

A USINA VIRTUAL DE ENERGIA (VIRTUAL POWER PLANT): O PRÓXIMO NÍVEL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E A NECESSIDADE DE UM NOVO MARCO REGULATÓRIO NO BRASIL A PARTIR DO MODELO CALIFORNIANO¹

The virtual power plant: the next level of distributed generation and the need for a new regulatory framework in Brazil based on the Californian model

Aderaldo Cavalcanti da Silva Júnior²

Universidade de Marília (UNIMAR) – Marília/SP, Brasil

RESUMO ESTRUTURADO

Contexto: o avanço das tecnologias energéticas descentralizadas e a busca por soluções sustentáveis impulsionaram o surgimento das usinas virtuais de energia (Virtual Power Plants - VPPs), plataformas que integram diversas fontes distribuídas, como painéis solares e baterias, e otimizam sua operação para estabilizar a rede e viabilizar a participação no mercado. No Brasil, apesar do marco da Lei nº 14.300/2022 para micro e minigeração distribuída, ainda não há regulação específica para as VPPs, o que restringe seu desenvolvimento. Em contraste, o modelo californiano, liderado pela Tesla, já se consolidou como referência prática e regulatória.

Objetivo: o artigo analisa o papel das usinas virtuais na transformação do setor elétrico, comparando os marcos regulatórios do Brasil e da Califórnia. Busca-se identificar os entraves à implementação das VPPs no mercado livre brasileiro e propor diretrizes para sua incorporação, com vistas à ampliação da competitividade, da geração renovável e da eficiência energética. A análise considera a evolução dos modelos de mercado e o papel dos agregadores de recursos energéticos distribuídos.

1 **Editor responsável:** Prof. Dr. Victor Oliveira Fernandes, Conselho Administrativo de Defesa Econômica (Cade), Brasília, DF, Brasil.
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5250274768971874>. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5431-4142>.

Recebido em: 06/07/2025 **Aceito em:** 28/10/2025 **Publicado em:** 10/12/2025

2 Doutor e Pós-doutorando em Direito pela Universidade de Marília. Mestre em Direito e Desenvolvimento Sustentável pelo Centro Universitário de João Pessoa. Especialista em Direito Tributário, Direito Público, Direito Constitucional e Direito Concorrencial. Procurador do Município de João Pessoa. Atuou na Procuradoria Judicial em demandas estratégicas com atuações no Supremo Tribunal Federal e Tribunal Superior do Trabalho. Atualmente é lotado na Procuradoria Fiscal atuando no contencioso Tributário. Advogado. Autor de artigos jurídicos. Bacharel em Letras.

E-mail: aderaldocts@gmail.com **Lattes:** <http://lattes.cnpq.br/5555755116686159>.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8032-0674>

Método: a pesquisa adota abordagem qualitativa, com base em revisão bibliográfica, análise documental e estudo comparado de normas nacionais e estrangeiras. Foram examinados o funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o modelo californiano, notadamente o *Tesla Virtual Power Plant*.

Conclusões: a ausência de regulação específica para as VPPs no Brasil limita a modernização do setor e a entrada de pequenos geradores no mercado livre. Conclui-se pela necessidade de revisão normativa que permita aos agregadores atuar como comercializadores de energia. A experiência californiana evidencia o potencial das VPPs para garantir estabilidade à rede, eficiência no uso de renováveis e empoderamento dos consumidores. Uma regulação clara e técnica poderá consolidar esse modelo no Brasil, promovendo inovação, sustentabilidade e justiça energética.

Palavras-chave: setor elétrico brasileiro; geração distribuída; comercialização descentralizada de energia; inovação tecnológica; política regulatória.

STRUCTURED ABSTRACT

Context: the advancement of decentralized energy technologies and the pursuit of sustainable solutions have driven the emergence of Virtual Power Plants (VPPs), digital platforms that integrate distributed sources such as solar panels and home batteries, optimizing their operation to stabilize the grid and participate in the energy market. In Brazil, although Law No. 14.300/2022 established a framework for micro and mini distributed generation, there is still no specific regulation for VPPs, which limits their development. In contrast, the Californian model, led by Tesla, is already consolidated as a practical and regulatory benchmark.

Objective: this article analyzes the role of Virtual Power Plants in transforming the electric sector by comparing the regulatory frameworks of Brazil and California. It seeks to identify the legal barriers to implementing VPPs in Brazil's free energy market and to propose guidelines for their incorporation, aiming to expand competitiveness, renewable generation, and energy efficiency. The analysis considers the evolution of market models and the role of distributed energy resource aggregators.

Method: the research adopts a qualitative approach based on bibliographic review, document analysis, and comparative study of national and international regulations. It examines the operation of Brazil's Electric Energy Trading Chamber (CCEE), the Electric Energy Compensation System (SCEE), and the Californian model, particularly the Tesla Virtual Power Plant.

Conclusions: the lack of specific regulation for VPPs in Brazil hampers modernization of the electric sector and restricts small generators' access to the free market. The study concludes that regulatory reform is needed to allow distributed generation aggregators to act as energy traders. The Californian experience demonstrates that VPPs enhance grid stability, renewable energy efficiency, and consumer empowerment. A clear and technically sound regulatory framework could enable the consolidation of this model in Brazil, fostering innovation, sustainability, and energy justice.

Keywords: brazilian electric sector; distributed generation; decentralized energy trading; technological innovation; regulatory policy.

Classificação JEL: K2; L94.



Sumário: 1. *Introdução*; 2. *Evolução dos modelos de setor elétrico: do monopólio à competitividade*; 2.1. *O modelo verticalmente integrado no setor elétrico: perspectivas pública e privada*; 2.2. *Abertura de mercado e eficiência econômica: a transição para modelos competitivos*; 2.2.1. *Modelo de mercado atacadista*; 2.2.2. *Modelo de mercado varejista*; 3. *As etapas da produção de energia elétrica no contexto brasileiro*; 4. *A CCEE e o mercado livre de energia: mecanismos de acesso para consumidores atacadistas e varejistas*; 5. *Virtual Power Plants: conceitos, aplicações e o caso Tesla como referência internacional*; 5.1. *Recursos Energéticos Distribuídos – DER e as Virtual Power Plants – VPP: a integração de fontes descentralizadas para a eficiência energética*; 6. *Aspectos jurídicos da venda de excedente energético: uma abordagem comparada Brasil-Califórnia*; 7. *Diretrizes para a regulação das VPPs no Brasil: desafios institucionais e propostas de integração*; 8. *Conclusão; Referências*.

1 INTRODUÇÃO

A emergência de novos paradigmas tecnológicos e regulatórios no setor elétrico tem impulsionado a descentralização da geração de energia, promovendo a reconfiguração dos modelos tradicionais de produção, distribuição e comercialização. Nesse contexto, as *Virtual Power Plants* (VPPs) ou usinas virtuais de energia surgem como uma solução inovadora, capaz de integrar múltiplos Recursos Energéticos Distribuídos (DERs), como sistemas fotovoltaicos, baterias residenciais e veículos elétricos, por meio de plataformas digitais inteligentes. Mais do que um avanço tecnológico, trata-se de uma transformação estrutural na forma de produzir e gerir energia, com impactos diretos na eficiência, sustentabilidade e democratização do setor.

Apesar do potencial disruptivo das usinas virtuais, o ordenamento jurídico brasileiro ainda carece de um marco regulatório que reconheça e discipline adequadamente sua atuação. A legislação vigente, embora tenha avançado com a Lei nº 14.300/2022, que instituiu o marco da micro e minigeração distribuída (Brasil, 2022a), ainda não contempla a figura do agregador de recursos energéticos distribuídos como agente formal do mercado, tampouco permite que pequenas unidades produtivas reunidas sob uma usina virtual participem do Ambiente de Contratação Livre (ACL). Essa lacuna normativa representa um entrave significativo à inserção de novos modelos descentralizados e digitais de geração de energia no Brasil.

A experiência da Califórnia, por sua vez, revela um cenário mais avançado. A partir de diretrizes regulatórias claras e incentivos específicos, o Estado norte-americano não apenas viabilizou a atuação das usinas virtuais, como consolidou modelos operacionais robustos, como o *Tesla Virtual Power Plant*, que operam em parceria com concessionárias locais e integram ativamente pequenos geradores à lógica do mercado, inclusive com mecanismos de compensação financeira direta. Essa realidade comparada oferece elementos valiosos para a reflexão normativa brasileira.

Diante disso, o presente artigo tem como objetivo principal analisar o papel das usinas virtuais na transformação do setor elétrico, examinando os fundamentos técnicos e jurídicos do modelo, os desafios regulatórios existentes no Brasil e as alternativas adotadas pelo Estado da Califórnia. Para tanto, será adotada uma abordagem qualitativa e comparativa, com base em revisão bibliográfica narrativa, análise documental e exame dos principais atos normativos aplicáveis. Ao final, serão propostas diretrizes concretas para a regulamentação das usinas virtuais de energia no Brasil, com vistas à consolidação de um ambiente regulatório que favoreça a inovação, a sustentabilidade e a justiça energética.

A estrutura do artigo comprehende, inicialmente, a exposição dos modelos de organização do setor elétrico e da cadeia produtiva da energia no Brasil, seguida da análise dos mercados atacadista e varejista de energia e do funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Em seguida, será examinado o modelo do *Tesla Virtual Power Plant* como referência internacional, abordando sua arquitetura técnica e institucional, para então discutir os aspectos jurídicos da comercialização de excedente energético e apresentar propostas regulatórias para a efetiva inserção das usinas virtuais no sistema elétrico nacional.

2 EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE SETOR ELÉTRICO: DO MONOPÓLIO À COMPETITIVIDADE

Para compreender a relevância e a crescente complexidade das usinas virtuais de energia, foco central deste estudo, é necessário, inicialmente, estabelecer uma base conceitual sólida sobre a modelagem do setor elétrico. A análise das estruturas de geração, transmissão, distribuição e comercialização é indispensável para contextualizar as inovações que se inserem nesse cenário.

De forma geral, podem ser identificados três modelos principais de organização do setor elétrico. O primeiro apresenta caráter monopolista, com forte centralização de controle e operação; os demais baseiam-se na competição de mercado, buscando eficiência por meio da concorrência. Para fins didáticos, a exposição destes modelos adota um enfoque conceitual, abstraindo detalhes técnicos específicos.

Na prática, contudo, os sistemas elétricos nacionais assumem configurações híbridas. Cada país desenvolve um modelo próprio de gestão da energia, resultado da combinação e adaptação de diferentes paradigmas às suas condições econômicas, tecnológicas e institucionais. Essa flexibilidade - que permite a fusão de elementos de distintas abordagens - é fundamental para compreender a evolução e a diversidade dos arranjos regulatórios do setor.

2.1 O modelo verticalmente integrado no setor elétrico: perspectivas pública e privada

Nos modelos de monopólio verticalmente integrado, o controle de toda a cadeia produtiva: geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, concentra-se em um único agente, que pode ser tanto público quanto privado. Quando o Estado detém essa posição, assume integralmente a responsabilidade pelo setor, exercendo o planejamento, a operação e a fiscalização das atividades. Nesses casos, observa-se forte centralização e reduzida participação da iniciativa privada, que atua apenas de forma complementar. Historicamente, tais arranjos estão associados a



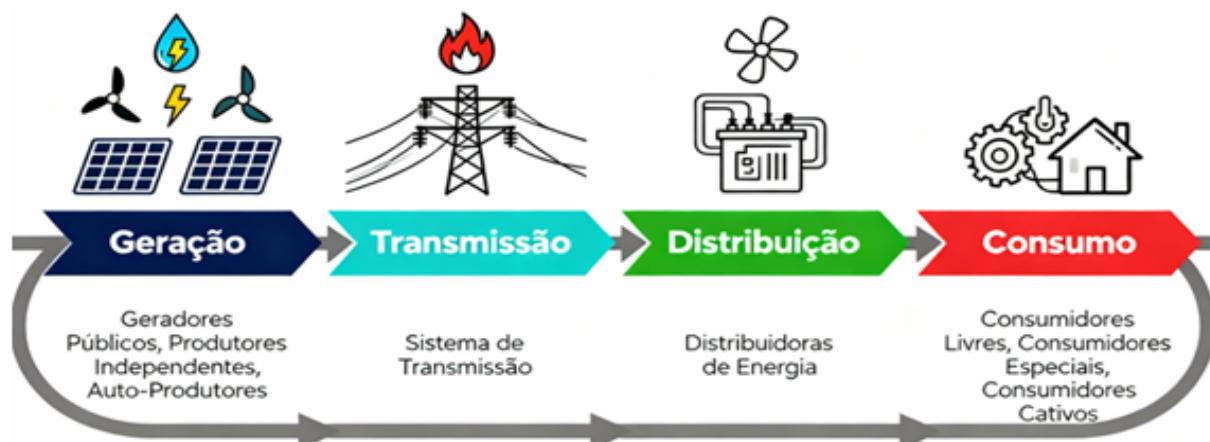
processos de nacionalização de ativos ou à adoção de políticas voltadas à universalização do acesso à energia (Hunt, 2002, p. 41).

Uma característica marcante desse modelo é o descompasso entre o custo real da energia e o preço pago pelo consumidor, frequentemente reduzido por subsídios estatais e critérios políticos ou sociais. O sistema demanda regulação simples, pois o próprio Estado concentra as funções de controle e execução, priorizando a manutenção da infraestrutura e a continuidade do serviço público.

Quando o monopólio verticalmente integrado é exercido por agentes privados, a dinâmica altera-se substancialmente: a regulação passa a desempenhar papel central na mediação entre os interesses do investidor e a proteção do consumidor. O objetivo consiste em equilibrar tarifas justas com níveis de rentabilidade que assegurem a sustentabilidade do negócio e incentivem novos investimentos, evitando tanto a prática de preços abusivos quanto a inviabilidade econômica do agente concessionário. Em certas circunstâncias, também se admite a utilização de subsídios direcionados aos consumidores finais, como mecanismo de política pública ou de mitigação de desigualdades regionais (Paixão, 2009, p. 343).

Os modelos de monopólio verticalmente integrados, sejam privados ou públicos podem ser assim representados:

Figura 1 - Ciclo da energia elétrica



Fonte: elaboração própria.

A imagem acima ajuda a compreender como, nesse tipo de estrutura, um único agente controla toda a cadeia de valor da energia elétrica, concentrando funções que, em modelos mais modernos, tendem a ser desagregadas para estimular a concorrência e a eficiência econômica.

Por fim, é importante observar que esse modelo foi predominante em diversos países durante boa parte do século XX, sendo progressivamente substituído por modelos baseados em competição apenas a partir das reformas neoliberais nas décadas de 1980 e 1990. No entanto, ele ainda se mantém em algumas realidades, especialmente em contextos de baixa maturidade institucional, dificuldade de atrair investimentos ou quando o setor elétrico é considerado estratégico demais para ser fragmentado (Kessides, 2004, p. 1).

2.2. Abertura de mercado e eficiência econômica: a transição para modelos competitivos

A evolução dos modelos de organização do setor elétrico, especialmente a partir das últimas décadas do século XX, reflete a valorização crescente da concorrência, da eficiência alocativa e da racionalização econômica na oferta de energia. Nesse contexto, os modelos concorrenenciais despontam como alternativa aos sistemas verticalmente integrados, públicos ou privados, promovendo a fragmentação da cadeia produtiva em segmentos autônomos e sujeitos à dinâmica de mercado nas etapas tecnicamente viáveis à competição.

A base teórica desses modelos apoia-se na teoria dos monopólios naturais e na microeconomia aplicada à regulação setorial, que reconhecem a heterogeneidade estrutural do ciclo energético. Enquanto transmissão e distribuição configuram monopólios naturais, devido ao elevado custo fixo e à baixa replicabilidade da infraestrutura, geração e comercialização admitem concorrência, permitindo a atuação de múltiplos agentes e a formação de mercados atacadista e varejista de energia. Essa segmentação busca equilibrar eficiência econômica, segurança do suprimento e modicidade tarifária.

2.2.1 Modelo de mercado atacadista

No contexto brasileiro, o mercado atacadista de energia elétrica foi originalmente concebido em 2002, conforme previsto no art. 1º da Lei Federal nº 10.433/2002, posteriormente revogada pela Lei nº 10.848/2004, sendo regulamentado pelo Decreto nº 5.177/2004 (Brasil, 2004a). À época, optou-se por um modelo autorregulado, no qual as normas de funcionamento seriam estabelecidas pelos próprios agentes do setor: geradores, distribuidores, comercializadores e consumidores livres (Magalhães; Parente, 2009, p. 59-79).

Nesse contexto, segundo Paixão (2009, p. 343), os modelos baseados na competição, como o do mercado atacadista, caracterizam-se pela concorrência concentrada na etapa de geração de energia elétrica, em que diferentes produtores disputam a venda da energia gerada. Uma de suas principais características é a ausência de integração vertical entre as etapas da cadeia: geração, transmissão, distribuição e comercialização ou, quando existente, essa integração ocorre de forma limitada, com baixa participação percentual. Tal estrutura visa fomentar a eficiência econômica e ampliar a liberdade contratual entre os diversos agentes do mercado.

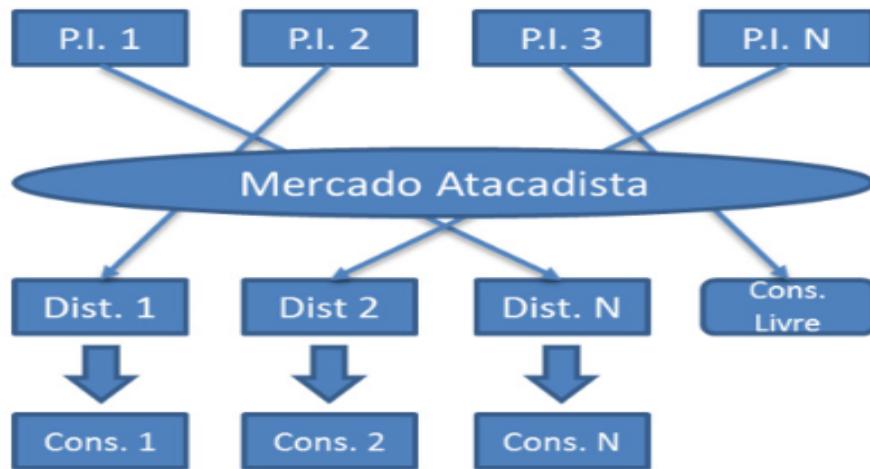
No modelo instituído em 2002, previu-se que o mercado atacadista de energia funcionaria de forma autorregulada, cabendo aos próprios agentes do mercado aprovar as regras de operação. Nesse arranjo, cada participante atua em um segmento específico da cadeia produtiva: quem gera não transmite, não distribui nem comercializa. A geração e a comercialização concentram-se, em geral, em agentes privados, enquanto a transmissão permanece sob forte presença estatal. O acesso ao mercado atacadista é restrito aos grandes consumidores, denominados livres, ao passo que os demais permanecem como consumidores cativos, vinculados ao distribuidor local.

Com o tempo, a regulação ganhou maior amplitude. O Decreto nº 5.177/2004 instituiu a CCEE, submetida à supervisão da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) (Brasil, 2004a). Cabe à CCEE disciplinar o ingresso de novos agentes de geração e comercialização, definir regras de acesso às redes de transmissão e distribuição, estabelecer padrões mínimos de qualidade, coibir práticas



anticoncorrenciais e monitorar as tarifas aplicadas aos consumidores que não têm acesso ao mercado livre, intervindo quando necessário.

Figura 2 - Modelo de funcionamento do mercado atacadista



Fonte: Novoa (2025).

Como representado na imagem acima, o mercado atacadista funciona como um elo intermediário entre os diversos produtores independentes (P.I.) e os distribuidores (Dist.), que, por sua vez, entregam a energia aos consumidores finais (Cons.). Adicionalmente, consumidores livres também podem adquirir diretamente sua energia no mercado, negociando condições específicas com os geradores ou comercializadores, sem intermediação das distribuidoras locais. Trata-se, portanto, de um ambiente que busca incentivar a eficiência econômica e a liberdade contratual, conforme preceituado na estrutura do setor.

2.2.2 Modelo de mercado varejista

Por fim, destaca-se a existência de um modelo competitivo que representa uma evolução do mercado atacadista tradicional: o chamado mercado varejista de energia elétrica. Embora seja ainda pouco adotado em escala global, esse modelo amplia as possibilidades de escolha dos consumidores, permitindo que a maioria, inclusive os de pequeno porte, como os consumidores residenciais, tenha liberdade para contratar diretamente o fornecedor de sua energia elétrica (Rodrigues; Lemos, 2022).

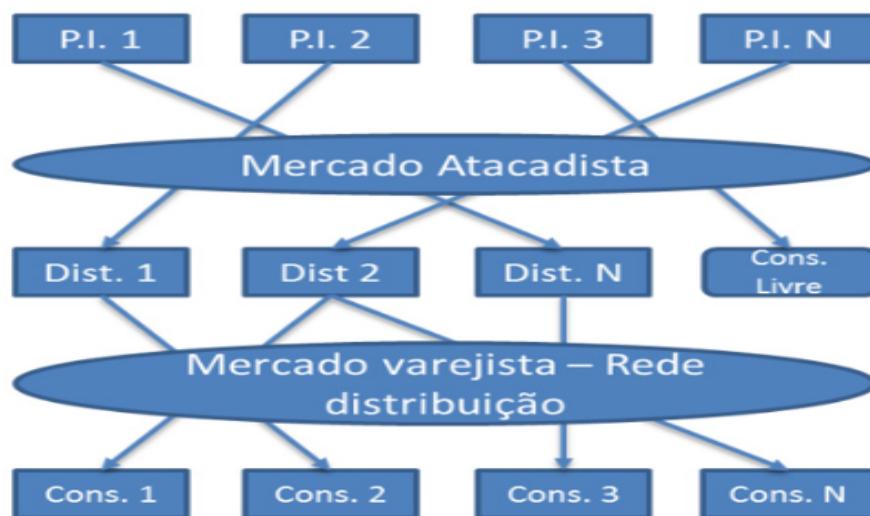
Trata-se, essencialmente, de uma ampliação da lógica concorrencial inicialmente aplicada à geração (típica do mercado atacadista), estendendo-a à comercialização da energia. Nessa configuração, há competição não apenas entre os produtores independentes, mas também entre as empresas comercializadoras, que disputam o fornecimento direto aos consumidores finais por meio da rede de distribuição.

Segundo Hunt (2002, p. 54), esse modelo pressupõe a existência de um mercado atacadista funcional e bem regulado, já que a atuação do mercado varejista depende da energia previamente negociada no atacado. Ou seja, as distribuidoras continuam a operar as redes físicas, mas os contratos de fornecimento passam a ser firmados entre consumidores e comercializadores autorizados, que

adquirem energia no atacado e a entregam via rede de distribuição.

O principal desafio à adoção do mercado varejista, segundo Paixão (2009, p. 343), reside no aumento dos custos administrativos. Estender a lógica da competição a consumidores de baixa demanda, como os residenciais, exige um grau de controle, medição, faturamento e regulação significativamente maior, o que torna o modelo economicamente menos atrativo, sobretudo em países com estruturas regulatórias e de medição ainda incipientes.

Figura 3 - Modelo de funcionamento do mercado atacadista



Fonte: Novoa (2025).

Como se observa, o mercado varejista incorpora todos os elementos do modelo atacadista, adicionando uma nova etapa: a competição entre comercializadores junto à rede de distribuição. Desse modo, amplia-se o leque de opções disponíveis ao consumidor final, que pode escolher entre diferentes fornecedores, mesmo continuando conectado à distribuidora local, a qual se limita, nesse cenário, à função técnica de entrega da energia contratada por terceiros.

Paixão (2009, p. 344) afirma que o novo modelo do setor elétrico brasileiro procura estabelecer a competição nas etapas inicial e final (geração e comercialização), dado que as etapas intermediárias constituem monopólios naturais. Essa migração ocorre em dois passos: inicialmente, busca-se a reestruturação do setor elétrico para efetuar a transição de um sistema próximo ao modelo de monopólio público verticalmente integrado para um sistema caracterizado como competitivo no atacado; e, quando este alcança pleno e adequado funcionamento, para um sistema que abarque também a competição no varejo.

3 AS ETAPAS DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CONTEXTO BRASILEIRO

Vistos os modelos de setor elétrico, cabe agora alguns esclarecimentos sobre a dinâmica da cadeia produtiva da energia elétrica. A energia até ser utilizada na fase final de consumo passa por uma série de etapas até poder ser usufruída e empregada nos seus mais diversos usos.



Ainda que a eletricidade esteja presente em diversos fenômenos naturais e biológicos, como na condução de impulsos eletroquímicos no sistema nervoso humano, em descargas atmosféricas e até em mecanismos de defesa de determinados organismos, essas manifestações não se prestam a aproveitamento econômico ou jurídico como fontes de energia.

No ano de 1996, a matriz elétrica brasileira era predominantemente composta por usinas hidrelétricas, responsáveis por aproximadamente 94% da energia gerada no país. As usinas termelétricas representavam cerca de 5% da produção, enquanto as nucleares correspondiam a apenas 1%. Em termos jurídicos, a geração de energia elétrica pode, em tese, ser exercida por qualquer pessoa, física ou jurídica. Contudo, no Brasil, há restrições legais relevantes, especialmente quanto à utilização de cursos d'água e ao emprego de combustível nuclear, cuja exploração está sujeita a regime jurídico especial e controle estatal rigoroso (Paixão, 2009). Assim, a atividade de geração pode ocorrer tanto sob regime de monopólio quanto em ambiente concorrencial, a depender das características técnicas da fonte utilizada e do enquadramento legal aplicável. (Paixão, 2009, p. 341).

Uma vez produzida a energia elétrica, que no caso brasileiro ocorre predominantemente em usinas hidrelétricas instaladas em rios de grande porte, como o Paraná, Tocantins e São Francisco, que historicamente concentram a maior parte do potencial hidrelétrico nacional e são responsáveis por significativa parcela da geração de energia do país (Hunt; Stilpen; Freitas, 2018), torna-se necessário transportá-la até as proximidades dos centros consumidores. Essa etapa é conhecida como transmissão. Considerando os elevados custos associados à construção de torres, linhas de transmissão, centros de operação e demais infraestruturas, a implantação de um regime de competição nesse segmento seria economicamente inviável. Por essa razão, a transmissão de energia é tratada no Brasil como um monopólio natural, sendo regulada e operada por agentes previamente autorizados pelo Estado (Paixão, 2009, p. 341).

Estando próxima dos centros consumidores, a energia elétrica precisa ser levada até a porta das residências, fábricas, estabelecimentos comerciais etc. Esta etapa é a distribuição, e, a exemplo da transmissão, tanto nas cidades como na zona rural, também é considerada monopólio natural no Brasil, já que seria economicamente inviável duplicar as redes de distribuição (postes ou tubulação subterrânea, fiação, transformadores de pequeno porte etc.) (Paixão, 2009, p. 341).

Finalmente, tendo sido levada até a porta dos consumidores, a eletricidade é finalmente entregue a eles, em etapa que se denomina comercialização. Em tese, qualquer pessoa pode comprar energia elétrica das geradoras e, utilizando mediante pagamento a rede única de transmissão e distribuição, vendê-la aos consumidores finais. Portanto, a comercialização pode ser feita em regime de competição (Paixão, 2009, p. 342).

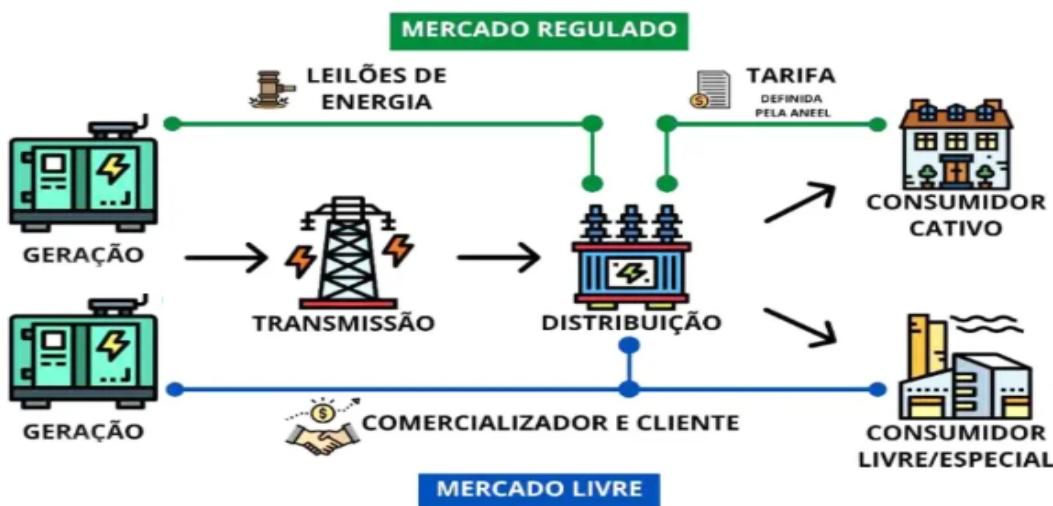
Estas são, portanto, as quatro etapas da cadeia produtiva da energia elétrica: geração, transmissão, distribuição e comercialização, das quais a segunda e terceira constituem monopólios naturais.

Por sua vez, os consumidores de energia elétrica, sob a ótica regulatória brasileira, são classificados em duas categorias principais: consumidores cativos e consumidores livres. Estes últimos têm a prerrogativa de escolher livremente seu fornecedor de energia, podendo negociar diretamente as condições contratuais, tais como volume, preço e prazo, no ambiente do Mercado Livre de Energia (MLE). Essa liberdade contratual tem como objetivo estimular a concorrência e promover maior eficiência econômica, permitindo que grandes consumidores, em especial os de

perfil industrial ou comercial, reduzam seus custos energéticos por meio de negociações bilaterais com geradores ou comercializadores³.

Na prática, mesmo quando o consumidor livre opta por adquirir energia de um fornecedor situado fora da sua área de concessão, a entrega física da energia até sua unidade consumidora permanece sob a responsabilidade da distribuidora local, que atua unicamente como prestadora do serviço de uso da rede (encargo de uso do sistema de distribuição). Assim, embora o fornecimento econômico esteja dissociado da distribuidora, o transporte da energia depende da infraestrutura física dessa concessionária, que, por sua vez, não interfere nas condições comerciais pactuadas entre o consumidor e seu fornecedor escolhido.

Figura 4 - Representação gráfica dos mercados regulado e livre



Fonte: adaptado de Medeiros (c2025).

A figura do consumidor livre surgiu no Brasil com os artigos 15 e 16 da Lei 9.074/1995, já dentro da proposta de reforma do setor elétrico, o que foi consolidado no ano seguinte com a primeira grande reformulação regulatória do setor elétrico (Brasil, 1995).

A nível de regulamentação, a Portaria nº 465, de 12 de dezembro de 2019, do Ministério de Minas e Energia (MME), promoveu alterações significativas na Portaria MME nº 514/2018, estabelecendo um cronograma progressivo de abertura do MLE para consumidores com menor demanda contratada (Brasil, 2019). Originalmente, a Portaria nº 514/2018 havia fixado, a partir de 1º de julho de 2019, o limite mínimo de 2,5 MW para migração ao ambiente de contratação livre (Brasil, 2018). No entanto, com as alterações introduzidas pela Portaria 465/2019, esse limite foi reduzido para 2 MW a partir de janeiro de 2020.

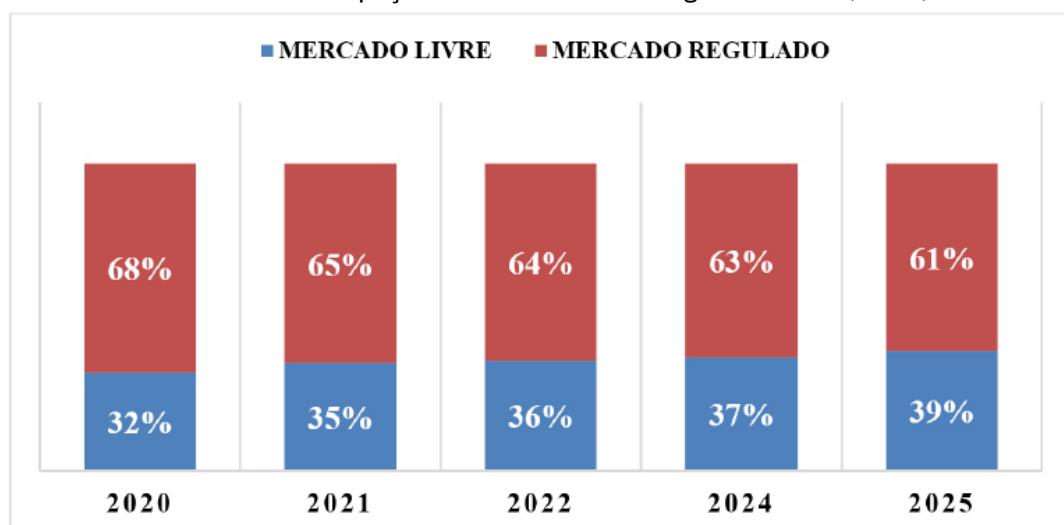
A referida norma também estabeleceu novas etapas para a ampliação do acesso ao mercado livre, permitindo que, a partir de 19 de janeiro de 2021, consumidores com carga contratada igual ou superior a 1,5 MW, atendidos em qualquer tensão, pudessem optar pela compra de energia de

3 Entre janeiro e maio de 2025, a CCEE registrou a migração de quase 12 mil consumidores para o MLE, o que representa um aumento de 33,3% em relação ao mesmo período do ano anterior. Com isso, o total de unidades consumidoras nesse ambiente já soma 76.673. Nesse modelo, os consumidores têm a liberdade de escolher seu fornecedor de energia, optar pela fonte geradora, adquirir energia conforme sua demanda específica e negociar prazos e formatos contratuais de maneira flexível, o que permite um atendimento mais personalizado e potencial redução de custos (CCEE, 2025).

qualquer agente do Sistema Interligado Nacional. Essa abertura foi ampliada para consumidores com carga a partir de 1 MW em janeiro de 2022 e, posteriormente, para consumidores com carga a partir de 500 kW a partir de janeiro de 2023. Além disso, determinou-se que até 31 de janeiro de 2022, a ANEEL e a CCEE apresentassem estudos regulatórios visando à futura inclusão de consumidores com carga inferior a 500 kW no mercado livre, prevendo-se o início de sua abertura em 1º de janeiro de 2024.

Com base em estudo da CCEE (CCEE, [2025?]), observa-se uma expansão contínua do ACL, impulsionada pelo crescente interesse dos consumidores. Essa tendência é evidenciada no gráfico abaixo, que demonstra o aumento progressivo da participação do mercado livre no consumo de energia elétrica no Brasil: de 32% em 2020 para 39% em 2024. Esse último ano marca a abertura do ACL para todas as unidades de alta tensão, contribuindo para o maior patamar de representatividade histórica do segmento. Paralelamente, verifica-se uma redução gradual da participação do mercado regulado, que caiu de 68% para 61% no mesmo período.

Gráfico 1 - Participação no consumo de energia brasileira (em %)



Fonte: adaptado de CCEE ([2025?])

Os consumidores livres são obrigados a se registrar como agentes de mercado na CCEE, antes de realizar negócios no mercado livre, exceto quando eles decidem pela representação por um comercializador varejista ou gerador.

De outro lado, os consumidores que não preenchem os requisitos para serem livres e os que, mesmo preenchendo, preferem não exercer opção para tanto continuam sob o regime denominado regulado, inclusive quanto às respectivas tarifas (Waltenberg, 2000, p. 374-375).

4 A CCEE E O MERCADO LIVRE DE ENERGIA: MECANISMOS DE ACESSO PARA CONSUMIDORES ATACADISTAS E VAREJISTAS.

Para participar diretamente do MLE, o consumidor pode optar por se tornar agente da CCEE, assumindo protagonismo na negociação e gestão de sua energia. Essa decisão, contudo, implica a observância de um processo de adesão rigoroso, com exigências operacionais, jurídicas e financeiras que delimitam o perfil de quem está apto a atuar nesse ambiente (CCEE, 2023).

A adesão direta à CCEE envolve a formalização de vínculo institucional com a câmara, a apresentação de documentação legal e técnica, o cumprimento de requisitos de habilitação e a constituição de garantias financeiras. Além disso, exige-se do consumidor a abertura de conta corrente específica para liquidação de operações, o conhecimento prévio das normas setoriais e a concordância expressa com os regulamentos internos que regem a comercialização de energia elétrica no Brasil (CCEE, 2023).

Ao tornar-se agente da CCEE, o consumidor passa a operar de forma autônoma no mercado, podendo contratar livremente seus fornecedores e definir as condições comerciais de seus contratos. Contudo, essa autonomia vem acompanhada de uma maior exposição aos riscos do mercado, especialmente no que se refere às oscilações de preços no curto prazo, à complexidade da gestão contratual e à exigência de conformidade permanente com as normas regulatórias.

Diante dessas características, a adesão direta é mais indicada a empresas que disponham de estrutura técnica qualificada, capacidade de gestão de risco e familiaridade com a dinâmica do setor elétrico. Empresas com perfil menos especializado, ou que busquem reduzir a complexidade operacional de sua inserção no mercado livre, podem optar pela contratação de um comercializador varejista. Nessa modalidade, o consumidor não se torna agente da CCEE, mas é representado por um terceiro que assume as obrigações regulatórias e operacionais em seu nome, oferecendo uma experiência mais simplificada.

Desta feita, a outra forma de uma unidade consumidora participar do MLE é através de um comercializador varejista, que é uma empresa habilitada pelo Conselho de Administração da CCEE para representar consumidores livres ou especiais e também empresas geradoras na compra e venda de energia.

A Resolução nº 1.011 de 2022 da Aneel (Aneel, 2022), que revogou as Resoluções 570/2013 e 654/2015, trata da representação de grandes consumidores por agentes de comercialização de energia, tratada como comercialização varejista de energia elétrica. É estipulado no seu arts. 10 e 11 que apenas os consumidores aptos à aquisição de energia elétrica no ACL, ou seja, que possam comprar energia diretamente das geradoras de energia no atacado, é quem podem se fazer representar no mercado varejista através de representante especializado (Aneel, 2022).

Na prática, em virtude de toda operação de compra de energia ser unificada em nome do representante varejista, a aprovação da supracitada resolução permite que um representante ofereça serviços e fornecimento de energia aos seus representados de forma relativamente independente do mercado regulado, podendo cobrar pelos seus serviços da forma que for mais viável economicamente.

Atualmente, tramita no Congresso Nacional o Projeto de Lei 1.917/2015, que prevê a possibilidade de acesso de todos os consumidores residenciais ao mercado livre de energia (Brasil, 2015). Pelo projeto, os consumidores residenciais poderão comprar energia elétrica de agentes varejistas, que os representarão perante a CCEE, entidade que centraliza todos os contratos de compra e venda de energia no país. A distribuidora se encarregará da distribuição da energia contratada e receberá um valor pelo serviço, cobrado na conta de luz.

Cumpre destacar, ainda, que, em 31 de outubro de 2025, o Senado Federal aprovou a Medida Provisória 1.304/2025 convertida no Projeto de Lei de Conversão nº 10/2025, que atualiza e consolida a abertura do mercado livre de energia elétrica no Brasil (Brasil, 2025). O novo diploma legislativo



altera dispositivos da Lei nº 9.074/1995, fixando cronograma de implantação que estende o direito de escolha do fornecedor de energia a todos os consumidores, inclusive residenciais, no prazo de três anos a partir da entrada em vigor da norma. Trata-se, portanto, de uma evolução legislativa do tema originalmente tratado no PL 1.917/2015.

Mesmo com a recente aprovação da medida provisória que ampliou o acesso ao mercado livre de energia para consumidores residenciais e comerciais, permaneceu sem tratamento específico a atuação das usinas virtuais de energia. O avanço regulatório concentrou-se na abertura do mercado para grandes agentes, deixando à margem um segmento emergente e tecnicamente relevante. As usinas virtuais, que operam por meio do gerenciamento conjunto de diversas unidades de micro e minigeração especialmente de origem fotovoltaica, continuam sem reconhecimento como participantes diretas do ambiente de contratação livre, embora possuam potencial para agregar volumes expressivos de energia e oferecer preços mais competitivos. Assim, a política de liberalização do setor manteve uma lacuna importante ao não incorporar mecanismos que permitam a integração das usinas virtuais à dinâmica do mercado livre, limitando, por ora, a democratização efetiva do acesso e da concorrência na comercialização de energia elétrica.

5 VIRTUAL POWER PLANTS: CONCEITOS, APLICAÇÕES E O CASO TESLA COMO REFERÊNCIA INTERNACIONAL

Mansilha (2020, p. 33) aduz que a evolução dos mercados de energia está na direção de uma maior dependência dos recursos energéticos distribuídos - (*Distributed Energy Resources - DERs*). Para gerenciar essa crescente complexidade de duas vias, as usinas virtuais estão sendo implantadas em todo o mundo para permitir a integração de DERs na operação do sistema de energia. Portanto, fugindo do modelo tradicional verticalizado, as múltiplas fontes de geração de energia podem ser integradas numa usina virtual que vai gerenciar as demandas e distribuir o recurso energético de acordo com a disponibilidade de fontes e a demanda das unidades consumidoras.

Conforme discutido por Kehinde, Salludeen e Hameed (2021), uma VPP, ou usina virtual, transcende a simples gestão de baterias, configurando-se como um sistema sofisticado que orquestra uma rede descentralizada de recursos energéticos. Sua função primordial é integrar e coordenar diversas fontes, que vão desde a energia armazenada em baterias (sejam elas provenientes de sistemas fotovoltaicos residenciais, comerciais ou industriais, ou até mesmo de veículos elétricos) até geradores distribuídos como painéis solares fotovoltaicos e pequenas turbinas eólicas, além de gerenciar cargas controláveis que podem modular seu consumo (Kehinde; Sallaudeen; Hameed, 2021, p. 158).

O objetivo central de uma VPP é otimizar o balanço entre a oferta e a demanda de energia, atuando proativamente para estabilizar a rede elétrica. Longe de ser uma resposta meramente reativa a interrupções ou perdas de oferta, uma VPP monitora incessantemente as condições da rede, antecipando picos de demanda e flutuações na geração. Ela disponibiliza a energia gerada e armazenada não somente em situações de emergência, mas também para prover serviços essenciais à rede, como a regulação de frequência, o suporte de tensão e a reserva operacional, contribuindo significativamente para a confiabilidade do sistema elétrico (Saboori; Mohammadi; Tache, 2011, p. 2).

Além disso, a VPP tem um papel crucial na otimização da comercialização de energia, podendo negociar o excedente energético ou a capacidade de despacho de seus ativos no mercado, gerando valor para os proprietários dos recursos. A capacidade de integrar fontes renováveis intermitentes, como a solar e a eólica, é outro diferencial, pois ao gerenciar a variabilidade dessas fontes, a VPP minimiza seus impactos na estabilidade da rede, tornando-as mais previsíveis e despacháveis (Saboori; Mohammadi; Tache, 2011).

É fundamental destacar que as VPPs operam em diversas escalas, desde a agregação de pequenas unidades residenciais até a coordenação de sistemas complexos comerciais e industriais. A participação ativa dos consumidores é um pilar nesse modelo: eles podem determinar e gerir um nível mínimo de energia como reserva de *backup* para uso próprio, garantindo sua autonomia em caso de falhas, enquanto o excedente ou a capacidade não utilizada pode ser disponibilizada para a rede sob a gestão da VPP. Em síntese, uma VPP transforma a infraestrutura energética distribuída em um ativo flexível e inteligente, apto a responder às demandas dinâmicas da rede elétrica e a impulsionar uma transição energética mais eficiente e sustentável.

Especificamente sobre o *Tesla Virtual Power Plant*, este é basicamente um serviço onde a Tesla controla uma rede de baterias denominadas *powerwalls*⁴ instalados na casa dos geradores-consumidores de energia fotovoltaica, incluindo carga e descarga dos mesmos, para fornecer suporte à rede elétrica. O *powerwall* age neste caso como mais um DER à disposição da rede (Tesla, c2025b). Quando reunidos vários *powerwalls*, o grupo de micro e miniprodutores de energia podem gerar uma capacidade energética, cujo excedente pode ser comercializado pela usina virtual com a própria concessionária.

Em outras palavras, a usina virtual é um gerenciador de uma grande rede de baterias que armazenam a energia fotovoltaica de painéis solares dos minigeradores, colocando a energia gerada à disposição da rede elétrica sempre que ocorrer um evento, ou seja, uma queda de energia ou uma perda de oferta de energia em virtude dos picos de demanda, podendo ainda o consumidor definir um nível mínimo de energia como reserva de *backup* (Tesla, c2025a).

5.1 Recursos energéticos distribuídos - DER e as Virtual Power Plants - VPP: a integração de fontes descentralizadas para a eficiência energética

Os DERs são fontes de energia menores que podem ser agregadas às redes tradicionais para fornecer a quantidade de energia necessária para proporcionar uma demanda mais regular para o sistema elétrico (Mansilha, 2020). A energia solar seria uma espécie de recurso energético distribuído na medida em que o próprio consumidor é quem cria a fonte energética através dos painéis solares e, a depender da sua demanda, retorna o excedente para a concessionária de energia.

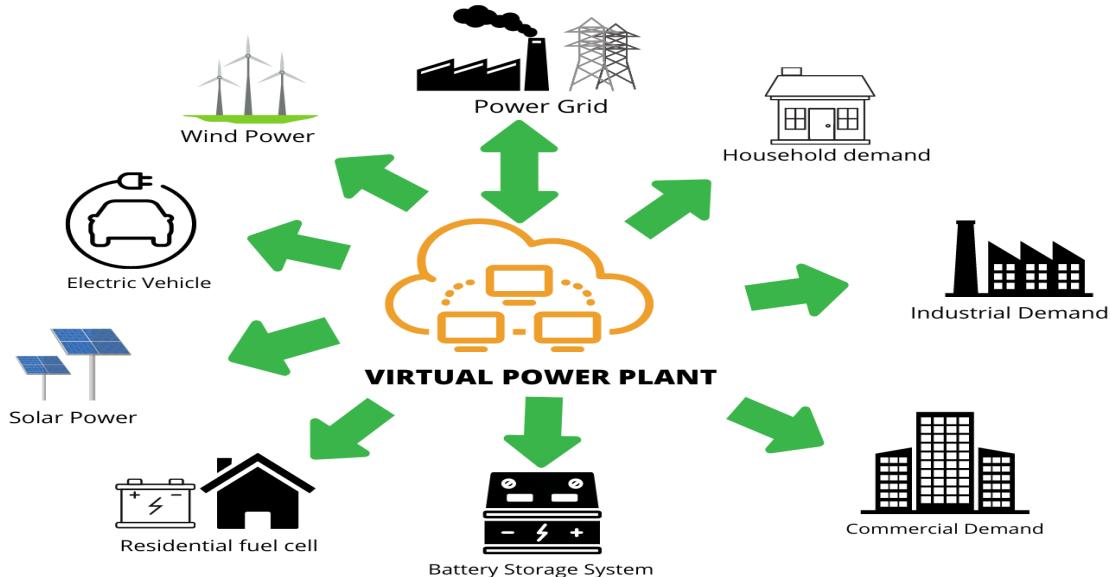
A coordenação do fluxo de energia proveniente dos mais diversos DERs, sejam a energia fotovoltaica, carros elétricos, parques eólicos ou a própria energia da rede elétrica é realizada pela

⁴ O *powerwall* consiste em um sistema de bateria doméstica recarregável, concebido com o propósito de ampliar a autonomia energética das residências. Tal dispositivo proporciona uma fonte contínua de backup energético, contribuindo, simultaneamente, para a redução da pegada de carbono e para a diminuição potencial dos custos com eletricidade. Trata-se de uma solução tecnológica inteligente, dotada de capacidade de customização conforme as necessidades específicas de consumo energético do usuário. Além disso, o sistema permite o carregamento por meio de energia solar, assegurando sua disponibilidade sob demanda e reforçando o caráter sustentável e eficiente da solução (Tesla, c2025c).



usina virtual. A usina virtual, portanto, gerencia o fluxo de energia entre a produção doméstica e a rede elétrica administrada pela concessionária. Desta forma, temos um fluxo bidirecional, assim a usina virtual não só recebe informação do estado atual de cada unidade ligada a ela, mas também pode enviar sinal de controle aos objetos.

Figura 5 - Representação gráfica do funcionamento da usina virtual de energia



Fonte: Shand (2025).

Os sistemas elétricos tradicionais são baseados numa linha muito delimitada entre os papéis de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Cada agente do sistema atua de forma compartmentalizada sem se comprometer com as fases anteriores ou posteriores do ciclo de abastecimento energético.

Goya e Bastos (2020, p. 2) dizem que a usina virtual funciona como um agregador para fontes de energias renováveis, no modo em que a energia é gerada e consumida. Trata-se de uma rede interligada e intercomunicativa, onde uma central de comando toma decisões de acordo com algoritmos, de forma a agregar pequenas produções de energia distribuída, agrupando-as como uma usina real em termos de potência.

Pegoreti *et al.* (2017) diz que as usinas virtuais são usinas que agregam diversos tipos de fontes de energia elétrica conectadas à rede com uma única tensão, logo apresenta-se como uma única unidade e não como diversos ativos (Pegoreti *et al.*, 2017, p. 1).

São assim chamadas pois enquanto híbridas, não geram energia a partir de um mesmo processo, mas podem reunir fontes renováveis, não renováveis, além de baterias. São virtuais, porque não se encontram necessariamente fisicamente conectadas, estão interligadas numa condição lógica por meio de tecnologia da informação.

Essa central de energia é inteligente de modo a se adaptar à demanda instantânea da carga, possibilitando uma geração mais eficiente, que maximiza lucro para os geradores e distribuidores, podendo ser refletido em uma diminuição da conta de energia elétrica dos consumidores (Pegoreti *et al.*, 2017, p. 1).

As usinas virtuais possibilitam a integração de energia distribuída ao sistema, que pode futuramente ter acesso ao mercado de energia, dada sua habilidade de prestar serviços de gestão do sistema, como regulação de frequência, tensão e fator.

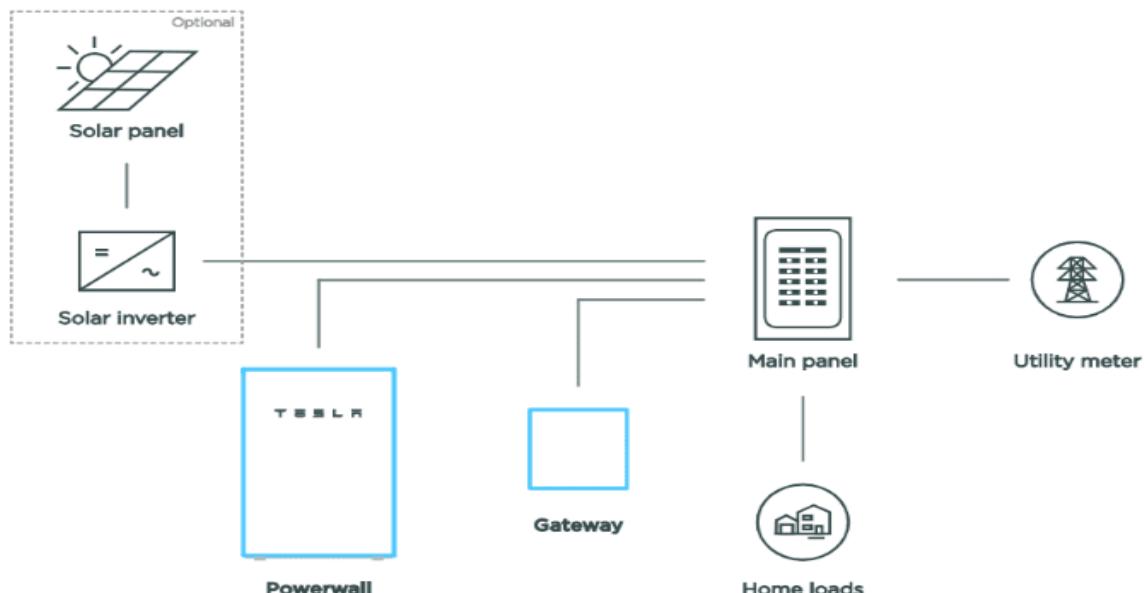
Esse novo conceito de usina tem a capacidade de agregar fontes intermitentes que vem se expandindo rapidamente no Brasil como a energia eólica e a solar fotovoltaica, viabilizando uma geração que minimiza a incerteza do mercado, os déficits entre energia contratada e gerada, atende a carga nos horários de ponta e as novas características do perfil de demanda (Pinheiro, 2016).

Por fim, uma usina virtual também é utilizada para agrupar pequenas produções de energia para que seus respectivos produtores tenham visibilidade no mercado livre de energia elétrica, ou seja, poderem comercializar seu excedente de produção energética.

Nos casos em que a usina virtual é de propriedade privada, os produtores de energia optam pelo sistema de armazenamento em que o despacho de energia é realizado nos horários de pico. Esta prática permite que, com o aproveitamento da tarifa mais alta, o tempo de recuperação do investimento seja minimizado (Goya; Bastos, 2020, p. 2).

A representação gráfica a seguir ilustra, de forma detalhada, o funcionamento de uma unidade residencial conectada a uma usina virtual por meio do ecossistema da Tesla. A imagem apresenta os principais componentes envolvidos no ciclo energético, desde a captação solar até a integração com a rede elétrica, permitindo visualizar as múltiplas direções do fluxo de energia e o papel de cada equipamento no gerenciamento inteligente da produção, armazenamento e distribuição. Essa visualização reforça o caráter dinâmico e bidirecional da infraestrutura energética moderna, evidenciando como tecnologias de informação e automação tornam viável o modelo das usinas virtuais.

Figura 6 - Representação gráfica de uma residência conectada a uma usina virtual de energia



Fonte: Cove (2021).

Com base na figura apresentada, é possível compreender a arquitetura funcional do sistema de armazenamento e gestão energética doméstica. A energia solar é inicialmente captada



por painéis fotovoltaicos instalados na unidade consumidora e, em seguida, processada por um inversor, que adapta a energia para utilização no ambiente residencial. A energia resultante é então direcionada para o sistema *powerwall* da Tesla, uma bateria inteligente que armazena o excedente energético gerado.

O *powerwall* atua como um sistema de *backup* e de gestão de energia, liberando eletricidade de forma automatizada conforme a demanda da residência. A energia também pode fluir diretamente para os consumos residenciais (*home loads*) ou para o painel principal (*main panel*), onde é monitorada e, se houver excedente, pode ser injetada na rede elétrica convencional, por meio do medidor de energia (*utility meter*), sendo, portanto, possível sua compensação ou comercialização junto à distribuidora local.

Adicionalmente, o sistema conta com um *gateway* de controle, responsável por monitorar em tempo real o fluxo de energia e gerenciar a interação entre os diferentes componentes. Dessa forma, a residência torna-se um ponto ativo no sistema energético, funcionando como uma fonte geradora descentralizada, um exemplo prático da integração de DERs na matriz elétrica. Tal configuração contribui para a redução da dependência da rede central, promove eficiência energética e fortalece a resiliência do sistema como um todo.

Especificamente quanto ao *Tesla Virtual Power Plant*, a Tesla informa no seu website que o serviço está atualmente disponível no Estado da Califórnia para clientes das concessionárias de energia PG&E, SDG&E e SCE que possuem *powerwall* e energia solar (Tesla, c2025b).

6 ASPECTOS JURÍDICOS DA VENDA DE EXCEDENTE ENERGÉTICO: UMA ABORDAGEM COMPARADA BRASIL-CALIFÓRNIA

O presente tópico se concentra em analisar o contexto da “venda” da energia solar gerada e gerenciada por uma usina virtual como a da Tesla, por exemplo. Inicialmente, para entender este processo, cumpre esclarecer que, no contexto brasileiro, é necessário produzir energia em excesso e “emprestar” para a rede elétrica da distribuidora, que fará o pagamento em forma de créditos de energia no mesmo valor, válidos por até 60 meses, dando o retorno financeiro de até 95% da redução da conta de luz do imóvel no contexto brasileiro.

No modelo de venda de energia solar brasileiro, o “vendedor” não receberá em dinheiro a priori, mas, sim, em créditos de energia e, para isso, será necessário ter um sistema *on-grid*, que irá enviar a energia excedente gerada para a distribuidora de energia.

Para estimular os consumidores que possuem sua própria geração de energia, o Congresso Nacional aprovou a Lei 14.300/2022 (Brasil, 2022), que basicamente positiva a Resolução Normativa nº 482, de abril de 2012 da Aneel (Aneel, 2012)⁵, representando um grande avanço para a regulamentação da micro e minigeração de energia no País, permitindo a conversão do excedente de energia gerado pelo sistema fotovoltaico em créditos de energia para serem utilizados posteriormente.

Nos termos do art. 1º, inciso XI e XIII do citado normativo, podem ser considerados micro ou minigeradores os produtores que tenham potência instalada inferior ou igual a 75 KW, ou superior a

5 Resolução revogada pela Resolução Normativa Aneel nº 1059 (Aneel, 2022).

75 kW e menor ou igual a 5 MW, respectivamente⁶.

Desta forma, pode-se dizer que, no âmbito da microgeração e minigeração de energia, os produtores são ao mesmo tempo produtores que repassam parte do excedente produzido para a distribuidora de energia, e são bonificados por isso em créditos de energia válidos por período certo de tempo. Bem como são também por eles abastecidos quando a produção da própria unidade não comporta a demanda.

A Califórnia tem se destacado como um Estado pioneiro na integração de DERs e, em particular, de usinas de energia virtuais (VPPs) em sua rede elétrica. O arcabouço regulatório da Califórnia reflete um esforço contínuo para otimizar a resiliência da rede, a eficiência energética e a descarbonização, posicionando as VPPs como um componente estratégico para alcançar esses objetivos. Esta seção explora os atos normativos cruciais e o funcionamento da regulamentação das VPPs na Califórnia, delineando um modelo potencial para outras jurisdições.

A abordagem regulatória da Califórnia para VPPs é multifacetada, englobando legislação estadual, diretrizes da Comissão de Serviços Públicos da Califórnia (CPUC) e programas de incentivo. Um dos pilares dessa regulamentação é o reconhecimento explícito da capacidade das VPPs de fornecerem serviços essenciais à rede.

A AB⁷ 205 (Califórnia, 2022), sancionada em 2022, representa um marco significativo. Embora não diretamente focada nas VPPs, essa legislação incentivou ativamente a aquisição de cargas ou geradores de *backup* por parte dos residentes, como os DERs. Essa medida reconheceu o papel potencial dos recursos no lado da demanda para apoiar o Estado da Califórnia durante períodos de pico de demanda. Implicitamente, ao promover a adoção de DERs, a AB 205 pavimentou o caminho para a agregação desses recursos em VPPs, que podem ser despachados de forma coordenada para fornecer alívio à rede.

Mais recentemente, tramita no senado da Califórnia o Projeto de Lei SB⁸ 1305 (Califórnia, 2024), que, embora ainda em fase introdutória, sinaliza uma postura mais proativa do Estado em relação às Usinas Virtuais de Energia (VPPs). A proposta determina que a *California Public Utilities Commission* (CPUC) estabeleça metas obrigatórias de aquisição, de modo que as concessionárias incorporem VPPs de baixo custo em seus portfólios. Caso seja promulgada, a lei converterá as VPPs de um recurso complementar em um elemento estrutural e obrigatório do planejamento energético das concessionárias, assegurando que a flexibilidade e a capacidade oferecidas por essas usinas sejam reconhecidas e efetivamente valorizadas.

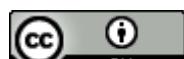
6 Art. 1º Para fins e efeitos desta Lei, são adotadas as seguintes definições:

XI - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras;

XIII - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras (Brasil, 2022).

7 AB significa *Assembly Bill*. Trata-se de norma jurídica cuja iniciativa se deu na Assembleia do Estado da Califórnia.

8 SB significa *Senate Bill*. Trata-se de norma jurídica cuja iniciativa se deu no Senado do Estado da Califórnia.



Complementarmente, a CPUC tem implementado programas que facilitam a operação e a remuneração de VPPs. O Programa de Suporte à Rede do Lado da Demanda (DSGS) é um exemplo proeminente. Este programa compensa os clientes de eletricidade que reduzem seu uso de energia ou fornecem energia à rede durante eventos de estresse do sistema. A modalidade mais popular dentro do DSGS é a VPP de armazenamento de bateria, onde os clientes permitem que as concessionárias despachem suas baterias de forma remota em dias de alta demanda (Califórnia, 2025). Este mecanismo não apenas incentiva a participação do consumidor, mas também demonstra um reconhecimento regulatório direto do valor da capacidade despachável fornecida por DERs agregados.

A regulamentação californiana funciona ao criar um ambiente propício para a agregação e o despacho de DERs. Primeiramente, são estabelecidos incentivos econômicos para a instalação de DERs, como baterias e painéis solares, que formam a base das VPPs. Em seguida, os programas como o DSGS fornecem um mecanismo de compensação claro para a participação dos proprietários de DERs na provisão de serviços à rede.

As concessionárias, por sua vez, são incentivadas e, cada vez mais, mandatadas a integrar essas VPPs em seus planos operacionais. Isso é evidenciado por iniciativas como a *Tesla Virtual Power Plant* (VPP) em parceria com a Pacific Gas and Electric (PG&E). Neste programa, proprietários de sistemas *powerwall* podem optar por participar de uma VPP, recebendo incentivos por cada quilowatt-hora adicional que suas baterias fornecem durante eventos de emergência da rede. Este modelo demonstra como a regulamentação permite que as concessionárias aproveitem a capacidade distribuída para gerenciar picos de demanda e responder a emergências, reduzindo a necessidade de infraestrutura centralizada mais cara e menos flexível.

Na Califórnia, de uma maneira mais abrangente, há os chamados créditos de energia de forma mais ampla, mas pagos da mesma maneira como crédito nas contas de energia. Normalmente, esses créditos são distribuídos duas vezes ao ano, em abril e outubro. A maioria dos residentes recebe um crédito de gás natural em abril e créditos de eletricidade em abril e outubro (CPUC, 2025).

A razão de ser deste programa também é diferente do que ocorre no Brasil, onde o microgerador de energia produz um excedente de energia, que é disponibilizado para a concessionária, a qual o remunera com créditos a serem usufruídos nas faturas seguintes, como visto.

No modelo californiano de créditos de energia, o fato gerador decorre de um programa estadual que exige que usinas de energia, distribuidoras de gás natural e outras grandes indústrias que emitem gases de efeito estufa comprem licenças de poluição por carbono de leilões administrados pelo Conselho de Recursos Aéreos. O crédito na conta de luz do consumidor é a sua parte dos pagamentos do programa do Estado (CPUC, 2025).

Por sua vez, a Tesla informa que atualmente a sua usina virtual é um programa de bem público para apoiar a rede da Califórnia e não há compensação para a Tesla ou clientes em termos financeiros. Embora a compensação financeira do cliente pela “entrega” do excedente energético armazenado no *powerwall* seja uma possibilidade no futuro, enquanto isso, os clientes são incentivados a participar do programa e mobilizar o excesso de capacidade de seus sistemas *Powerwall* (Tesla, c2025b).

De outro modo, cumpre esclarecer que em meados de Junho de 2022, a Tesla e a PG&E⁹ da Califórnia lançaram um novo programa que pagará aos proprietários qualificados de *powerwall* para enviar eletricidade extra à rede quando estiver vulnerável a apagões. Trabalhando juntos, os *powerwalls* criam uma “usina de energia virtual” que pode ajudar a manter as luzes acesas durante emergências ou falta de energia (Calma, 2022).

Segundo a Tesla, ao se inscreverem, os proprietários dos *powerwalls* receberão US\$ 2 por cada quilowatt-hora adicional que alimentarem a rede durante os “eventos” designados quando a rede estiver sob muito estresse. Isso inclui sempre que o Operador Independente do Sistema da Califórnia (do inglês *California Independent System Operator* – CAISO), emitir um alerta, aviso ou emergência de energia (Tesla, c2025b).

Segundo a empresa, os participantes “ajudariam a formar a maior bateria distribuída do mundo, potencialmente mais de 50.000 *Powerwalls*”, de acordo com Tesla. Essa bateria distribuída, ou usina virtual, em outras palavras, pode substituir usinas a gás que normalmente ficam online para fornecer energia extra sempre que a demanda de energia comece a superar a oferta.

Depois de acumular US\$ 2 para cada kWh adicional enviado à rede, os participantes receberão pagamentos da Tesla anualmente ou com mais frequência, conforme determinado pela Tesla.

7 DIRETRIZES PARA A REGULAÇÃO DAS VPPS NO BRASIL: DESAFIOS INSTITUCIONAIS E PROPOSTAS DE INTEGRAÇÃO

As VPPs, embora ainda não regulamentadas no Brasil, representam uma inovação disruptiva com potencial de redefinir a lógica do setor elétrico nacional. A experiência internacional, em especial a da Califórnia com o modelo da Tesla, revela como essas usinas virtuais podem contribuir para a diversificação da matriz energética, a descentralização da geração e o empoderamento dos consumidores por meio da gestão ativa de sua produção e consumo energético.

No Brasil, apesar dos avanços introduzidos pela Lei nº 14.300/2022, que instituiu o marco legal da micro e minigeração distribuída e consolidou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) (Brasil, 2022), ainda não existe uma estrutura normativa específica que permita a operação plena das VPPs. A atual segmentação entre consumidores cativos e livres, bem como os requisitos mínimos de demanda contratada para ingresso no ACL, criam barreiras significativas à entrada de pequenos produtores organizados por meio de plataformas digitais de agregação.

Para que as VPPs se tornem uma realidade no país, é imprescindível a criação de uma regulação que reconheça e discipline a figura do agregador de recursos energéticos distribuídos como um agente formal do mercado de energia. Esse agregador, papel desempenhado pela VPP, deve ser autorizado a atuar como comercializador varejista, representando diversos micro e minigeneradores, consumidores residenciais, comerciais e industriais de pequeno porte. Tal arranjo permitiria a soma de múltiplas cargas e unidades geradoras, formando um bloco robusto de oferta e demanda energética, com capacidade suficiente para negociar diretamente no mercado livre de energia elétrica.

Nesse cenário, as concessionárias de distribuição tenderiam a atuar exclusivamente como operadoras da infraestrutura de rede, concentrando-se na prestação dos serviços de fio (*wire business*),

⁹ PG&E – Pacific Gas and Electric Company é uma das distribuidoras de energia elétrica no Estado da Califórnia. Mais informações em: www.pge.com



SILVA JUNIOR, Aderaldo Cavalcanti da. A usina virtual de energia (*Virtual Power Plant*): o próximo nível da geração distribuída e a necessidade de um novo marco regulatório no Brasil a partir do modelo californiano. *Revista de Defesa da Concorrência*, Brasília, v. 13, n. 2, p. 69-94, 2025.

enquanto a compra e venda de energia passaria a ser gerenciada por agentes especializados, como os operadores de VPPs. Essa separação de funções aumentaria a eficiência do sistema, mitigaria riscos operacionais das distribuidoras e favoreceria uma precificação mais racional e transparente da energia elétrica.

A viabilidade técnica dessa proposta já é demonstrada por projetos-piloto em diversas jurisdições internacionais. No contexto brasileiro, essa implementação exigiria adaptações regulatórias coordenadas entre Aneel, CCEE e o MME, além da criação de mecanismos de custódia financeira que garantam a segurança do sistema diante da pulverização de agentes de menor porte. A imposição de requisitos patrimoniais ao agente agregador, como uma empresa âncora (por exemplo, a própria Tesla¹⁰ ou outras operadoras com robustez financeira), poderia suprir essa lacuna de garantias, viabilizando a entrada das VPPs sem comprometer a estabilidade do mercado.

A regulação futura deve, ainda, prever critérios para a interoperabilidade tecnológica entre sistemas de armazenamento, medição inteligente e plataformas digitais de controle em tempo real. A criação de regras claras para a remuneração dos serviços prestados pelas VPPs à rede, como resposta à demanda, reserva de capacidade, suporte de frequência e tensão, também será essencial para a sustentabilidade econômica do modelo.

Por fim, é necessário destacar que o avanço das VPPs está diretamente alinhado aos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil em relação à descarbonização e à transição energética. A incorporação desse modelo ao ordenamento jurídico pode fomentar não apenas a inovação no setor elétrico, mas também a justiça energética, permitindo que pequenos consumidores se tornem protagonistas da matriz energética nacional.

Dessa forma, a regulamentação das usinas virtuais no Brasil não deve ser vista como uma simples adaptação técnica, mas como uma verdadeira reforma estrutural capaz de transformar o modo como se produz, se consome e se negocia energia no país.

8 CONCLUSÃO

A consolidação das *Virtual Power Plants* (VPPs) como elemento estratégico para a modernização do setor elétrico exige não apenas o reconhecimento de seu potencial técnico, mas, sobretudo, a superação dos entraves regulatórios e institucionais que ainda limitam sua aplicação em países como o Brasil. Como demonstrado ao longo do presente estudo, a comparação com a experiência californiana, particularmente a operacionalização do modelo *Tesla Virtual Power Plant*, evidencia que é possível compatibilizar a inovação tecnológica com a estabilidade regulatória, desde que o ordenamento jurídico seja capaz de incorporar novos agentes, como os agregadores de recursos energéticos distribuídos, às estruturas formais do mercado de energia.

O modelo brasileiro, embora tenha avançado com a promulgação da Lei nº 14.300/2022 e com a abertura gradual do ACL, permanece atrelado a uma lógica verticalizada e centralizadora, que restringe o ingresso de pequenos produtores ao mercado livre e impede o uso eficiente das tecnologias de armazenamento e gestão inteligente da energia. Ao classificar os consumidores em cativos e livres com base na demanda contratada, a regulação atual desconsidera a realidade

¹⁰ A título de exemplo, a Resolução nº 1.011/2022 da Aneel, em seu art. 6º, IV já exige um patrimônio de R\$ 10.000.000,00 (dez milhões de reais) para fins de habilitação de empresa que deseja atuar no comércio varejista de eletricidade (Aneel, 2022).

tecnológica emergente, na qual a geração distribuída, os sistemas de armazenamento e a atuação em rede de pequenas unidades consumidoras e produtoras - reunidas sob uma VPP - permitem atingir escalas de produção competitivas, com alta previsibilidade e estabilidade operacional.

A experiência da Califórnia revela que a institucionalização das VPPs depende da criação de um ecossistema jurídico-regulatório coerente e multifacetado. Isso inclui: (i) o reconhecimento jurídico da figura do agregador de energia como agente do mercado; (ii) a definição de regras claras para sua atuação como comercializador varejista; (iii) a viabilização da participação de pequenos produtores no ACL por meio da agregação digital e da interoperabilidade entre diferentes tecnologias; (iv) a previsão de mecanismos de remuneração por serviços análogos prestados à rede elétrica; e (v) a compatibilização da política tarifária com os novos modelos descentralizados de geração e consumo.

Nesse sentido, o Brasil necessita implementar uma agenda regulatória coordenada, envolvendo a Aneel, a CCEE, o MME e demais órgãos setoriais, capaz de fornecer segurança jurídica e previsibilidade aos operadores de VPPs. A criação de exigências técnicas e patrimoniais proporcionais ao porte dos agentes, aliada ao incentivo à inovação tecnológica e à digitalização da rede, são medidas fundamentais para que o país não apenas acompanhe as tendências internacionais, mas assuma um papel de liderança na transição energética.

Além de representar um avanço tecnológico, as VPPs configuram uma alternativa concreta de democratização do acesso à geração de energia, com impactos diretos na redução de desigualdades socioeconômicas, no empoderamento do consumidor e na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Trata-se de um instrumento capaz de fortalecer a resiliência da matriz elétrica, reduzir a dependência de fontes fósseis e integrar o Brasil de forma mais decisiva aos compromissos globais de descarbonização e sustentabilidade.

Por fim, a regulamentação das VPPs deve ser compreendida não como um desafio setorial isolado, mas como parte de uma reconfiguração mais ampla do setor elétrico, que exige a revisão de premissas históricas e a abertura a novas formas de organização, produção e distribuição da energia. Incorporar esse modelo ao sistema brasileiro significa não apenas permitir a inovação, mas também promover uma justiça energética inclusiva, em que consumidores de diferentes perfis possam se tornar protagonistas na construção de um futuro energético mais limpo, eficiente e participativo.

Nesse contexto, propõe-se que a legislação brasileira seja revista para incluir expressamente a figura do agregador de recursos energéticos distribuídos como novo agente do setor elétrico, com autorização específica para atuar no ACL por meio de plataformas digitais de gestão e comercialização. Sugere-se a inclusão, no texto da Lei nº 10.848/2004 (Brasil, 2004b) ou em norma autônoma, de dispositivo que reconheça as VPPs como modalidade de comercialização de energia, com regulamentação complementar a ser expedida pela Aneel. Além disso, é recomendável que o Projeto de Lei nº 1917/2015, atualmente em tramitação na Câmara dos Deputados, seja alterado para prever a possibilidade de representação de micro e minigeneradores por operadores de VPPs, nos mesmos moldes em que hoje se admite a representação por comercializadores varejistas. Propõe-se, ainda, a criação de um programa nacional de incentivo à integração de DERs em usinas virtuais, nos moldes do *Demand Side Grid Support Program* californiano, com subsídios para a aquisição de baterias, medidores inteligentes e softwares de gestão. Tais medidas legislativas e infralegais, articuladas de forma sistêmica, podem abrir espaço para um novo arranjo regulatório que incentive a inovação, valorize a participação ativa do consumidor e coloque o Brasil na vanguarda da transição energética digital.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa ANEEL nº 482 de 17 de abril de 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. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 2 de julho de 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa ANEEL nº 1.011 de 29 de março de 2022.** Estabelece requisitos e procedimentos atinentes à autorização para comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional – SIN, [...], e dá outras providências. **Diário Oficial da União:** Seção 1, Brasília, DF, n. 63, p. 187. Mar. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.011-de-29-de-marco-de-2022-390343924>. Acesso em: 2 jul. 2025.

BRASIL. Câmara Dos Deputados. **Projeto de Lei nº. 1.917, de 2015.** Altera as Leis nºs 9.427, de 1996, e 10.848, de 2004, para dispor sobre a comercialização de energia elétrica com consumidores de menor porte. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2015. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1307190>. Acesso em: 6 jul. 2025.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei de Conversão PLV 10/2025.** Moderniza o marco regulatório do setor elétrico para promover a modicidade tarifária e a segurança energética [...], e dá outras providências. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2025. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2579349>. Acesso em: 6 jul. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 5.177 de 12 de agosto de 2004.** Regulamenta os arts. 4º e 5º da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, e dispõe sobre a organização, as atribuições e o funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE. Brasília, DF: Presidência da República, 2004a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5177.htm. Acesso em: 2 jul. 2025.

BRASIL, **Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995.** Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9074cons.htm. Acesso em: 2 jul. 2025.

BRASIL. **Lei nº 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); [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em: 2 jul. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Portaria nº 465, de 12 de dezembro de 2019.** [Altera a Portaria nº 514 de 27 de dezembro de 2018.] Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias/2019/portaria-n-465-2019.pdf/view>. Acesso em: 02 jul. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria nº 514, de 27 de dezembro de 2018. [Regulamenta o disposto no art. 15, § 3º, da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, com o objetivo de diminuir os limites de carga para contratação de energia elétrica por parte dos consumidores]. **Diário Oficial da União:**

Seção 1, Brasília, DF, n. 249, p. 443, dez. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TzC2Mb/content/id/57219064/do1-2018-12-28-portaria-n-514-de-27-de-dezembro-de-2018-57218754. Acesso em: 2 jul. 2025.

BRASIL. **Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004.** Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, [...] e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2004b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.848.htm. Acesso em: 2 de julho de 2025.

CALIFÓRNIA. **Assembly Bill nº 205.** An act to add Article 13 (commencing with Section 16429.8) to Chapter 2 of Part 2 of Division 4 of Title 2 of the Government Code, [...]. Califórnia: Assembleia do Estado da Califórnia, 2022. Disponível em: https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202120220AB205. Acesso em: 2 jul. 2025.

CALIFÓRNIA. **Assembly Bill nº 740.** *Virtual power plants: load shifting: integrated energy policy report.* Califórnia: Assembleia do Estado da Califórnia, 2025. Disponível em: https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202520260AB740. Acesso em: 2 jul. 2025.

CALIFÓRNIA. **Senate Bill nº 1305.** An act to add Section 380.6 to the Public Utilities Code, relating to electricity. Califórnia: Senado do Estado da Califórnia, 2024. Disponível em: <https://legiscan.com/CA/text/SB1305/id/2930818/California-2023-SB1305-Introduced.html>. Acesso em: 2 jul. 2025.

CALIFORNIA PUBLIC UTILITIES COMMISSION (CPUC). **California climate credit.** Califórnia: CPUC, 2025. Disponível em: <https://www.cpuc.ca.gov/climatecredit/>. Acesso em: 6 jul. 2025.

CALMA, Justine. Tesla partners with California utility on virtual power plant. **The Verge**, jun. 2022. Disponível em: <https://www.theverge.com/2022/6/23/23180471/tesla-california-utility-virtual-power-plant-powerwall>. Acesso em: 6 jul. 2025.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **Balanço 2024:** consumo e geração: gerência de análise e informações ao mercado. São Paulo: CCEE, [2025?]. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/WorkshopCOPAM/\[CCEE\]20Balan%C3%A7o%20Consumo%20e%20Gera%C3%A7%C3%A3o%202024%20\(COPAM\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/WorkshopCOPAM/[CCEE]20Balan%C3%A7o%20Consumo%20e%20Gera%C3%A7%C3%A3o%202024%20(COPAM).pdf). Acesso em: 1 jul. 2025.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). Migração simplificada ao mercado livre de energia, proposta pela CCEE, começa a valer neste 1º de julho. **CCEE**, São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/web/guest/-/migracao-simplificada-ao-mercado-livre-de-energia-proposta-pela-ccee-comeca-a-valer-neste-1-de-julho>. Acesso em: 1 jul. 2025.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **Procedimentos de comercialização:** Módulo I – Agentes: Submódulo 1.1 – Adesão à CCEE. São Paulo: CCEE, 2023. Disponível em: https://www.ccee.org.br/o/ccee/documentos/CCEE_058253. Acesso em: 5 jul. 2025.

COVE, Luke. Is a Tesla powerwall 2 worth it? Or is it just hyped up... **Lightning Energy**, Melbourne, dez. 1, 2021. Disponível em: <https://lightning-energy.com.au/is-teslas-powerwall-2-worth-it/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

GOYA, Fábio Hideo; BASTOS, Lucas Rosa. **Usina virtual de energia:** otimização de geração distribuída e estações de armazenamento. Orientador: GUIRELLI, Cleber Roberto. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia Mackenzie, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/items/af192499-77b9-4bcc-9bb4-03a5cd632ed3>.



Acesso em: 28 mar. 2025.

HUNT, Julian David; STILPEN, Daniel; FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos de. A review of the causes, impacts and solutions for electricity supply crises in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 444–463, maio 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.030>. Disponível em: <https://x.gd/wDjID>. Acesso em: 6 jul. 2025.

HUNT, Sally. **Making competition work in electricity**. New York: John Wiley & Sons, 2002. Disponível em: https://regulationbodyofknowledge.org/wp-content/uploads/2013/03/Hunt_Making_Competition_Work.pdf. Acesso em: 6 jul. 2025.

KEHINDE, Kamil R.; SALLAUDEEN, Maryam O.; HAMEED, Faisal. Virtual power plant (VPP), concept and components to promote power system decentralisation. **Global Scientific Journal**, v. 9, n. 12, p. 157-164, dez. 2021. Disponível em: https://www.globalscientificjournal.com/researchpaper/VIRTUAL_POWER_PLANT_VPP_CONCEPT_AND_COMPONENTS_TO_PROMOTE_POWER_SYSTEM_DECENTRALISATION.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

KESSIDES, Ioannis N. Reforming infrastructure: privatization, regulation, and competition. World Bank Policy Research Report, Washington, n. 28985, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1596/0-8213-5070-6>. Disponível em: <https://x.gd/UO8t2>. Acesso em: 1 jul. 2025.

MAGALHÃES, Gerusa; PARENTE, Virginia. Do mercado atacadista à câmara de comercialização de energia elétrica: a evolução de um novo paradigma regulatório no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 15, n. 2, p. 59-79, 2009. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/238>. Acesso em: 5 maio 2025.

MANSILHA, Marcio Burguer. **Gerenciamento da operação de usinas virtuais em sistemas elétricos com recursos energéticos distribuídos baseada em eventos**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Santa Catarina, Santa Maria, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/22695/TES_PPGEE_2020_MANSILHA_MARCIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 5 jul. 2025.

MEDEIROS, João. Entenda como funciona o mercado livre de energia. **Gdash**, c2025. Disponível em: <https://gdash.io/mercado-livre-de-energia/>. Acesso em: 5 maio 2025.

NOVOA, Sebastian. Mercados elétricos na América Latina: primeira etapa: a compreensão dos desenhos de mercado. **Ecom**, 3 set. 2025. Disponível em: <https://ecomenergia.com.br/blog/mercados-eletricos-na-america-latina-primeira-etapa-a-compreensao-dos-desenhos-de-mercado>. Acesso em: 28 out. 2025.

PAIXÃO, Leonardo André. Aspectos jurídico-institucionais do setor elétrico brasileiro. In: DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. **Direito regulatório: temas polêmicos**. 2. ed. Fórum: Belo Horizonte, 2009. p. 339-378.

PEGORETI, Thaís; COIADO, Lorenzo Campos; COSTA, Ana Carolina Cardoso; PINHEIRO, Vinícius; FRANCATO, Alberto L. Os conceitos de virtualização e hibridização de usinas de geração de energia elétrica. In: BRAZILIAN TECHNOLOGY SYMPOSIUM – BTSym, 2017, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: Laboratory of Visual Communication, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347438961_Os_Conceitos_de_Virtualizacao_e_Hibridizacao_de_Usinas_de_Geracao_de_Energia_Eletrica. Acesso em: 10 jun. 2025.

PINHEIRO, Vinícius de Carvalho Neiva. **Contribuição aos estudos regulatórios para inserção de sistemas de geração de energia elétrica compostos por fontes hidráulicas reversíveis, solares e eólicas no Brasil.** 2016. Orientador: Alberto Luiz Francato. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2016.974085>. Disponível em: <https://x.gd/xrz4Y>. Acesso em: 10 jun. 2025.

RODRIGUES, Artur Bello; LEMOS, Flávio Antonio Becon. Migração para o Mercado Livre de um Consumidor Comercial via Comercializador Varejista. **Sociedade Brasileira de Automática**, Campinas, v. 3, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20906/CBA2022/3727>. Disponível em: <https://x.gd/II2dl>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SABOORI, Hedayat; MOHAMMADI, M.; TAGHE, R. Virtual Power Plant (VPP): definition, concept, components and types. In: ASIA-PACIFIC POWER AND ENERGY ENGINEERING CONFERENCE (APPEEC), 2011, Wuhan. **Anais** [...]. Wuhan: IEEE, 2011. DOI: 10.1109/APPEEC.2011.5749026. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5749026>. Acesso em: 5 jul. 2025.

SHAND, James. Virtual Power Plants (VPP) explained: australia's ultimate guide 2025. **Solar Choice**, Austrália, set. 2025. Disponível em: <https://www.solarchoice.net.au/solar-batteries/vpp/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

TESLA. Tesla virtual power plant pilot with ERCOT. **Tesla**, c2025a. Disponível em: <https://www.tesla.com/support/energy/virtual-power-plant/tesla-electric>. Acesso em: 5 jul. 2025.

TESLA. Tesla virtual power plant with PG&E. **Tesla**, c2025b. Disponível em: <https://www.tesla.com/support/energy/virtual-power-plant/pge>. Acesso em: 6 jul. 2025.

TESLA. Why Powerwall. **Tesla**, c2025c. Disponível em: <https://www.tesla.com/support/energy/powerwall/learn/why-powerwall>. Acesso em: 6 jul. 2025.

WALTENBERG, David A. M. O direito da energia elétrica e a ANEEL. In: SUNDFELD, Carlos Ari (Coord.). **Direito administrativo econômico**. São Paulo: Malheiros, 2000.

