demanda por energia utilizando-se de geradores de pequeno porte. A chamada cogeração seria uma forma de produção de energia por meio da utilização da geração simultânea em mais de uma modalidade de energia por meio de uma mesma fonte de combustível.

O uso das microrredes com a implementação de projetos de baixa complexidade é confiável mais ainda é cheio de desafios, a alternativa viável seria um modelo peer-to-peer (par-a-par) e plug-and-play (ligar-e-usar) para compor o sistema: i) a peer-to-peer assegura a independência dos elementos mantendo o sistema de microrredes ativo mesmo com a perda de qualquer componente, tais como um conversor de potência, um dispositivo de armazenamento ou um gerador. Neste modelo nenhum componente é fundamental para manter o sistema operacional. No outro modelo de ii) plug-and-play implica que uma unidade pode ser conectada em qualquer ponto do sistema sem exigir alteração dos controladores (Lasseter; Paigi, 2004, p. 4287).

O que possibilitaria as condições necessárias para a viabilidade do sistema seria desempenhado pelo controle dos conversores estáticos, já que estes possuem as seguintes funções: (a) assegurar que novas fontes sejam adicionadas ao sistema sem modificação dos equipamentos já em uso; e (b) garantir o isolamento ou a reconexão à rede, atendendo às exigências dinâmicas da carga e suas oscilações.

Pode-se citar como característica marcante das microrredes à sua flexibilidade durante sua operação com a rede principal, operando dos seguintes modos conforme aponta Huayllas (2015, p. 3891-3892): a) modo de operação normal que atua conectada com a rede principal; b) modo de ilhamento planejado que do ponto de vista econômico pode ser considerado atrativo para os consumidores; c) modo de ilhamento “forçado”. Sendo que as fontes de energia distribuídas que são utilizadas em microrredes podem ser provenientes de fontes alternativas ou renováveis e de fontes baseadas no uso de combustíveis fósseis, utilizando-se dos seguintes tipos de geradores: a) grupo motor-gerador diesel; b) turbinas a gás convencional; c) célula combustível; d) geração eólica; e) fotovoltaica; f) pequenas centrais hidrelétricas; g) biomassa; h) geração geotérmica.

Marnay *et al.* (2015, p. 141-142) aponta que com a finalidade de tornar o sistema mais eficiente é comum o uso de banco de baterias que são capazes de injetar potência reativa e, ainda, gerar uma redução de custos para os seus usuários por meio de uma combinação de diversas funcionalidades tais como a redução do pico e o acúmulo de energia para utilização posterior. Este também cita os super capacitores e os sistemas de flywheel pouco utilizados no momento.

Por último, é interessante que a microrrede seja inteligente (Vasquez *et al.*, 2010, p. 24). Pois desta forma ela poderá assimilar estratégias de controle operacional de modo a otimizar e permitir que opere totalmente automatizada. Diferente das redes elétricas convencionais, o sistema de microrredes, em sua maioria, não necessita da supervisão humana direta. No intuito de menor dependência dos operadores externos ou de seus membros, o sistema deve ser monitorado de modo contínuo trabalhando com os seus próprios mecanismos, dados e informações direcionando-se reverter qualquer situação adversa que possa surgir. As microrredes inteligentes executam e gerenciam o seu balanço energético, fazendo também outras atividades benéficas, tais como: a regulação da tensão e frequência, o comércio de energia e a redução da poluição, sem intervenção humana.

Esta definição usada para as microrredes sugere vantagens para os consumidores, haja vista por serem sistemas locais estas possuem pouco desperdício de energia elétrica em sua distribuição, outro ponto a ser lembrado é o fato da flexibilidade no seu modo arquitetônico que poderá ser especialmente desenvolvido para atender as mais diversas cargas elétricas existentes no mercado que leva em conta desde a capacidade econômica as escolhas sociais dos seus usuários.

1.1 Retrospectiva Histórica dos Sistemas Elétricos e o Desenvolvimento das Microrredes

Na segunda metade do século XIX surgiram os primeiros sistemas elétricos. Eles eram basicamente o que se pode chamar hoje de microrredes, pois, dotados de geradores pequenos instalados nas proximidades ou mesmo dentro dos edifícios, direcionavam ao fornecimento de eletricidade para as residências e os comércios próximos, utilizando-se de linhas de distribuição curtas. Em comparativo com o atual sistema moderno vemos o uso de dispositivos e métodos avançados aplicados hoje em dia diante de um uso exclusivamente ilhado no passado em virtude disso elas acabam sendo chamadas de microrredes primitivas.

Um exemplo de microrredes primitivas é a estação de energia elétrica de Thomas Edison, em 1882 na Pearl Street, já que a mesma era responsável pela energia elétrica fornecida em até uma milha aos edifícios e comércios localizados num distrito financeiro de Nova Iorque, nos Estados Unidos, sendo que este modelo de microrrede primitiva fez bastante sucesso na época e acabou replicado em diversas outras cidades estadunidenses e da Europa (Soares; Oliveira, 2022, p. 814-815). Este sistema primitivo durou pouco e logo foi substituído pelo atual modelo de redes elétricas convencionais que perduram até hoje em vários países, tais mudanças possuem raízes tecnológicas, políticas, econômicas e sociais (Hughes, 1985, p. 426).

Nota-se que o sistema elétrico praticamente não evoluiu durante todo o século XX. Mais por volta da década de 70 com a crise do petróleo, as mais diversas nações mundiais se viram obrigadas a buscarem novas alternativas para garantir a sua segurança energética (Giddens, 2010, p. 314).

O termo “microrredes” usualmente empregada no setor de energia elétrica ao que se sabe foi isoladamente citada pela primeira vez num artigo no ano de 1986, que tratava acerca do desenvolvimento de uma microrrede para uso na estação terrestre remota INMARSAT localizada na Antártica (Kueffner, 1986, p. 2). Contudo, o conceito com as tecnologias e técnicas inovadoras possuindo as características citadas, teve sua solida consolidação somente com os trabalhos seminais do Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS) no ano 2000 (Lasseter, 2002, p. 306). Após esse período e até os dias atuais essa tecnologia ampla, flexível e multifacetada, permanece alvo de múltiplas investigações científicas. Os esforços são direcionados para uma melhor compreensão e desenvolvimento de seus componentes, como os seus recursos energéticos distribuídos e a eletrônica de potência, somado aos seus métodos de controle, operabilidade, gerenciamento, a conectividade com a rede, meios de proteção e comunicação, dentre inúmeros outros elementos.

As microrredes apresentam um vasto campo de aplicabilidade e diversidade podendo ser encontradas nos segmentos como: instituições públicas e privados, no setor educacional (escolas/universidades), no setor de saúde, no âmbito residencial, comercial e industrial, no setor militar, na comunidade de modo geral, no setor remotos e nas concessionárias (Hirsch; Parag; Guerrero, 2018, p. 405).

1.2 Panorama do Setor Elétrico Brasileiro

De acordo com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, o sistema elétrico brasileiro é formado por quatro segmentos que vão desde a produção da eletricidade até sua utilização pelo consumidor final. Divididos em: i) a geração de energia; ii) a sua transmissão; iii) a sua distribuição; e por último, iv) a sua comercialização. De modo tradicional, estes são estruturados em um modelo unidirecional, cujo início se dá com a geração da energia em

usinas distantes da carga, e que posteriormente são transportadas em linhas de transmissão até chegarem à área de concessão das distribuidoras, que finalmente destinam a eletricidade aos consumidores (Esposito, 2013, p. 204-207).

Assim como o restante do mundo o setor de energia elétrica brasileiro vem passando por profundas transformações, na busca pela descarbonização e neutralidade das emissões de gases do efeito estufa e da utilização de energias renováveis não agressivas ao Meio Ambiente, vivenciamos a transição energética para uma economia de baixo carbono, aliado a uma política de incentivo a descentralização e a digitalização vislumbramos um o novo modelo de consumidor, que é aquele cada vez mais ativo na busca pela produção de sua própria energia, para consumo e posterior armazenamento definindo o seu perfil de consumo.

Segundo Dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024) acerca do sistema elétrico brasileiro temos que mais de 80% da sua capacidade instalada e da energia elétrica produzida são advindas de fontes renováveis. Contando também com um sistema de transmissão de mais de 145 mil km de extensão, interligando quase a totalidade do território nacional.

Desta forma no Brasil temos uma posição de destaque em virtude da utilização de fontes renováveis em larga escala e do seu grande potencial de recursos energéticos disponíveis em todo o território.

2 ASPECTOS LEGAIS DA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

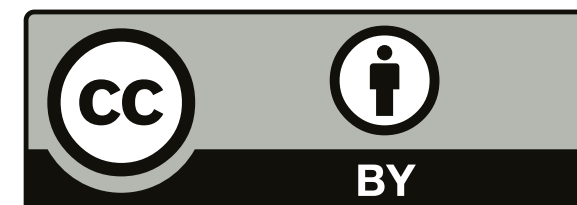
Conforme apontado pela a Associação Brasileira de Distribuição de Energia (ABRADEE, [2024], p. 2), o setor elétrico brasileiro apresenta as seguintes características: i) desverticalização da indústria de energia elétrica; ii) coexistência de empresas públicas e privadas atuando no setor; iii) sistema operacional e de planejamento centralizados; iv) coexistência de consumidores cativos e livres; v) processo de livre negociação entre geradores, comercializadores e consumidores livres; vi) realização de leilões regulados para contratação de energia para as distribuidoras. Tal sistema opera com a existência de órgãos como: a) Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); b) Operador Nacional do Sistema (ONS); c) Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). De acordo com o citado órgão a energia elétrica não pode ser armazenada de forma economicamente viável impondo a necessidade da manutenção do equilíbrio constante entre oferta e demanda, pois a não satisfação dessa necessidade pode gerar desequilíbrios no sistema, resultando em riscos a rede que resultam nos chamados “apagões”.

Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024), o Sistema Interligado Nacional (SIN) que engloba as cinco regiões do país tem como característica principal o fato de ser hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas e dotada de múltiplos proprietários.

No tocante a comercialização de energia elétrica está pode ocorrer de forma livre (ambiente de contratação livre) ou com preços e quantidades definidos ou limitados pelo Poder Público (ambiente de contratação regulada), seguindo os regulamentos estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica.

2.1 Do Uso e da Regulamentação das Microrredes no Brasil

As microrredes de acordo com o conceito explorado são capazes de operar também de forma ilhada, sendo empregada ao redor do mundo independente de ser uma tecnologia recente. No caso do Brasil mesmo apresentando diversas regiões com problemas de abastecimento elétrico, esta tecnologia vem sendo usada no modelo de sistema isolado (exemplificando de modo básico as microrredes em sua definição geral), não apresentando sistemas construídos com a intenção de integrarem, um dia, uma rede elétrica inteligente, ou um sistema elétrico mais complexo. Basicamente seu uso direciona-se a formação de sistemas isolados para suprir a demanda local da região onde localizam-se. Além disso, estas não apresentam todas as características comuns às microrredes, sendo a maio-



ria compostos por projetos pilotos em implantação, que passaram a demandar a necessidade algumas regulamentações para o uso dessa arquitetura.

Existem algumas resoluções normativas da ANEEL que busca estabelecer condições para o funcionamento desse sistema, dentre elas:

a) Resolução Normativa 878/2020 enumera condições para a conexão de sistemas de geração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica. Definindo procedimentos técnicos e comerciais para a conexão de micro geração e minigeração distribuída à rede de distribuição de energia elétrica, incluindo formas de compensação da energia produzida e injetada na rede (ANEEL, 2020).

De acordo com essa resolução, temos que o sistema de compensação de energia elétrica consiste basicamente na utilização da energia produzida pelos sistemas de geração distribuída abatendo do consumo de energia elétrica da unidade consumidora. Caso ocorra de a energia gerada ser maior do que a energia consumida, o excedente poderá ser injetado na rede elétrica, e transformar-se em créditos para utilização futura (ANEEL, 2020). Desse modo vemos que a Resolução Normativa 878/2020, procura fomentar a geração distribuída de energia elétrica, com incentivos a utilização de fontes renováveis que contribuem para fomentar a sustentabilidade do setor elétrico (ANEEL, 2020).

b) Resolução Normativa 1000/2020 visa estabelecer as condições gerais para o acesso e a distribuição de micro e minigeração distribuída nos sistemas de energia elétrica, bem como o sistema de compensação e o de medição para unidades consumidoras com micro ou minigeração distribuída. A resolução tem como objetivo o estímulo a geração distribuída de energia, buscando garantir a segurança e a qualidade do fornecimento de energia elétrica para todos os consumidores (ANEEL, 2021b). Entre as principais mudanças advindas com a citada resolução destaca-se a redução gradual para os subsídios concedidos às unidades consumidoras com microgeração distribuída, com a introdução de uma tarifa binômia, em que os consumidores pagam em separado pela energia consumida e pela utilizada na rede elétrica (ANEEL, 2021b).

Outro aspecto relevante seria a forma simplificada do processo de conexão à rede, que passou a ser realizado diretamente pelas distribuidoras de energia elétrica, com a eliminação da necessidade de intervenção das concessionárias de transmissão. Dessa forma temos o estabelecimento de requisitos mínimos para garantir a qualidade da energia gerada pelas unidades consumidoras por meio das micro e minigeração distribuída, tornando a energia injetada na rede uma opção segura e confiável (ANEEL, 2021b).

O panorama regulatório apresentou avanços pontuais com a promulgação em 06 de janeiro de 2022, da Lei nº 14.300, que trouxe algumas mudanças favoráveis aos participantes da geração distribuída e, conseqüentemente, aos que utilizam as microrredes. As principais mudanças advindas com a Lei 14.300/2022 são:

- i) Redução da potência de minigeração de fontes não despacháveis de 5MW para 3MW, tendo sido mantido o valor mínimo de 75kW (inciso XIII do Art. 1º). Para as fontes despacháveis, o valor de 5MW foi mantido;
- ii) Mudança do sistema de compensação total para compensação parcial (Art. 27);
- iii) Retirada da duplicidade de cobrança do custo de disponibilidade (Art. 16), sendo que toda a energia injetada, o excedente ou o seu crédito devem ser utilizados para pagar o custo de disponibilidade cobrado pelas concessionárias;
- iv) Redução de 50% do custo de disponibilidade para microgeradores com compensação no mesmo local da geração para geradores de até 1,2kW (§ 2º, Art. 16);
- v) Possibilidade de definição da distribuição da energia excedente por percentual e por ordem de prioridade, sendo que antes apenas era permitido por percentual (Art. 14);



- vi) Flexibilização das formas de geração compartilhada (inciso X, Art. 1º). Ampliando a realização para associação e condomínio civil, sendo que antes era realizado apenas por meio de consórcio ou cooperativa;
- vii) Permissão para ter consumidor do tipo B (Baixa Tensão). As unidades consumidoras com geração local, cuja potência total dos transformadores seja igual ou inferior a uma vez e meia o limite permitido para ligação de consumidores do Grupo B (§ 1º, Art. 11). Assim, como o valor atual é de 50kW, as unidades com geração de até 112,5kW poderão optar por terem seus faturamentos idênticos aos das unidades conectadas em baixa tensão; e
- viii) Possibilidade de comercialização dos excedentes e de serviços ancilares com as distribuidoras de energia por meio de chamadas públicas regulamentadas pela ANEEL (Brasil, 2022).

É importante lembrar que a Resolução Normativa 482 da ANEEL, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição, é um dispositivo infralegal. Sendo que nos trechos em que esta divergi do marco legal da microgeração e minigeração distribuída, fica o seu texto implicitamente revogado valendo o que estiver definido na Lei 14.300/2022 (ANEEL, 2012; Brasil, 2022).

Dessa forma, no Brasil a inserção das microrredes no atual sistema elétrico ainda é muito incipiente, apesar de ser atrativa aos seus usuários motivados pelos benefícios que possam advim decorrentes de suas funções, tais como: melhor eficiência e redução de compra de energia elétrica da rede, redução dos investimentos em infraestrutura para manutenção; redução das emissões de gases poluentes; serviços ancilares (black start, reservas e regulação), melhoria da qualidade de energia e confiabilidade (redução na energia não fornecida).

2.2 Atuação do Sistema de Microrredes

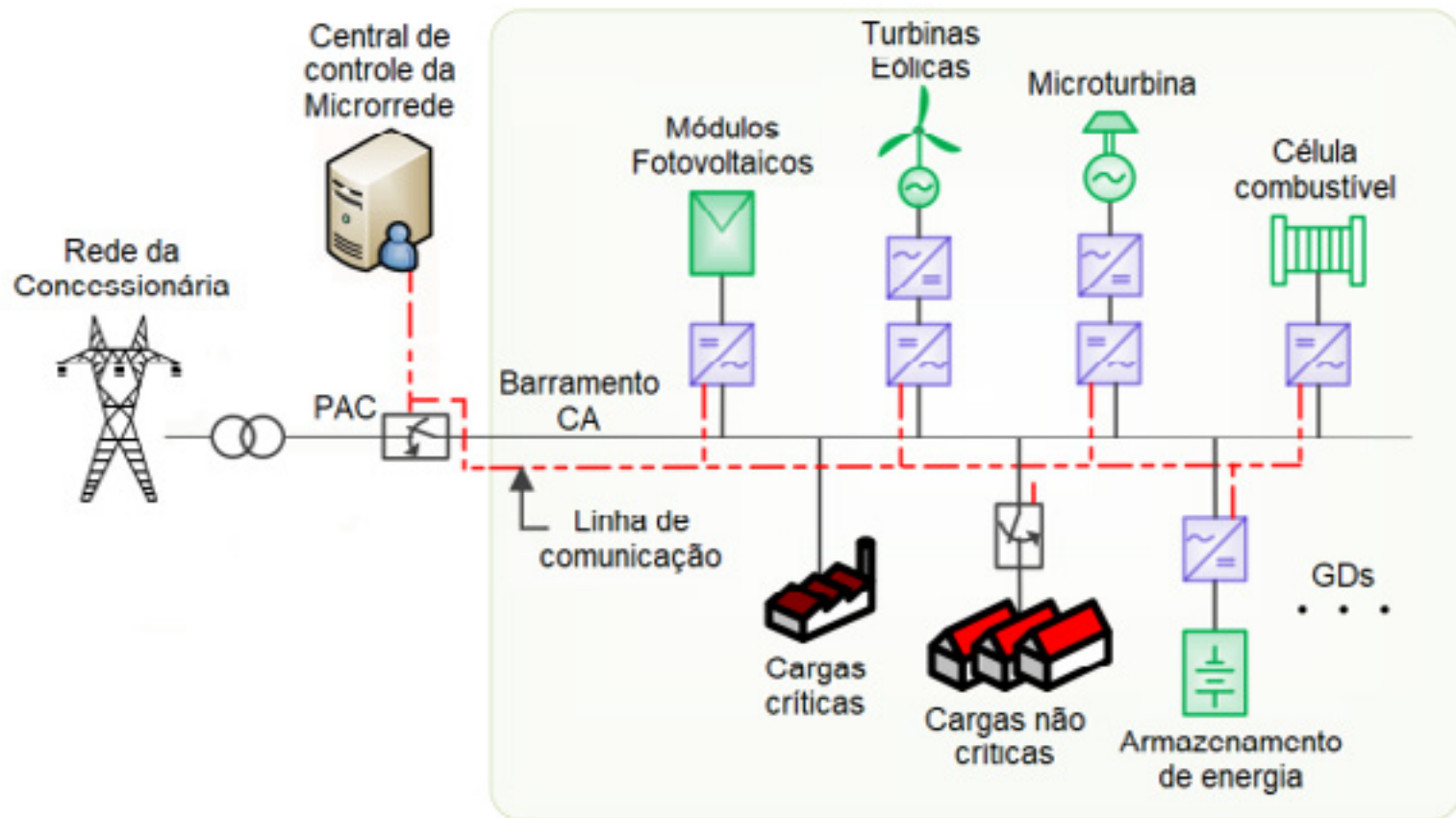
No Brasil, até em meados de 2022, ainda não havia uma definição oficial para o conceito de microrrede. Advindo apenas com chamado Marco Legal da Geração Distribuída com a promulgação da Lei nº 14.300 em de 06 de janeiro de 2022, que em seu artigo 1º define microrrede da seguinte forma:

[...] XII – microrrede: integração de vários recursos de geração distribuída, armazenamento de energia elétrica e cargas em sistema de distribuição secundário capaz de operar conectado a uma rede principal de distribuição de energia elétrica e também de forma isolada, controlando os parâmetros de eletricidade e provendo condições para ações de recomposição e de autorrestabelecimento (Brasil, 2022).

Uma microrrede pode ser definida pela adoção de quatro características: i) ser capaz de gerenciar um grupo de cargas interconectadas; ii) usar geração distribuída; iii) possuir limites elétricos bem definidos; e iv) ter a habilidade de operar de forma isolada do sistema elétrico, suportando as cargas nela conectadas (Santana, 2022, p. 25-26). A microrrede deve atuar como uma única entidade controlável em relação à rede (Moraes *et al.*, 2022, p. 903-904).

Demonstrando sua estrutura tem-se a seguinte representação:

Figura 1 - Componentes e estrutura típica de uma microrrede CA.



Fonte: Hossain et al., 2018 apud Victorio, 2023.

Fonte: Victorio (2023, p. 15).

A Figura demonstra um exemplo dos principais componentes de uma estrutura típica de uma microrrede de corrente alternada, sendo que a linha vermelha pontilhada mostra o meio de comunicação entre os diversos componentes e a central de controle da microrrede, responsável pela realização dos ilhamentos e reconexões, como também por gerenciar o balanço de energético da microrrede.

Victorio (2023, p. 15) afirma que os módulos fotovoltaicos, as turbinas eólicas, a microturbina e a célula combustível demonstram algumas das múltiplas alternativas para as fontes de energia que podem ser empregadas na microrrede. Ilustrando também as cargas e sua divisão em críticas e não críticas, o seu sistema de armazenamento de energia, que é essencial para o funcionamento da microrrede no modo ilhado. Deste modo, o ponto de acoplamento comum é o local em que a microrrede acaba por se conectar com a rede da concessionária de energia. Conforme destacado por Victorio (2023, p. 15-16):

Uma microrrede não se caracteriza por ser um único ativo, mas sim pela integração de um conjunto de ativos, que incluem geração, distribuição, cargas e armazenamento. Para que essa integração seja realizada de maneira satisfatória, as microrredes devem possuir sistemas de monitoramento, controle e automação avançados. De maneira genérica e resumida, as microrredes podem ser definidas como o conjunto de elementos necessários para garantir o fornecimento de energia quando houver uma interrupção no sistema elétrico.

Segundo Bellido (2018, p. 31-32), como o sistema opera por meio da geração distribuída as microrredes apresentam algumas vantagens, tais como: i) redução do número de interrupções do fornecimento, das perdas de energia e da emissão de gases poluentes; ii) aumento da confiabilidade da energia em virtude da baixa interrupção no fornecimento resultando em auxílio para que ocorra a transição energética para uma matriz elétrica descarbonizada; iii) possibilidade de prestação de serviços ancilares como a venda da energia excedente; iv) adiamento de investimentos na transmissão e distribuição de energia aumentando sua qualidade e reduzindo seus custos energéticos para os usuários.

Outro ponto de destaque em ao relação ao seu uso, além da possibilidade de tornar os consumidores mais independentes e menos submissos as concessionárias de energia, o sistema de microrredes pode ser empregado em instalações específicas que dependem da não interrupção do fornecimento de energia, tais como: os hospitais, as centrais de dados, as unidades militares e os aeroportos.

2.3 O Consumidor e sua Relação com o Mercado de Energia Elétrica

O sistema brasileiro de energia é bastante complexo, pois envolve diversas empresas tanto públicas como privadas e as de capital misto. A ANEEL atua como responsável pela definição das regras entre fornecedores e consumidores de energia elétrica, aspectos como geração, transmissão e distribuição de energia são delimitados por ela, bem como as características mínimas para o seu bom funcionamento. Neste contexto da difusão das energias renováveis, tivemos a Lei nº

14.300/2022, já citada no texto como um novo marco alterando as relações existentes no sistema até então aplicadas. Essas novas alterações possibilitaram que a rede de distribuição pudesse permitir o fluxo de energia das unidades consumidoras para a mesma, dando ao fluxo duas possibilidades de funcionamento o convencional que é aquela em que a distribuidora fornece em direção ao consumidor e a de que o consumidor possa voltar a energia produzida à rede.

Contudo, as particularidades referentes aos procedimentos operativos do sistema de distribuição estão definidas na Resolução Normativa 956/2021 (ANEEL, 2021a), denominado de Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST este reúne as normativas e a padronização no país, no tocante a relação das condições técnicas e operacionais para os consumidores(usuários) da rede elétrica na modalidade da geração distribuída e nas modalidades convencionais.

Sendo que as particularidades referentes à modalidade de geração distribuída, micro e minigeração está definida na resolução normativa nº 878/2020 e na 1000/2020 da ANEEL. Esta atualização contribuiu para esclarecer pontos como: i) procedimentos para requerer a nova conexão; ii) prazo médio para a resposta das distribuidoras. Permitindo a possibilidade da utilização dos créditos gerados pelo excedente de energia cedido à rede, flexibilizando a forma como os consumidores podem usufruir dos créditos e gerar mais possibilidades de negócios acelerando a expansão desse modelo.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2024) opera no Brasil duas modalidades para a tarifação de energia: i) a tarifa convencional; e a ii) tarifa branca. Na tarifa convencional o preço do kWh é calculado independentemente do horário utilizado, já na chamada tarifa branca, temos uma definição previa para cada distribuidora com base em um horário de maior uso, sendo classificado como de baixo uso, uso intermediário e uso em um horário de grande consumo de acordo com essa classificação temos a variação da tarifa. O horário de grande consumo tem sempre 3h de duração e o horário intermediário é definido como os intervalos de 1h exatamente antes e depois do horário de grande consumo. As demais 19h do dia são consideradas fora da chamada ponta de maior consumo.

Todas essas tarifas e os horários citados acima são definidos pela ANEEL nas Revisões Tarifárias. Aos finais de semana e feriados é aplicada somente a tarifa fora ponta (maior consumo), independente do horário do consumo. A citada tarifa branca foi idealizada para atuar como um mecanismo para aliviar o stress na rede de distribuição durante o pico da carga, pois o objetivo central é que aumentando a tarifa nesses horários críticos e, em troca, diminuindo a tarifa ao longo da maior parte do dia, os consumidores sejam estimulados a repensar sua forma de consumo e busquem diminuir o uso no horário de ponta, diminuindo o pico de carga.

Buscando minimizar as barreiras para o acesso da microgeração de energia no Brasil a sua regulamentação foi simplificada de modo a dispensar a assinatura de contratos de uso e conexão para os sistemas que adotem a forma de sistema net metering para as microgerações. Utilizando somente um relacionamento operacional para as microgerações e um acordo operativo para as minigerações. Tornou-se dispensável também a apresentação do Certificado de Registro, cabendo à concessionária o envio dos dados à ANEEL, afim de registro. E eventuais estudos técnicos necessários são de responsabilidade da distribuidora de energia elétrica e não do usuário/acessante, sendo que existem algumas diretrizes especificadas pelo órgão regulador para a conexão e utilização das minigerações e microgerações de energia elétrica conectada ao sistema de distribuição de energia elétrica, onde tais requisitos podem ser adaptados dependendo das normas da concessionária de energia local.

3 O USO DAS MICRORREDES NO IDEAL DA ENERGIA DO FUTURO

As microrredes com características básicas de possuírem um porte reduzido em relação à rede elétrica convencional, dotadas de um sistema de instalação delimitado a uma região atuando de forma ilhada com uma proximidade entre a fonte de geração e consumo, não constituem uma inovação. Haja vista os primeiros sistemas elétricos no mundo também eram pequenos, possuíam produções locais próximas das cargas e operavam isolados. A principal distinção desse conceito modernizado para os chamados modelos primitivos está na inserção de geração distribuída, de controladores baseados em eletrônica de potência e de sistemas de armazenamento de energia, principalmente pelo uso de baterias.

Para incentivar a microgeração de energia os principais instrumentos utilizados nas políticas de incentivos (financeiros, financiamento público e políticas regulatórias) para a inserção das fontes renováveis no mundo são: i) *Feed-in Tariffs*; ii) *Tender System*; iii) Subsídios Financeiros; iv) Incentivos Fiscais; v) Certificados Verdes de Energia Renovável; vi) Sistema de cotas com Certificados Verdes e *Net Metering* (Silva *et al.*, 2020, p. 52219-52220).

A adoção do sistema Sistema de Medição Líquida (*Net Metering System*) como política de incentivo e simplificação do processo de contabilização de troca de energia e a regulamentação da tarifa branca para os consumidores (residenciais e rurais) estão cada vez mais tornando atrativa a conexão por meio de micro e minigeração estabelecendo uma nova perspectiva para o futuro da constituição de microrredes no sistema elétrico brasileiro.

A contribuição dos sistemas de armazenamento de energia se revela de suma importância no contexto da integração das fontes renováveis intermitentes, a exemplo da energia solar e eólica, nas redes elétricas já estabelecidas. Esses sistemas desempenham um papel importante na estabilização do sistema elétrico, desviando os desafios relacionados a picos de demanda e flutuações na geração de energia, como afirmado por Garcia e Silva (2020, p. 34-47). Sua flexibilidade oferece uma solução viável para lidar com a natureza variável dessas fontes e contribui para a manutenção de um suprimento elétrico confiável e eficiente.

Hughes (2020, p. 426) ressalta que esses sistemas desempenham um papel fundamental na minimização do desperdício de energia excedente, armazenando-a para uso futuro quando a geração é menor. Isso contribui para otimizar o aproveitamento das fontes renováveis e garantir a disponibilidade de energia durante os períodos de baixa geração.

Futuramente, anseia-se que o sistema de microrredes possam estar espalhadas por todo o planeta, sendo utilizadas por todas as pessoas individualmente e no convívio social com todos que compõem a sociedade, servindo de benefício para a humanidade e para a natureza. Ocorrendo a democratização da tecnologia por meio da transferência dos países desenvolvidos para os menos desenvolvidos, pois estes últimos são na maioria das vezes os mais afetados pela falta da tecnologia inovadora e do acesso a eletricidade para manutenção de suas necessidades básicas.

3.1 Energias Renováveis Como Alternativa de Liberdade do Consumidor

As microrredes têm conseguido um papel de destaque pelo fato de ser uma alternativa ao aumento das fontes renováveis intermitentes e à segurança energética. Sendo consideradas como soluções confiáveis e limpas capazes de integrar este tipo de geração à rede elétrica convencional aumentando sua confiabilidade e possibilitando uma melhor gestão e controle por meio da potencialização de seus benefícios e vantagens. A integração dos sistemas de armazenamento gera um melhor aproveitamento dos recursos locais disponíveis, além disso somado a sua capacidade de atingir um elevado nível de automação, que permite suportar uma variedade de cargas e fontes de geração sem a presença da rede elétrica.

Do ponto de vista das distribuidoras as microrredes com sua gestão local de energia, poderia ajudar a resolver situações advindas do atendimento e da sua crescente demanda, pela própria redução deste fluxo ou pela implantação local e

maior integração das mais diversas fontes de energia e sistemas de armazenamento próximas ao consumidor. As microrredes são capazes de permitir a realização de reparos pontuais sem afetar o suprimento de energia aos consumidores, similar à geração distribuída, já que pelo nível mais elevado de automatização (cargas despacháveis poderiam ser desligadas), poderiam executar a redução do estresse da rede e do congestionamento nas linhas, reduzindo desse modo os custos e as perdas que ocorrem no transporte da energia elétrica.

O uso desse tipo de sistema de microrredes é importante para o setor elétrico, sendo capaz de reduzir o impacto ambiental proporcionando uma economia de energia, possibilitando sua expansão com uma distribuição do sistema de forma coordenada e flexível, trazendo melhorias na qualidade e confiabilidade no fornecimento de energia, etc (Soshinskaya *et al.*, 2014, p. 19).

No olhar consumerista, as microrredes têm o potencial de atender suas necessidades energéticas utilizando recursos locais, pela adoção de um fornecimento de energia e de outros serviços dotados de qualidade e continuidade, reduzindo a poluição e seus custos energéticos, proporcionando um gerenciamento da energia tanto pelo lado da oferta e demanda como entre outros, desta forma temos a maximização dos seus benefícios econômicos com o controle local adaptando os serviços as necessidades dos indivíduos.

Diferentemente dos sistemas convencionais, a maior atratividade das microrredes é sua capacidade de armazenar energia elétrica com o oferecimento dos seguintes benefícios: i) fornecimento de energia no curto prazo; ii) transição suave entre os modos de operação atuando como aliviadores das tensões elétricas em casos de emergência; iii) integração de fontes renováveis intermitentes sendo capaz de armazenar o seu excedente gerado durante uma elevada disponibilidade do recurso para posterior uso durante sua escassez; iv) arbitragem de valores com a possibilidade de comprar energia da rede quando esta apresenta-se valores baixos no mercado e gerar sua própria energia (ou vender seus excedentes) quando mais cara; v) otimizar as fontes de geração fornecendo suporte quando alguma fonte de geração distribuída apresentasse instabilidade. De maneira geral, muitos são os benefícios que podem ser ofertados pelas microrredes as distribuidoras, aos consumidores e a toda a sociedade de modo geral.

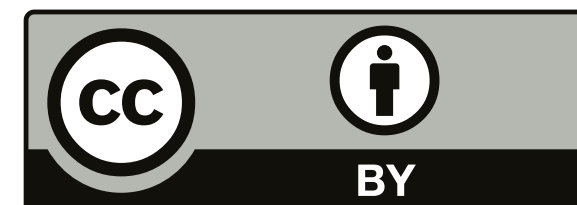
Ao contrário do que muitos podem pensar, a instalação de painéis solares em uma residência ou em um condomínio não torna os moradores livres de sofrerem os efeitos de blecautes. Hoje, a legislação brasileira não permite que uma microrrede funcione de forma ilhada e independente desligada da rede principal. Para seu funcionamento no caso da energia solar é preciso compatibilizar painéis com a rede de energia, por meio de um inversor de frequência que devido a um mecanismo de proteção, este só funciona quando a rede principal está energizada.

Dessa forma quando a rede desliga, o dispositivo automaticamente deixa de funcionar também, com exceções restritas para os casos de manutenção de atividades essenciais, como o funcionamento de hospitais. Se o ilhamento não é permitido, a existência das microrredes não faz sentido se analisarmos pelo lado da dependência existente.

Assim, para que haja um desenvolvimento promissor das microrredes, os seguintes desafios devem ser superados: implementação dos sistemas de comunicação e de adaptação dos sistemas de proteção das redes elétricas; resolução de incertezas regulatórias, pois ainda falta legislação e regulação para padronizar o funcionamento das microrredes; e os elevados custos de investimento para a adaptação das redes e instalação dos equipamentos das microrredes (Camello, 2021, p. 12-13).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer deste trabalho observou-se que os conceitos relacionados a microrredes de energia e sua utilização, foi possível entender como estas são dotadas de capacidade para transformar o setor elétrico convencional nos mais diversos



níveis tornando-o moderno, confiável, controlável, eficiente, flexível, sustentável, seguro e acessível. Tais vantagens advindas do aumento exponencial de consumo de energia elétrica pela população mundial, que acabaram por transformar a disponibilidade e o custo da energia um elemento estratégico e capaz de determinar o desenvolvimento econômico de um país.

Impreterivelmente a noção de desenvolvimento sustentável do ponto de vista econômico, direciona a um aglomerado de normas jurídicas que buscam equilibrar as atividades e necessidades humanas com a proteção ao meio ambiente e ao consumo consciente dos bens, da natureza, das relações de consumo e dos homens entre si. Garantindo qualidade de vida e de consumo sustentável para as gerações presentes e futuras.

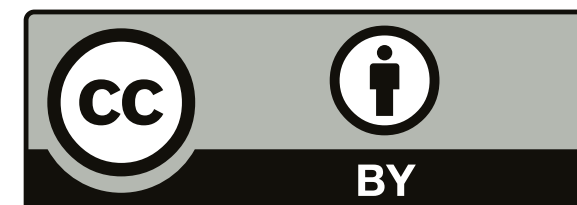
Neste contexto fica claro o quanto é promissor o estudo e o uso da tecnologia das microrredes diante da compreensão da sua operabilidade, seus componentes, sua origem e seus propósitos associado a uma arquitetura sem restrições para construção, já que baseia suas instalações nas necessidades sociais locais e nos recursos disponíveis. Sendo um campo de pesquisa relativamente novo e extremamente vasto, o estudo segue demonstrando como acontece o processo de tarifação aos consumidores pelo uso do sistema elétrico tradicional e cita a regulamentação da Agência Nacional de Energia elétrica no tocante ao uso de microrredes e de geração própria de energia temática ainda bastante incipiente não só no Brasil mais no mundo de modo geral.

Enfim, ocorre o direcionamento para uma breve análise com o objetivo de ressaltar que a finalidade de qualquer tecnologia seria tornar melhor a vida individual e em sociedade, por meio da preservação continua dos recursos naturais e que o uso das microrredes apresenta quase nenhuma desvantagem ao consumidor de energia que teria a produção da sua eletricidade bem mais próxima de si. Muitas são as razões pelas quais é benéfico que as microrredes estejam vinculadas ao lugar de habitação. Dentre elas: a) Resiliência Energética: estas podem operar independentemente da rede principal, garantindo fornecimento contínuo de energia durante interrupções, sendo bastante promissoras para infraestruturas críticas como hospitais e centros de emergência; b) Redução de Impacto Ambiental: com a utilização de fontes de energia renovável, as microrredes ajudam a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promovem a sustentabilidade ambiental; c) Autonomia e Controle Local: proporcionando às comunidades a capacidade de gerar e gerenciar sua própria energia, reduzindo a dependência de redes centralizadas e aumentando a segurança energética; d) Economia de Custos: podem diminuir os custos de energia com a redução da dependência da rede principal durante os períodos de pico de demanda; e) Desenvolvimento Econômico e Social: advindo do acesso confiável à energia, as comunidades podem investir em infraestrutura, educação e saúde, impulsionando o desenvolvimento local; f) Melhoria na Qualidade e Confiabilidade do Fornecimento: a proximidade da geração de energia aos consumidores finais garante um fornecimento mais estável e eficiente.

Tudo isso promovendo o desenvolvimento sustentável. E constatando que o uso do sistema de microrredes são capazes de alterar profundamente como os indivíduos e a sociedade na sua plenitude podem lidar com a produção, o fornecimento e o uso da energia elétrica em sua vida.

REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa n. 956, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece os procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST, revoga as resoluções normativas n. 395, de 15 de dezembro de 2009; n. 424, de 17 de dezembro de 2010; n. 432, de 5 de abril de 2011 e dá outras providências. Brasília, DF: ANEEL, 2021a. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html>. Acesso em: 30 jan. 2025.



ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa n. 1000/2021**. Estabelece as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica; revoga as resoluções normativas ANEEL n. 414, de 9 de setembro de 2010; n. 470, de 13 de dezembro de 2011; n. 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Brasília, DF: ANEEL, 2021b. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa n. 482/2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF: ANEEL, 2012. Disponível em: <https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=342518>. Acesso em: 10 jun. 2024.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa n. 878/2020**. Medidas para preservação da prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica em decorrência da calamidade pública atinente à pandemia de coronavírus (COVID-19). Brasília, DF: ANEEL, 2020. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020878.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas e informações econômico-financeiras**. Brasília, DF: ANEEL, 3 jan. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras>. Acesso em: 2 jul. 2024.

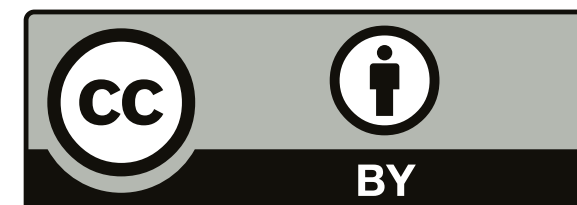
ABRADEE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Setor elétrico precisa ser sustentável para todos os consumidores**. Brasília, DF: ABRADEE, [2024]. Disponível em: <https://abradee.org.br/setor-eletrico-precisa-ser-sustentavel-para-todos-os-consumidores/>. Acesso em: 16 jul. 2024.

BELLIDO, Marlon Max Huamaní. **Microrredes elétricas**: uma proposta de implementação no Brasil. 2018. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFRJ_d9ce8350c043d2fd2310e-339d2cccc40. Acesso em: 30 set. 2024.

BRASIL. **Lei n. 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o sistema de compensação de energia elétrica (SCEE) e o programa de energia renovável social (PERS); altera as leis n.s 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/leis/lei-n-14-300-2022.pdf/view>. Acesso em: 30 jan. 2025.

CAMELLO, Indianara. **Análise da difusão de microrredes no Brasil pelo método do modelo de BASS**. 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2049>. Acesso em: 1 jun. 2024.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional**. Brasília, DF: EPE, [2024]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/pu>



blicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben. Acesso em: 16 jul. 2024.

ESPOSITO, Alexandre Siciliano. **O setor elétrico brasileiro e o BNDES**: reflexões sobre o financiamento aos investimentos e perspectivas. Brasília, DF: BNDES, 2013. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/920?locale=pt_BR. Acesso em: 30 jan. 2025.

GIDDENS, Anthony. **A política da mudança climática**. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

HIRSCH, Adam; PARAG, Yael; GUERRERO, Josep. Microgrids: a review of technologies, key drivers, and outstanding issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v. 90, p. 402-411, July 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.040>.

HUAYLLAS, Tesoro Elena del Carpio. **Micro-redes elétricas**: estado da arte e contribuição para o dimensionamento, aplicação e comercialização da energia produzida. 2015. Tese (Doutorado em Sistemas de Potência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.3.2016.tde-21072016-103624>.

HUGHES, Thomas Parke. Networks of power: electrification in western society, 1880-1930. **Journal of American History**, Bloomington, v. 72, n. 2, p. 426, set. 1985. DOI: <https://doi.org/10.2307/1903433>.

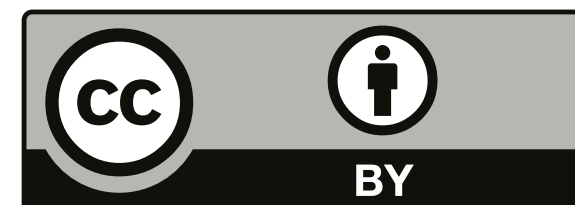
KUEFFNER, John H. Wind hybrid power system for Antarctica inmarsat link. *In*: INTELEC – INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS ENERGY CONFERENCE, 86., 1986, Toronto. **Anais** [...]. Toronto: IEEE, 1986. p. 297-298. DOI 10.1109/INTLEC.1986.4794440.

LASSETER, Robert H. Microgrids. *In*: POWER ENGINEERING SOCIETY WINTER MEETING, 2002, New York. **Anais** [...]. New York: IEEE, 2002. p. 305-308. DOI 10.1109/PESW.2002.985003.

LASSETER, Robert H.; PAIGI, Pesigan. Microgrid: a conceptual solution. *In*: PESC – POWER ELECTRONICS SPECIALISTS CONFERENCE, 35., 2004, Aachen. **Anais** [...]. Aachen: IEEE, 2004. v. 6, p. 4285-4290. DOI 10.1109/PESC.2004.1354758.

MARNAY, Chris; CHATZIVASILEIADIS, Spyros; ABBEY, Chad; IRAVANI, Reza; JOOS, Geza; LOMBARDI, Pio; MANCARELLA, Pierluigi; APPEN, Jan von. Microgrid evolution roadmap. *In*: EDST – INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SMART ELECTRIC DISTRIBUTION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES, 15., 2015, Granada. **Anais** [...]. Granada: SCImago, 2015. p. 139-144. Disponível em: http://www.chatziva.com/publications/Marnay_et-al_Viena_EDST_20150805.pdf. Acesso em: 1 jun. 2024.

MORAES, Fabricio P.; OLIVEIRA, Hércules A.; LEITE NETO, Pedro Bezerra; SAAVEDRA, Osvaldo R.; RIBEIRO, Luiz Antônio de S.; AUGUSTO JÚNIOR, Marcelo Fernandes; PINHEIRO, Lucas de P. A.; CAZO, Rogério M. Caracterização e Aplicações de Microrredes de Missão Crítica. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 9., 2022, São Luís. **Anais** [...]. São Luís: Sociedade Brasileira de Automática, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20906/sbse.v2i1.2919>.



NOS - NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Sobre o SIN:** o sistema em números. Brasília, DF: NOS, 2024. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 16 jul. 2024.

SANTANA, João Paulo Porto da Silva. **Critérios para uma microrrede inteligente, sustentável e resiliente**. 2022. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/36077>. Acesso em: 30 jan. 2025.

SILVA, Augusto Antônio Coutinho; OLIVEIRA FILHO, Oyama Douglas Queiroz de; ARAÚJO, Alex Maurício; SILVA, Claudio Orlando Gomes da; FERREIRA, Cândido Requião; ANDRADE, Lucas Iolanda de; ARRUDA FILHO, Pedro Henrique Cavalcanti de. Análise das atuais políticas de incentivo à mini e microgeração distribuída e da certificação de aerogeradores de pequeno porte no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 52217-52235, jul. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-755>.

SOARES, Renan Moreira; OLIVEIRA, Marcelo Escobar de. Microrredes: o conceito através da história, incentivos e o mercado brasileiro. *In*: SBSE – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 9., 2022, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Sociedade Brasileira de Automática, 2022. p. 813-820. DOI 10.20906/sbse.v2i1.2988.

SOSHINSKAYA, Mariya; WINA, Graus; GUERRERO, Josep M.; VASQUEZ, Juan Carlos. Microgrids: experiences, barriers and success factors. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v. 40, p. 659-672, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.198>.

VASQUEZ, Juan Carlos; GUERRERO, Josep M.; MIRET, Jaume; CASTILLA, Miguel; VICUÑA, Luis Garcia de. Hierarchical control of intelligent microgrids. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, Piscataway, v. 4, n. 4, p. 23-29, dec. 2010. DOI 10.1109/MIE.2010.938720.

VICTORIO, Marcos Paulo Caballero. **Modelagem e simulação do sistema de controle de uma microrrede de corrente alternada integrando sistemas fotovoltaicos e armazenamento de energia**. 2023. 230 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2023. Disponível em: http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/48386/1/MarcosPauloCaballeroVictorio_DISSERT.pdf. Acesso em: 30 jan. 2024.

Como citar: CAMPOS, Izabeliza Silva; VITA, Jonathan Barros. Microrredes: desafios e tendências para geração de energia sustentável na perspectiva do consumidor. **Scientia Iuris**, Londrina, v. 29, n. 1, p.39-70, mar. 2025. DOI: 10.5433/2178-8189.2025v29n1.p39-70. ISSN: 2178-8189.

Recebido em: 04/10/2024.

Aprovado em: 01/02/2024.